

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Nuclear facilities – Human factors engineering – Application to the design of human-machine interfaces**

**Installations nucléaires – Ingénierie des facteurs humains – Application à la conception des interfaces homme-machine**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63351:2024



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Nuclear facilities – Human factors engineering – Application to the design of human-machine interfaces**

**Installations nucléaires – Ingénierie des facteurs humains – Application à la conception des interfaces homme-machine**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-9546-5

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.**  
**Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                     | 5  |
| INTRODUCTION.....                                                                 | 7  |
| 1 Scope.....                                                                      | 10 |
| 2 Normative references .....                                                      | 10 |
| 3 Terms and definitions .....                                                     | 11 |
| 3.1 Control locations .....                                                       | 11 |
| 3.2 Function, task and performance .....                                          | 12 |
| 3.3 Human factors aspects .....                                                   | 13 |
| 3.4 Operational aspects .....                                                     | 14 |
| 3.5 Verification and validation .....                                             | 16 |
| 4 Abbreviated terms .....                                                         | 17 |
| 5 Management of human factors engineering programme .....                         | 18 |
| 5.1 General.....                                                                  | 18 |
| 5.2 Management arrangements.....                                                  | 19 |
| 5.3 Human factors engineering team.....                                           | 20 |
| 5.3.1 HFE team responsibilities .....                                             | 20 |
| 5.3.2 Support by a multidisciplinary team .....                                   | 20 |
| 5.3.3 HFE team organisation, qualification and authorization.....                 | 21 |
| 5.4 Overall design process .....                                                  | 21 |
| 5.5 Identification and resolution of human engineering discrepancies (HEDs) ..... | 23 |
| 5.6 HFE programme scope considerations.....                                       | 23 |
| 5.6.1 General .....                                                               | 23 |
| 5.6.2 Integration of activities with the rest of plant facilities .....           | 23 |
| 5.6.3 Screening of HFE elements .....                                             | 23 |
| 5.6.4 Graded approach.....                                                        | 24 |
| 5.6.5 Use of reference designs .....                                              | 24 |
| 5.6.6 Examples of application to different projects .....                         | 25 |
| 5.7 End point vision .....                                                        | 26 |
| 5.8 HFE deliverables to be prepared.....                                          | 27 |
| 5.8.1 General.....                                                                | 27 |
| 5.8.2 HFE programme management .....                                              | 27 |
| 5.8.3 Other HFE elements .....                                                    | 27 |
| 6 Analyses providing input to human interaction .....                             | 28 |
| 6.1 Operating experience review (OER).....                                        | 28 |
| 6.2 Functional analysis and assignment.....                                       | 29 |
| 6.2.1 General .....                                                               | 29 |
| 6.2.2 Functional analysis .....                                                   | 29 |
| 6.2.3 Functional assignment.....                                                  | 29 |
| 6.2.4 Verification and re-evaluation of assignment.....                           | 29 |
| 6.2.5 Staff capabilities .....                                                    | 30 |
| 6.2.6 I&C system processing capabilities.....                                     | 30 |
| 6.3 Identification and treatment of important human tasks.....                    | 30 |
| 6.3.1 General .....                                                               | 30 |
| 6.3.2 Identification of important human tasks.....                                | 31 |
| 6.3.3 Treatment of important human tasks .....                                    | 31 |
| 6.3.4 Human reliability and safety analyses support .....                         | 32 |

|       |                                                                                                                                   |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.4   | Task analysis (TA) .....                                                                                                          | 32 |
| 6.4.1 | General .....                                                                                                                     | 32 |
| 6.4.2 | Definition of the scope and screening criteria .....                                                                              | 33 |
| 6.4.3 | Development of task descriptions .....                                                                                            | 34 |
| 6.4.4 | Breakdown tasks .....                                                                                                             | 34 |
| 6.4.5 | Specific task requirement identification .....                                                                                    | 35 |
| 6.4.6 | Output and documentation .....                                                                                                    | 35 |
| 6.5   | Staffing, organisation, and qualification analysis .....                                                                          | 35 |
| 6.5.1 | General .....                                                                                                                     | 35 |
| 6.5.2 | Inputs to staffing, organisation, and qualification analysis .....                                                                | 36 |
| 6.5.3 | Methods used for staffing, organisation, and qualification analysis .....                                                         | 37 |
| 7     | Design of control centres, local control points (LCPs), human-machine interfaces (HMIs), procedures and training programmes ..... | 37 |
| 7.1   | General .....                                                                                                                     | 37 |
| 7.2   | Design of control centres, LCPs and HMIs .....                                                                                    | 38 |
| 7.2.1 | General .....                                                                                                                     | 38 |
| 7.2.2 | HFE inputs to the design of control centres and HMIs .....                                                                        | 39 |
| 7.3   | Guidance for the design of control centres, LCPs and HMIs .....                                                                   | 39 |
| 7.3.1 | General .....                                                                                                                     | 39 |
| 7.3.2 | Plant-specific HFE guidance .....                                                                                                 | 39 |
| 7.3.3 | Project-specific HFE guidance .....                                                                                               | 39 |
| 7.3.4 | Guidance for the design of control centres .....                                                                                  | 40 |
| 7.3.5 | Guidance for the design of local control points (LCPs) .....                                                                      | 40 |
| 7.3.6 | Guidance for the design of human-machine interfaces (HMIs) .....                                                                  | 41 |
| 7.4   | Development of procedures .....                                                                                                   | 41 |
| 7.4.1 | General .....                                                                                                                     | 41 |
| 7.4.2 | Paper-based procedures vs. computer-based procedures (CBP) .....                                                                  | 42 |
| 7.4.3 | Procedures writers guide .....                                                                                                    | 42 |
| 7.4.4 | Other HFE inputs to procedure designers .....                                                                                     | 43 |
| 7.4.5 | Procedures and multistage verification and validation (V&V) .....                                                                 | 43 |
| 7.5   | Development of operating staff training .....                                                                                     | 43 |
| 7.5.1 | General .....                                                                                                                     | 43 |
| 7.5.2 | Organisational aspects .....                                                                                                      | 44 |
| 7.5.3 | The inputs to implement a training programme provided by the HFE team .....                                                       | 44 |
| 7.5.4 | Training for teamwork .....                                                                                                       | 44 |
| 8     | Verification and validation .....                                                                                                 | 45 |
| 8.1   | General .....                                                                                                                     | 45 |
| 8.2   | Verification and validation preparation .....                                                                                     | 45 |
| 8.3   | Verification and validation execution .....                                                                                       | 47 |
| 8.3.1 | Task support verification .....                                                                                                   | 47 |
| 8.3.2 | Design verification .....                                                                                                         | 47 |
| 8.3.3 | Preliminary validation .....                                                                                                      | 48 |
| 8.3.4 | Integrated system validation execution and resolution .....                                                                       | 49 |
| 8.3.5 | Verification and validation resolution .....                                                                                      | 50 |
| 9     | HFE during implementation of the design .....                                                                                     | 50 |
| 9.1   | Background .....                                                                                                                  | 50 |
| 9.2   | Objectives .....                                                                                                                  | 51 |
| 9.3   | Confirmation of the as built / implemented HMI .....                                                                              | 51 |

|              |                                                                          |    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.4          | Monitoring and control of plant changes implementation .....             | 52 |
| 10           | Human performance monitoring .....                                       | 53 |
| 10.1         | Objective .....                                                          | 53 |
| 10.2         | Process to be developed .....                                            | 53 |
| 10.2.1       | General .....                                                            | 53 |
| 10.2.2       | Planning and administration .....                                        | 53 |
| 10.2.3       | Execution and evaluation .....                                           | 54 |
| 10.2.4       | Resolution .....                                                         | 54 |
| Annex A      | (informative) Task analysis methods .....                                | 55 |
| A.1          | Walk-through / talk-through .....                                        | 55 |
| A.2          | Hierarchical task analysis .....                                         | 55 |
| A.3          | Operating sequence analysis .....                                        | 56 |
| A.4          | Timeline analysis .....                                                  | 57 |
| A.5          | Cognitive task analysis .....                                            | 58 |
| A.6          | Workload analysis .....                                                  | 58 |
| Annex B      | (normative) Goals of HFE in the design of control centres and HMIs ..... | 59 |
| B.1          | General .....                                                            | 59 |
| B.2          | HFE in the design of the control centres .....                           | 59 |
| B.3          | HFE in the design of the human-machine interfaces .....                  | 60 |
| Annex C      | (informative) Validation methodological issues .....                     | 61 |
| C.1          | Overview .....                                                           | 61 |
| C.2          | General validation objectives .....                                      | 61 |
| C.3          | Specific validation objectives .....                                     | 62 |
| C.4          | ISV test design .....                                                    | 62 |
| C.5          | Performance measures .....                                               | 63 |
| C.6          | Validation acceptance criteria .....                                     | 64 |
| C.7          | Validation results, analysis and reporting .....                         | 64 |
| C.8          | Considerations related to ISV reporting and conclusions .....            | 65 |
| Bibliography | .....                                                                    | 66 |
| Figure 1     | – New WG 8 document structure .....                                      | 8  |
| Figure 2     | – Human Factors Engineering process .....                                | 22 |
| Figure A.1   | – Example of HTA performed for a PWR NPP .....                           | 56 |
| Figure A.2   | – Example of OSA/OSD performed for a PWR NPP .....                       | 57 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR FACILITIES –  
HUMAN FACTORS ENGINEERING –  
APPLICATION TO THE DESIGN OF HUMAN-MACHINE INTERFACES**

## FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 63351 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation, control and electrical power systems of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

| Draft         | Report on voting |
|---------------|------------------|
| 45A/1530/FDIS | 45A/1546/RVD     |

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

**IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63351:2024



## INTRODUCTION

### a) Technical background, main issues and organisation of the Standard

The technical background that led to the decision to develop this International Standard is given in technical report IEC TR 63214.

In brief, IEC TR 63214 recognized that:

- IEC 60964 entitled "Control Room Design" (then at edition 2.0) included a detailed set of requirements to be applied when designing a control room and a process to implement Human Factors Engineering;
- The above two topics were mixed and the Human Factors part was incomplete and did not reflect state-of-the-art knowledge and wording;
- IEC 60964 was also written considering only Human Factors within the scope of the I&C systems in control room designs. The result was that the document did not take a holistic approach towards the design of the plant-wide control rooms and human-machine interfaces (HMI), including e.g. the local control stations located throughout the plant;
- In addition, the IAEA was in the process of developing a Human Factors Guide (now published as SSG-51) that should also be reflected in the IEC standards.

In view of the above, IEC TR 63214 proposed the development of a dedicated Human Factors Engineering standard while reducing the scope of IEC 60964 to a pure Control Room Design standard. This reduction in scope is for a future edition of IEC 60964.

This document focuses on the application of a human factors engineering (HFE) programme to the design of the human-machine interfaces throughout the lifetime of a nuclear facility, including consideration of plant modifications.

This document is applicable to nuclear facilities such as: nuclear power plants (NPPs), research reactors, uranium enrichment and nuclear fuel fabrication facilities, spent fuel storage and reprocessing facilities.

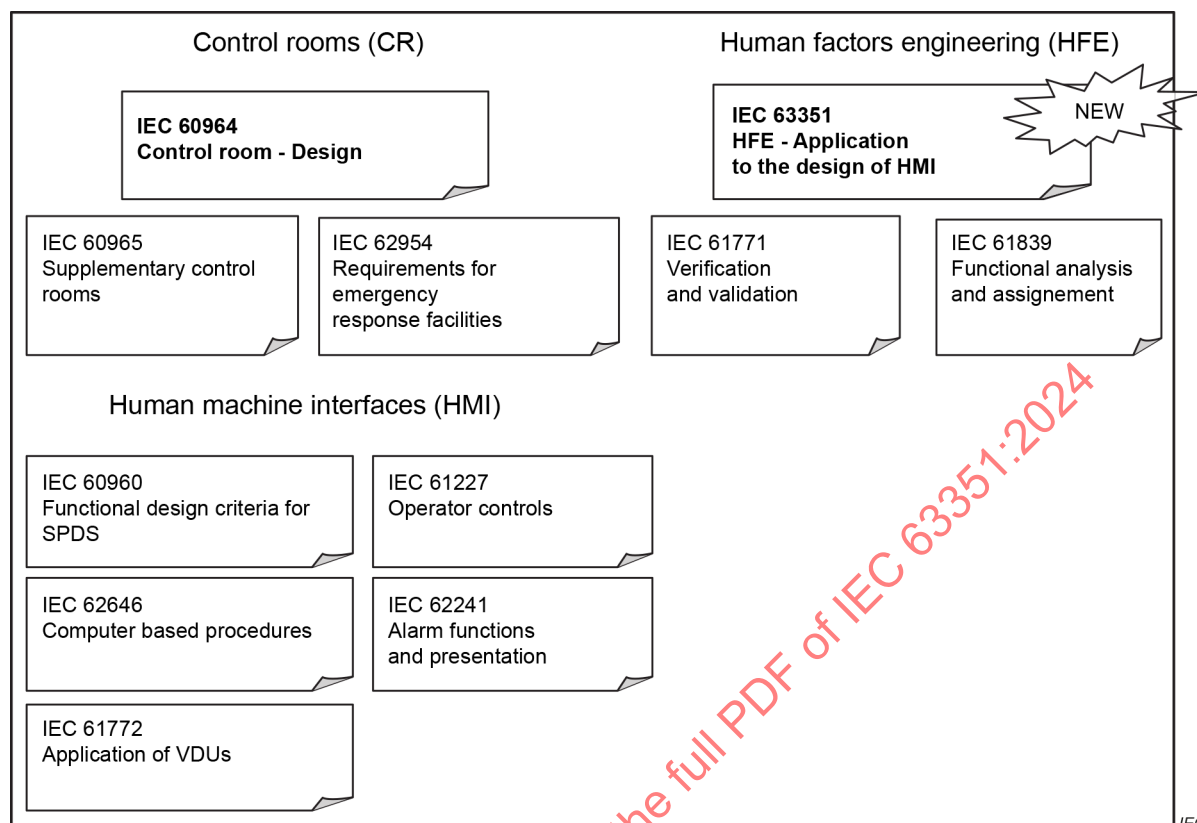
It is intended that this document be used by operators of NPPs (utilities), and of other facilities associated with the production of nuclear energy, systems designers, system evaluators and by licensors.

It is further noted that, whilst existing standards such as those in the ISO 9241 series address many aspects of the ergonomics of human-system interactions, those standards are judged to be too detailed, extensive and in constant evolution to adequately guide the HFE programme requirements within the scope of IEC SC 45A. However, reference is made to ISO 11064 for certain aspects of the ergonomic design of control centres.

### b) Situation of the current Standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

The IEC human factors engineering (HFE) standard is on the same level as IEC 60964 and is the second encompassing document within WG 8. The intention of WG 8 is to update the standard environment step by step with the goal of linking all HFE related standards to this HFE standard and linking all control room (CR) and HMI design-related standards to IEC 60964.

Figure 1 shows the new structure after the update of all WG 8 standards.



**Figure 1 – New WG 8 document structure**

The documents shown on the left of the figure below the "IEC 60964" box constitute the existing set of control room (CR) and HMI design-related standards and those on the right of the figure below the "IEC 63351" box constitute the HFE related standards.

Due account has to be taken of the relationship between the standards in WG 8 when updating IEC 60964 and the new HFE standard. New standards covering detailed information about HFE may follow and be linked to this standard. Other standards currently pointing to IEC 60964 will in future revisions need to point to both WG 8 high level documents. After the final update this can be adapted based on the relevant content.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

### **c) Recommendations and limitations regarding the application of the Standard**

This standard specifies the basic principles and requirements of an HFE programme for all stages of the lifecycle of a nuclear facility.

It builds on the guidance provided by state-of-the-art HFE guides, such as IAEA SSG-51. It covers the minimum requirements for the complete technical scope recognized by such guides but points to other standards for specific detailed requirements.

To ensure that the standard will continue to be relevant in future years, the emphasis has been placed on issues of principle, rather than on specific technologies or techniques.

**d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)**

The IEC SC 45A standard series comprises a consistent set of documents organised in a hierarchy of four levels. The top-level documents of the IEC SC 45A standard series are IEC 61513 and IEC 63046, covering respectively general requirements for instrumentation and control (I&C) systems and general requirements for electrical power systems of NPPs. IEC 61513 and IEC 63046 adopt an overall system life-cycle framework and constitute, along with the relevant second-level standards, the nuclear implementation of the basic safety series IEC 61508.

IEC 61513 and IEC 63046 refer directly to other IEC SC 45A standards for general requirements for specific topics, such as categorization of functions and classification of systems, qualification, separation, defence against common cause failure, control room design, electromagnetic compatibility, human factors engineering, cybersecurity, software and hardware aspects for programmable digital systems, coordination of safety and security requirements and management of ageing.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 or by IEC 63046 are standards related to specific requirements for specific equipment, technical methods, or activities. Usually, these documents refer to second-level documents for general requirements and can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the safety and security principles and basic aspects provided in the relevant IAEA safety standards and in the relevant documents of the IAEA nuclear security series (NSS). In particular this includes the IAEA requirements SSR-2/1, establishing safety requirements related to the design of nuclear power plants (NPPs), the IAEA safety guide SSG-30 dealing with the safety classification of structures, systems and components in NPPs, the IAEA safety guide SSG-39 dealing with the design of instrumentation and control systems for NPPs, the IAEA safety guide SSG-34 dealing with the design of electrical power systems for NPPs, the IAEA safety guide SSG-51 dealing with human factors engineering in the design of NPPs and the implementing guide NSS42-G for computer security at nuclear facilities. The safety and security terminology and definitions used by the SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

IEC 61513 and IEC 63046 refer to ISO 9001 as well as to IAEA GSR part 2 and IAEA GS-G-3.1 and IAEA GS-G-3.5 for topics related to quality assurance (QA).

At level 2, regarding nuclear security, IEC 62645 is the entry document for the IEC/SC 45A security standards. It builds upon the valid high-level principles and main concepts of the generic security standards, in particular ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002; it adapts them and completes them to fit the nuclear context and coordinates with the IEC 62443 series. At level 2, IEC 60964 is the entry document for the IEC/SC 45A control rooms standards, IEC 63351 is the entry document for the human factors engineering standards and IEC 62342 is the entry document for the ageing management standards.

NOTE IEC TR 63400 provides a more comprehensive description of the overall structure of the IEC SC 45A standards series and of its relationship with other standards bodies and standards.

# **NUCLEAR FACILITIES – HUMAN FACTORS ENGINEERING – APPLICATION TO THE DESIGN OF HUMAN-MACHINE INTERFACES**

## **1 Scope**

This document specifies the basic principles and requirements for the application of a human factors engineering (HFE) programme to the design of the human-machine interfaces (HMI) throughout the lifetime of a nuclear facility. The focus of this document is on control rooms and control functions as discussed in the text.

## **2 Normative references**

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60964:2018, *Nuclear power plants – Control rooms – Design*

IEC 60965, *Nuclear power plants – Control rooms – Supplementary control room for reactor shutdown without access to the main control room*

IEC 61227, *Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls*

IEC 61771, *Nuclear power plants – Main control room – Verification and validation of design*

IEC 61772, *Nuclear power plants – Main control room – Application of visual display units (VDUs)*

IEC 61839, *Nuclear power plants – Design of control rooms – Functional analysis and assignment*

IEC 62241, *Nuclear power plants – Main control room – Alarm functions and presentation*

IEC 62954:2019, *Nuclear power plants – Control rooms – Requirements for emergency response facilities*

IEC 63260:2020, *Guide for incorporating human reliability analysis into probabilistic risk assessments for nuclear power generating stations and other nuclear facilities*

ISO 11064-1, *Ergonomic design of control centres – Part 1: Principles for the design of control centres*

ISO 11064-2 (all parts), *Ergonomic design of control centres – Part 2: Principles for the arrangement of control suites*

ISO 11064-3:1999 (all parts), *Ergonomic design of control centres – Part 3: Control room layout*

ISO 11064-4, *Ergonomic design of control centres – Part 4: Layout and dimensions of workstations*

ISO 11064-5, *Ergonomic design of control centres – Part 5: Displays and controls*

ISO 11064-6, *Ergonomic design of control centres – Part 6: Environmental requirements for control centres*

ISO 11064-7, *Ergonomic design of control centres – Part 7: Principles for the evaluation of control centres*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Control locations

##### 3.1.1

##### **control centre**

combination of control rooms, control suites and local control stations which are functionally related and all on the same site

Note 1 to entry: Depending on the context, the term "control centre" may be applied to a) one or more control rooms, control suite or local control station, or b) some combination of these, or c) all of these.

Note 2 to entry: For NPPs, in addition to a main control room (as addressed in IEC 60964), the control centre typically includes a supplementary control room (as addressed in IEC 60965) and a number of on-site emergency response facilities (as addressed in IEC 62954).

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.1, modified – Notes to entry added]

##### 3.1.2

##### **control room**

core functional entity, and its associated physical structure, where operators are stationed to carry out plant operation, including centralized control, monitoring and administrative tasks

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.4, modified – "plant operation, including" inserted, and "responsibilities" replaced by "tasks"]

##### 3.1.3

##### **control suite**

group of functionally related rooms, co-located with the control room and including it, which houses the supporting functions to the control room, such as related offices, equipment rooms, rest areas and training rooms

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.6]

### 3.1.4

#### **human-machine interface**

HMI

part of a system through which personnel interact with the system to perform their functions and tasks

Note 1 to entry: The human-machine interface constitutes the interface between personnel and plant systems, including procedures, communication systems, displays, alarms and controls.

[SOURCE: IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022 (Interim) Edition]

### 3.1.5

#### **local control station**

operator interface that is located near the equipment or system being monitored and/or controlled

Note 1 to entry: Local control stations typically constitute the operator interface for a set of interrelated components (with associated indications and controls), whereas local control points typically constitute that for stand-alone components. Compared to a local control point, more detailed consideration is usually required prior to taking action at a local control station, the impact being at the system level.

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.15, modified – Note to entry added]

### 3.1.6

#### **local control point**

LCP

point located outside the control room where local operators perform maintenance, surveillance or control activities

Note 1 to entry: A control centre (see 3.1.1) includes local control stations (see 3.1.5), but not local control points.

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.20, modified – "maintenance, surveillance or" and Note to entry added]

## 3.2 Function, task and performance

### 3.2.1

#### **function**

specific purpose or objective to be accomplished, that can be specified or described without reference to the physical means of achieving it

Note 1 to entry: This equates to a medium level goal, broken down from a high-level safety or operational goal, to allow an assignment to human or automation, not on the level of a more detailed specific task.

[SOURCE: IEC 61226:2020, 3.10 modified – Note to entry added]

### 3.2.2

#### **functional analysis**

examination of the functional goals of a system with respect to planned staffing, technology, and other resources, to provide the basis for determining how the function may be assigned and executed

Note 1 to entry: Functional analysis addresses "what is required to be done".

Note 2 to entry: See also the definition for TA (3.2.6).

### 3.2.3

#### **performance requirements**

qualitative and quantitative requirements specifying performance, which ensure the achievement of functional goals

**3.2.4****performance shaping factors**

factors that influence human performance; they include factors such as environmental conditions, human-machine interface design, procedures, training, and supervision

**3.2.5****task**

action performed by humans for the accomplishment of a functional goal

**3.2.6****task analysis**

TA

identification, description and evaluation of an operator's task, in terms of its components, to specify the detailed human activities involved, and their functional and temporal relationships

Note 1 to entry: TA addresses "how a required task is to be done".

Note 2 to entry: See also the definition for functional analysis (3.2.2).

**3.3 Human factors aspects****3.3.1****end point vision**

concept for the target control centre and/or HMI to be developed for guiding the planning, HFE analyses, design and implementation over time to the desired final product

Note 1 to entry: The "end point vision" includes two conceptual aspects, HMI conceptual design and concept of operations, which are elaborated through the HFE programme.

Note 2 to entry: The "end point vision" is determined at the outset of any project.

**3.3.2****human engineering discrepancy**

HED

departure from some benchmark of system design suitability for the roles and capabilities of the human operator

Note 1 to entry: This may include a deviation from a standard or convention of human engineering practice, an operator preference or need, or an instrument/equipment characteristic that is implicitly or explicitly required for an operator's task but is not provided to the operator

Note 2 to entry: In some countries, the term "human factors issue" is used.

**3.3.3****human error**

discrepancy between the human action taken or omitted, and that intended or required

EXAMPLE Performing an incorrect action; omitting a required action; miscalculation; misreading a value.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-14]

**3.3.4****human factors engineering**

HFE

application of knowledge and methods to take HF into account in the design of the plant, its systems, and equipment to ensure optimal performance and safety

**3.3.5****human interaction**

interrelation between the user and the human-machine interface, specifically, display of plant status by the human-machine interface and corresponding user action

### 3.3.6

#### **important human task**

IHT

human task that can have an adverse or positive effect on safety, as determined by safety analysis

[SOURCE: IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022 (Interim) Edition]

### 3.3.7

#### **situation awareness**

dynamic process of perception and comprehension of the plant's actual condition in order to support the ability of individuals and teams to predict the future conditions of systems

Note 1 to entry: The degree of situation awareness corresponds to the difference between the understanding of plant conditions and the actual conditions at any given time.

[SOURCE: IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022 (Interim) Edition]

### 3.3.8

#### **staffing, organisation and qualification analysis**

definition and analysis of the operating staff's roles and the basic requirements in terms of skills and knowledge which a job demands of the operating staff

### 3.3.9

#### **style guide**

document containing guidelines, tailored so they describe the application of HFE guidance to a specific design, such as for a specific plant control room

## 3.4 Operational aspects

### 3.4.1

#### **computer-based procedures**

CBP

interactive computer application used to present procedural guidance to plant operators and which may additionally contain dynamic process information including access to operator controls

Note 1 to entry: Unlike paper-based procedures which are static documents, CBP offer dynamic reading options. These options allow the operator to "navigate" from one step to others in different enhanced ways, to place bookmarks, and to use parallel displays.

[SOURCE: IEC 62646:2016, 3.2]

### 3.4.2

#### **concept of operations**

proposed design in terms of how it will be operated to perform its functions, which includes the various roles of personnel and how they will be organized, managed and supported

Note 1 to entry: It describes how the plant is operated ('operating philosophy') and includes aspects such as the number and composition of operating personnel, their expected characteristics and how they operate the plant under normal and abnormal conditions.

[SOURCE: IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022 (Interim) Edition, modified – "their expected characteristics" added in Note to entry]



### 3.4.3

#### **control room operators**

operating staff stationed in the control room, who are responsible for achieving the plant operational goals by controlling plant through human-machine interfaces and via communication with local operators

Note 1 to entry: The term "operators" is used in a general sense and, depending on the type of nuclear facility and associated staffing arrangements, may also include staff who perform a supporting role but are not formally given the title "operator".

Note 2 to entry: Where the HFE aspect of an operational task involves collaboration between a group of operators, the term "crew" is sometimes used.

### 3.4.4

#### **emergency response**

performance of actions to mitigate the consequences of an emergency for human life, health, property and the environment

[SOURCE: IEC 62954:2019, 3.5]

### 3.4.5

#### **local operators**

operating staff that perform tasks outside the control room

Note 1 to entry: The term "field operators" may also be used for these staff.

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.21, modified – Note to entry added]

### 3.4.6

#### **maintenance staff**

plant staff responsible for performing maintenance, testing and calibration activities on plant systems and equipment

Note 1 to entry: Other named groups may be assigned responsibility for testing and calibration activities.

### 3.4.7

#### **operating procedures**

set of documents specifying operational tasks it is necessary to perform to achieve functional goals

Note 1 to entry: The set of documents may be paper-based, computer-based or in both forms.

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.22, modified – Note to entry added]

### 3.4.8

#### **operating staff**

plant staff engaged to operate the plant on a shift basis

Note 1 to entry: The operating staff include the control room operators and local operators, but exclude other staff, who may also work on a shift basis.

### 3.4.9

#### **operational activities**

all activities performed to achieve the purpose for which an authorized facility was constructed

Note 1 to entry: For an NPP, this includes maintenance, refuelling, in-service inspection and other associated activities.

### 3.4.10

#### **qualification**

<personnel> ability, characteristic, knowledge or experience that makes a person suitable for a particular job or activity

#### **3.4.11**

##### **reference design**

design, comparable to the design of the plant that is to be built, that may be used as the basis for the HFE programme and analysis

#### **3.4.12**

##### **training programme**

programme which is designed to train the operating staff so that they can acquire the skills and knowledge necessary for operational activities during all plant states considered in design (i.e. normal / abnormal operational states and accident conditions)

### **3.5 Verification and validation**

#### **3.5.1**

##### **analytical design review**

review of a reference design or designs as input to the design process for a new project

#### **3.5.2**

##### **dynamic design review**

review of a design that is available in either a simulated form or as prototype equipment that can be interrogated dynamically

#### **3.5.3**

##### **integrated design review**

review of a design that has sufficient integrated elements to warrant the start of integration testing

#### **3.5.4**

##### **integrated system validation**

ISV

evaluation using performance-based tests to determine whether an integrated system design (e.g., hardware, software, procedures, staffing) meets performance requirements and supports the plant's safe operation

#### **3.5.5**

##### **static design review**

review of a design that is only available on paper or as a mock-up that cannot be interrogated dynamically

#### **3.5.6**

##### **validation**

confirmation by examination (by performance based tests) and by means of objective evidence that the human-machine interface system as a whole, including the user, can successfully perform its intended functions and meet its goals and objectives in the range of environments in which it is anticipated to have to operate

[SOURCE: IAEA Specific Safety Guide No. SSG-51, 2019, modified – “(by performance based tests)” added]

#### **3.5.7**

##### **verification**

confirmation by examination and by means of objective evidence that the human-machine interface system as a whole meets the design specifications and requirements, and provides the support necessary to accomplish tasks, as intended

[SOURCE: IAEA Specific Safety Guide No. SSG-51, 2019]

#### 4 Abbreviated terms

|      |                                                  |
|------|--------------------------------------------------|
| CBP  | Computer Based Procedures                        |
| CR   | Control Room                                     |
| EPRI | Electric Power Research Institute                |
| HED  | Human Engineering Discrepancy                    |
| HF   | Human Factors                                    |
| HFE  | Human Factors Engineering                        |
| HMI  | Human-Machine Interface                          |
| HRA  | Human Reliability Analysis                       |
| HTA  | Hierarchical Task Analysis                       |
| HW   | Hardware                                         |
| IAEA | International Atomic Energy Agency               |
| IEC  | International Electrotechnical Commission        |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronic Engineers |
| IHT  | Important Human Task                             |
| ISO  | International Standardisation Organisation       |
| ISV  | Integrated System Validation                     |
| I&C  | Instrumentation and Control                      |
| LCP  | Local Control Point                              |
| MCR  | Main Control Room                                |
| NPP  | Nuclear Power Plant                              |
| OER  | Operating Experience Review                      |
| OSA  | Operating Sequence Analysis                      |
| OSD  | Operating Sequence Diagram                       |
| PSA  | Probabilistic Safety Assessment                  |
| PWR  | Pressurized Water Reactor                        |
| Pzr  | Pressurizer                                      |
| RO   | Reactor Operator                                 |
| SG   | Steam Generator                                  |
| SPDS | Safety Parameter Display System                  |
| SSC  | Structures, Systems and Components               |
| SW   | Software                                         |
| TA   | Task Analyses                                    |
| VDU  | Visual Display Unit                              |
| V&V  | Verification and Validation                      |
| WG   | Working Group                                    |

## 5 Management of human factors engineering programme

### 5.1 General

For an existing plant, the HFE is to respect the existing philosophy.

The broad engineering environment to which the standard applies is as follows:

- Applicable to projects for all types of nuclear power plants (NPPs) and other facilities associated with the production of nuclear energy;
- Applicable to new designs of nuclear facilities, evolution of "next generations" of nuclear facilities and modernization (e.g., modifications, upgrades and replacements of equipment) of existing nuclear facilities;
- Mainly applicable to HFE aspects that ensure nuclear safety (and security) of the facility; but should also be applied where lack of HFE input could lead to increased equipment failure rates and/or human errors potentially having an indirect detrimental impact on the nuclear safety (and security) of the facility and/or the environment;

NOTE 1 Regarding nuclear security, the HFE application concerns how security measures such as access control are implemented for the HMI.

- Applicable to all stages of the facility / project lifecycle, (i.e. utility or vendor organisation specification, design, procurement, manufacture, testing, installation, commissioning, operation, maintenance, modification, decommissioning);

NOTE 2 Decommissioning is not specifically addressed in this document. However, it is recognized that HFE has a role to play in ensuring that nuclear facilities can be safely decommissioned. This can be achieved by applying HFE to the outline plant decommissioning plans at the concept stage and applying HFE to the more detailed plans prior to their ultimate implementation, based on tailoring the 12 HFE elements (outlined below) to the different decommissioning phases.

- Applicable to all operational states and postulated accident conditions of the facility, with due attention to the associated environment and any need to use specialist handling equipment or wear personal protection equipment in order to perform specific control or monitoring tasks;
- Applicable to all equipment (and associated operating documentation) by which humans interface with the nuclear facility and its systems (i.e. control centres, local control points, emergency response facilities, local alarms and monitoring points, operating procedures, maintenance procedures, etc.);

NOTE 3 Also applies to any temporary HMIs by which humans interface with the nuclear facility and its systems.

- Applicable to all personnel who are directly involved in the technical activities covered by the above. It excludes personnel who perform other functions not covered by the above unless it is judged from operating experience reviews that their actions could lead to an indirect detrimental impact on the nuclear safety (and security) of the facility and/or the environment.

NOTE 4 The main emphasis of the HFE programme relates to the "operational" activities.

This document is intended as an HFE document that builds on the guidance provided by state-of-the-art HFE guides, such as IAEA SSG-51 and IAEA NR-T-2.12. It covers the minimum requirements for the complete technical scope but points to other standards for specific detailed requirements.

The technical scope includes the following 12 HFE elements recognized by such guides:

- a) HFE programme management – the existence of an appropriately resourced HFE team with the responsibility, authority, placement within the organisation, and composition to reasonably assure that the plant design meets the commitment to HFE.
- b) Operating experience review (OER) – the identification and analysis of HFE-related problems and issues in previous designs similar to the current one.

- c) Functional requirements analysis and function allocation – definition of the functions that shall be carried out to satisfy the plant's safety goals and the assignment of responsibilities for those functions (function allocation) to personnel and automation in a way that takes advantage of human strengths and supports human limitations.
- d) Treatment of important human tasks – the identification of important human tasks, through a combination of probabilistic and deterministic analyses, and consideration of human-error mechanisms for important human tasks in designing the HFE aspects of the plant.
- e) Task analysis (TA) – identification, description and evaluation of the specific tasks needed to accomplish personnel functions, and the alarms, information, controls and task-support required to complete those tasks.
- f) Staffing, organisation and qualifications – the systematic analysis of the requirements for the number of personnel, based on the allocation of functions and the various plant states considered in design, their organisation and their qualifications that includes gaining a thorough understanding of the task.
- g) HMI design – translation of the functional and task requirements into HMI design requirements, and to the detailed design of alarms, displays, controls, and other aspects of the HMI from an HFE perspective.
- h) Procedure development – ensuring that the procedure development programme incorporates HFE principles and criteria, along with all other design requirements, to develop procedures that are technically accurate, comprehensive, explicit, easy to utilize and validated.
- i) Training programme development – ensuring that the training programme development programme incorporates HFE principles and requirements created during the HFE analyses e.g., results from staffing and TAs, and HFE V&V results, along with other design requirements and actual operating experience.
- j) Human factors verification and validation – the human-centred systematic evaluation of design solutions and usability, and their appropriate resolution, at the following 3 stages of the plant design:
  - HMI task support verification;
  - HFE design verification, and
  - integrated system validation (ISV).
- k) HFE during implementation of the design – confirmation that:
  - the as-built design conforms to the verified and validated design resulting from the HFE design process;
  - implementation of plant changes considers the effect on personnel performance and affords necessary support to reasonably assure safe operations.
- l) Human performance monitoring – the development of a human performance monitoring programme to:
  - ensure that the conclusions drawn from the ISV remain valid with time;
  - ensure that no significant safety degradation occurs because of any changes made in the plant;
  - ensure no emerging or previously unidentified conditions or characteristics of the approved HMI potentially impair human performance.

NOTE 5 The 'tracking of assumptions and issues' and the 'management of HF in the supply chain' are important parts of the design process, but are not addressed in any detail within the document.

## 5.2 Management arrangements

An HFE programme shall be established and the corresponding management implementation plan shall be documented and followed (see 5.8.3) to ensure the successful integration of human characteristics and capabilities with the design, commissioning, operation, maintenance, and decommissioning of the nuclear facility.

The HFE programme shall outline the HFE activities as well as the inputs, outputs, and the processes between different activities. HFE activities include analyses, design of the HMI, evaluations such as verification and validation, and monitoring of human performance. The HFE process shall be iterative, in terms of reviewing and validating the design options during the different stages of design, to ensure the results are effective.

The integration of HFE into the design shall be planned and documented, as an integral part of any nuclear facility project. A process for ensuring that the outputs have been addressed shall be established and documented. The process descriptions should be updated at appropriate times.

All the codes, standards and specifications applied in the HFE activities shall be outlined in the HFE programme.

### **5.3 Human factors engineering team**

#### **5.3.1 HFE team responsibilities**

The HFE team shall be responsible for:

- developing the HFE programme which includes the management implementation plan and procedures;
- ensuring the HFE programme implementation by conducting or coordinating all the HFE activities in the programme with the relevant engineering departments / experts;
- verifying that the team's recommendations and requirements are implemented or dispositioned to the acceptance of the HFE team;
- assuring that all the HFE-related issues are resolved properly;
- assuring that all the HFE activities comply with the plan and procedures.

There may be a need for HFE teams at different hierarchical levels, especially in the context of modifications in existing facilities, for example:

- an upper level HFE team responsible for overall HFE management of the facility. This team would define and be responsible for facility-level HFE procedures, such as the integration of the HFE process into the facility's technical design process and defining the criteria for identifying modification projects that require HFE activities. It would also monitor the effectiveness of the facility-level HFE programme. It would need to be established before the start of any specific project and remain in place for the full duration of the project;
- a number of project-level HFE teams that are each dedicated to specific projects and are responsible for implementing and/or coordinating project-specific HFE activities (e.g., screening, graded approach and implementation of needed HFE elements).

NOTE It is the responsibility of the user to adapt their HFE teams to the needs of their projects.

#### **5.3.2 Support by a multidisciplinary team**

The HFE team shall work with and be supported by a multidisciplinary team to carry out all the HFE activities which include: analyses, design, verification and validation.

The multidisciplinary team typically comprises experts from: system engineering, process and mechanical engineering, nuclear safety engineering, instrumentation and control engineering, nuclear engineering, architect engineering, the supplier organisation, plant operation and maintenance, computer science and engineering, personnel training and human reliability analysis.

The HFE team may be established as a functional organisation which is both flexible and adaptive, and may be augmented as needed for a specific design phase by seconded or temporarily assigned engineers from a multidisciplinary organisation as mentioned above.

NOTE In this case, each person would represent their discipline and would be responsible for ensuring that their discipline's design implementation takes into account the HFE programme by coordinating their discipline's members contributions.

### 5.3.3 HFE team organisation, qualification and authorization

The HFE programme shall identify the relevant organisational requirements and competence requirements (e.g., qualifications, skills, knowledge and training) for personnel performing HFE activities.

The HFE programme shall describe the HFE team organisation structure and staffing in terms of job descriptions and assignments of team personnel.

Members of the HFE team who perform verification and validation (V&V) activities shall be independent from the members who perform the corresponding design activities. This is to assure their objectivity and avoid any bias when evaluating the design. The HFE "V&V team" shall include members who are experienced in design and operation.

The HFE team shall have the authority and organisational placement to effectively assure that all its areas of responsibility are completed. The HFE manager should have equal status with the engineering manager, positioned at a high level within the project management structure, and should report directly to the project or plant manager, as applicable.

NOTE This will encourage management compromise and commitment with HFE and design to be evaluated on an equal basis.

The HFE team shall have access to all the related documents which include: analysis reports, system design specifications, design drawings, administrative and operational procedures.

### 5.4 Overall design process

HFE shall be considered from an early stage throughout the entire design process. Overarching design principles regarding the HFE aspects shall be defined for the project in order to ensure a consistent design approach.

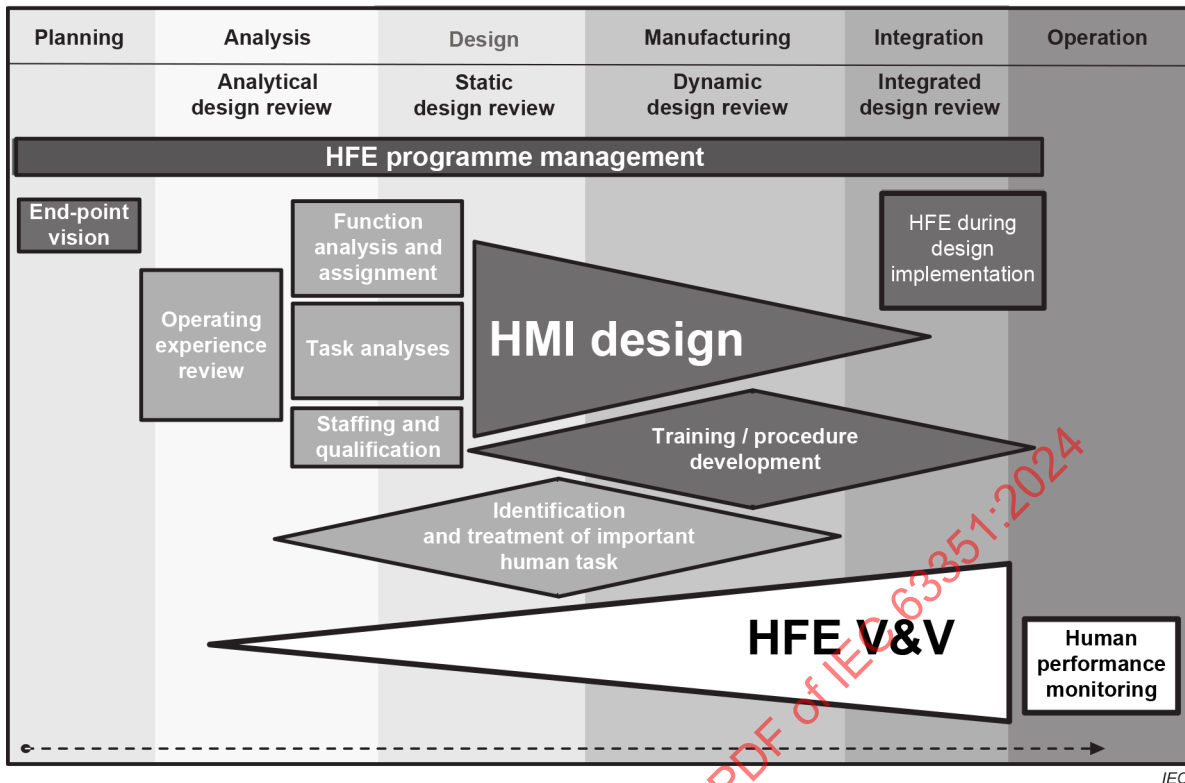
The HFE activities shall be organized in a step-by-step approach with subsequent phases. These phases should be consistent with the phase organisation of the activities of other engineering disciplines. A typical organisation comprises: planning, analysis, design, manufacturing, integration and operation.

All HFE activities are in general iterative in that the design options are reviewed and validated at each stage of design throughout the project. In particular, HFE milestones or gate reviews should be defined to decide whether a project can proceed or whether design modifications are necessary, and what repeated V&V shall be carried out.

The HFE activities should be scheduled appropriately with due consideration of the overall design schedule and cost.

Figure 2 presents all the main elements of the HFE process in a timeline, to guide the integration into the overall project schedule. The triangles in the figure indicate the increasing or decreasing efforts during the different design phases. The light grey boxes and triangles indicate the analyses needed to provide input to the design, the darker grey indicate the design activities and the white indicate the V&V actions and human performance monitoring. Parallel activities influence each other through iterations.





**Figure 2 – Human Factors Engineering process**

In the planning phase, the HFE programme shall be set up, since a late set up would result in late design changes, additional analyses, and greater risk to the safety and security of the facility. The end point vision is also set up in this phase and some pre-evaluation of the reference designs starts.

In the analysis phase, the HFE analyses shall be performed to provide the needed input to the design from an HFE point of view and to support the concepts of other design disciplines. In addition, an initial design verification of general concepts and already available information from the reference design may start. Throughout this phase, important human tasks also receive special focus, to include them early into design decisions. A major activity is the closure of the operating experience review (OER), the staffing, organisation and qualifications analysis and other design inputs (as discussed in Clause 6). Task analysis (TA) and the assignment of functions shall be performed and closed as far as reasonable.

In the early design phase, the HFE analyses shall be closed and the HFE design input identified. The design and manufacturing phases then include the creation of the HMI, and the training and procedure development followed up by static and dynamic HFE verification and validations. Where the HFE analysis has not been completed, a record should be made and a note made about any working assumptions.

In the integration phase, the focus should be on validating the HMI and considering the changes created. Finally, the integrated system validation (ISV) shall be performed.

In the operation phase, human performance should be monitored. This aims at detecting deviations from expected performance and revealing deficiencies that had not been identified during the V&V activities. In projects where a reference design from a human factors point of view is available, this will reduce the analyses part to a minimum by considering the reference plant human factors knowledge and designs.



## 5.5 Identification and resolution of human engineering discrepancies (HEDs)

Human engineering discrepancies are identified during the HFE process.

HED resolution is an evaluation to provide reasonable assurance that the HEDs identified during the HFE process have been assessed and resolved. A typical iterative process for the resolution of an HED should include:

- a) HED analyses, to evaluate if the HED require correction;
- b) Development of the design solution when the HED correction is identified as necessary;
- c) Verification of the completed implementation of the HED design solution.

For the HEDs generated from the HFE process, specific documents shall be established to include the records, analyses and resolutions of HEDs. When possible, a tracking system, which may be separate or combined with the specific engineering system, should be used to assure all the HEDs identified are resolved. At the early stage of a project, the HFE programme shall provide a plan for documenting, tracking and resolving HFE related issues that are identified by the HFE processes. Database tools should be used for the issues tracking.

NOTE Gate reviews (see 5.4) are important to determine whether projects can or cannot proceed after implementation of HEDs / modifications.

## 5.6 HFE programme scope considerations

### 5.6.1 General

This subclause addresses how to establish the scope and boundaries of the HFE programme through consideration of the integration of activities with the rest of the plant facilities, screening, graded approach, use of reference designs and application to different projects.

The application to a project with arguments for scope limitation shall be documented in the projects HFE plan.

### 5.6.2 Integration of activities with the rest of plant facilities

Human errors in industry and at nuclear facilities highlight the importance of HF integration with the design process so that human error is minimized and the design made tolerant and forgiving of human errors that do occur. Human error with an impact on the safety of the facility can result, not only from deficiencies of the main control areas, but also from unclear designs of local controls, facility equipment and maintenance activities.

In addition to human errors that can have a direct influence on safety, it shall be considered whether errors at all facility levels could have a time delayed or facility situation based influence on safety. In particular, local control stations and equipment for emergency or beyond design situations need special attention during the HFE programme. The recovery from those failures shall be in the scope of the HFE analyses.

Based on the above knowledge, HFE shall consider the whole facility. Considering the facility wide scope requires particular attention during the development of the HFE programme and shall be documented in the HFE programme management plan.

### 5.6.3 Screening of HFE elements

The application of the HFE programme should consider a screening process of the HFE elements for assessing their applicability to the project under consideration, such as new designs, plant modifications, modernisation activities or changes to maintenance procedures.

Consequently, the results of the screening process depend greatly on the project being considered, especially if the aspects affected are relevant to human factors, such as actual HMI, operator aids, setpoints, procedures, requirements for task performance, amongst others.

The screening process that is traditionally followed involves developing a checklist that asks if the activities to be performed for each programme element are required, based on what is to be changed or developed in the project being considered.

In the case of new designs, the most probable result is the execution of a full HFE programme tailored by the considerations that are described in the following subclauses.

In the case of design modifications, the screening outcome will be those specific HFE programme elements that need to be developed, these being tailored as described for new designs.

The screening outcome should be documented for traceability purposes.

#### **5.6.4 Graded approach**

Due to the high complexity of human interactions and the size of the nuclear facility, use of a graded approach assists the HFE team to focus on the important interactions throughout the design process and on the areas that need it most (considering different types of risks such as radiation, worker, equipment, or environment risks, amongst others). Consequently, the graded approach identifies the appropriate level of rigour, resource and detail to be applied.

The graded approach shall focus on those human interactions with an elevated risk in case of human error and should be performed at the human tasks level.

The grading dimensions to be considered should include:

- the safety relevance (including risks as described previously);
- the complexity of the human interactions; and
- the existing operating experience, e.g., the maturity of the used technology and design solution.

NOTE Plant situations, even with low probability, could have a major impact on the dimensions and cannot be excluded a priori, e.g., "safety relevance" of a task could increase due to unavailability of a system, or "complexity of human interaction" could increase due to unavailability of staff, interfaces or equipment, such as during a severe accident.

From a defence-in-depth perspective, normal operations should be reliable and therefore operation of non-safety systems may be safety relevant from a HFE point of view and similarly cannot be excluded a priori.

Based on the grading of tasks, different levels of analyses, design involvement and HFE V&V methods and involvement should be applied. Especially for local interactions, this approach should guide the HFE team.

The grading of tasks and connected HFE activities shall be defined in a method statement as part of the facilities HFE plan. The approach shall be reviewed regularly throughout the HFE programme to identify possible gaps.

#### **5.6.5 Use of reference designs**

System and component engineering is strongly based on existing reference designs where available.

NOTE There can be reference designs that include HFE results, or reference designs that include no HFE results (e.g., only for guiding the design of the available I&C and plant systems).

For human interactions and HMI design, the review of reference designs shall be considered during the HFE programme. Similar to that for other engineering disciplines, references may only be used where they can be shown to be applicable and where proven evidence of the performed HFE application exists.

The reference design should be analysed and a detailed delta evaluation performed to apply the existing results into the new design. Combinations of reference designs might create new issues and they shall therefore be evaluated in detail.

The use of a reference design and corresponding HFE results shall be analysed at the beginning of the design and documented in the HFE plan.

#### **5.6.6 Examples of application to different projects**

The considerations described in the previous subclauses determine the scope of HFE activities that are to be applied to projects. The application for the two main types of project is as described below.

a) HFE programme for a new facility (or a new stand-alone system)

The HFE programme should cover the complete design of the facility. It shall be in effect from at least the start of the design cycle through to completion of the initial plant start-up test programme.

The operation stage shall be considered at an appropriate time.

b) HFE programme for all types of plant modifications, modernisation activities and changes to maintenance HMIs

A specific HFE programme shall be elaborated for significant plant modifications and modernisation activities which may:

- result in substantial modifications to controls, displays and alarms that are associated with structures, systems and components (SSCs) important to safety, or
- affect important human tasks.

For an existing plant, the HFE shall respect the existing philosophy.

This HFE programme should consider coordinating and guiding the training, procedures and administration documents before implementation of the modification.

This HFE programme may be graded according to the risk significance and potential for human error.

A specific HFE programme should define the arrangements that need to be established for minor modifications and changes to maintenance procedures to ensure that:

- the potential for incurring human errors during implementation of the modifications / maintenance procedures is assessed;
- the nature of such errors is understood (e.g., whether they would be detectable or, in the case of redundant equipment, could lead to failure of multiple redundancies);
- the likelihood and potential safety consequences arising from such errors are evaluated;
- an appropriate level of rigour, resources and detail is applied in the planning of the work based on the results of that evaluation.

## 5.7 End point vision

At the outset of any project, the development of an end point vision shall take place in order to provide a clear and overarching description of the HMI to be developed and how it will be operated for the project under consideration.

The end point vision can be considered as part of the initial activities of the HFE programme and is a key input for the analysis, design, procurement and verification and validation activities, providing guidance and enabling a shared understanding of HMI to be developed.

The end point vision should become more detailed during design and should be further developed and updated when needed. The end point vision should be used during all design stages for verifying and validating design assumptions. Proposed design modifications should be analyzed for their impacts on the end point vision.

It is important to indicate that the HFE activities within the HFE programme do not necessarily drive to any specific type of HMI and technology approach, and the end point vision provides the initial target to follow. Nonetheless, the end point vision should clarify whether any emergent technologies would be acceptable for the application being considered, including the extent of research and development that could be needed to support their adoption.

The end point vision shall be documented to guide all designing disciplines throughout the entire design process.

The development of the operating principles needs the collaboration of a multidisciplinary team with all the project stakeholders and it may need to evolve over time considering relevant and appropriate design phases according to the needs of the project.

The end point vision comprises the following two components:

- HMI conceptual design; describing the geographical and physical locations of the planned control centres and associated HMIs as well as the associated I&C or other SSCs, taking into account the high-level functions and plant conditions to be faced.
- Concept of operations; describing the intended users as input for the HMI conceptual design and a high-level description of the tasks to be accomplished for the plant conditions planned to be faced.

The HMI conceptual design may vary depending on the project under consideration. It can cover:

- main control room;
- supplementary control room;
- technical support centre;
- other relevant facilities for plant operation, such as those for emergency management, fuel handling, or local control stations;
- the locations of I&C equipment;
- the applicable buildings, locations, and equipment.

For design modifications, the HMI conceptual design will focus on those HMI or control centres applicable to the modification.

Both for new builds and design modifications, the HMI conceptual design descriptions consider as applicable:

- extent of centralisation;
- extent of information processing;

- layout of HMI panels and workstations within the control centres, considering the use of screens or panels/desks, with all the necessary hardwired indications and controls (this could determine the size of the control centre);
- technological approach within the control centres (e.g., digital vs analog, security aspects);
- locations of I&C equipment;
- potential building constraints.

The concept of operations scope is defined relevant to the engineering project, including:

- description of all the normal and abnormal plant conditions;
- how the plant is to be operated under those conditions;
- the number and composition of the operating staff and their roles associated with the operations and administrative routines;
- any assumptions on which the safety case for the facility or activity is based.

The concept of operations is drafted in conjunction with the HMI conceptual design. These two documents (i.e., "concept of operations" and "HMI conceptual design") in the end point vision shall be elaborated through the HFE programme execution and form the overall picture or a target of the design solution.

## **5.8 HFE deliverables to be prepared**

### **5.8.1 General**

The HFE deliverables that are to be prepared within a project depends greatly on the scope to be developed, considering all the issues previously described within this Clause 5. It is good practice to prepare "implementation plans" for the items defined in the HFE programme, before starting the real work.

### **5.8.2 HFE programme management**

For HFE element 1, an HFE programme plan needs to be developed. This should outline all the HFE activities that are to be carried out, considering:

- goals and scope;
- teams and organisation;
- HFE process, methodologies, stages and results;
- issue tracking system;
- technical programme;
- schedule.

Apart from an implementation plan, a screening deliverable (determining the technical programme that is to be followed in the case of design modifications) and an end point vision report may be necessary, but this will be dependent on the project scope.

### **5.8.3 Other HFE elements**

For all other HFE elements that apply to a project, an implementation plan should be developed, focusing on:

- the methodology to follow;
- the number of stages into which the activity is subdivided;
- the number of teams/personnel involved;
- the responsibilities of each team and its team members.

The number of result deliverables depends greatly on the activity that is to be carried out. As a minimum, a result summary report should be considered that summarizes:

- all the activities developed within each HFE programme element, and in how many deliverables;
- evaluations conducted of these activities and any recommendations on how to proceed.

Finally, the review process for these deliverables should be planned according to the main phases of the project and according to each verification and validation phase.

## **6 Analyses providing input to human interaction**

### **6.1 Operating experience review (OER)**

OER provides operational information on the past performance of predecessor and reference designs, lessons learned from incidents and events involving the types of equipment, relevant operating experience review or feedback for the use of similar equipment.

The objective of the OER is to identify and analyse HFE-related issues to ensure that negative features are avoided as far as possible while retaining their positive features.

Operating experience shall be analysed by consulting industry related databases and conducting interviews with operating, emergency response and maintenance staff, and any other plant personnel performing safety significant tasks, of the most applicable reference facility configuration. The OER shall consider the complete plant.

Operational experience from existing nuclear facilities and comparable industry applications shall be collected, analysed and fed back to the design of the facilities human interactions where applicable. Such experience may recommend use or optimisation of proven solutions or even influence the consideration of principles in domains such as the following:

- staffing;
- operating, emergency response and maintenance staff organisation and job definitions;
- function allocation between main control room and local control stations;
- automation;
- operation;
- design of information processing, information presentation and controls;
- work environments.

Operating experience review shall be performed considering:

- internal material documented by the facilities owner or a similar facility taken from real operating experience with a connection to used equipment, facility, and staffing;
- external operating experience considering databases and showing experience from other similar facilities;
- nuclear event review considering major events involving human related errors e.g., Three Mile Island, Chernobyl, Fukushima and corresponding technical solutions;
- industry events, considering similar technology, principle of operation or level of automation events.

## 6.2 Functional analysis and assignment

### 6.2.1 General

An analysis of the functions to be performed by the nuclear facility to achieve the objectives shall be conducted. Subsequently, the functions shall be assigned to either the human or the machine.

### 6.2.2 Functional analysis

The functional analysis should identify a hierarchy of goals for the facilities design covering all operational states and accident conditions. In the case of NPPs, these goals shall include the production of nuclear energy and the minimization of activity release as principal goals. The goals should be developed further as sub-goals and used in the design decision process.

With respect to hierarchical goal structures, all plant functions associated with the goals of plant operation should be identified and documented. A methodology for identifying these goals is given in IEC 61839.

### 6.2.3 Functional assignment

Functional assignment shall be conducted to determine which functions with their characteristics at a first level of detail should be assigned to the human and which functions should be assigned to the automated systems. Functional analysis provides the required input to the functional assignment process and the human actions constitute the input to the TA.

The principles and criteria used in the analysis shall be documented and shall include factors which deal with the capabilities and limitations of both the facilities staff and the automatic control system.

Functions assigned to humans are:

- manual control (including backup control to automation);
- monitoring associated with both manual control and automatic control;
- high-level mental processing tasks such as diagnosis to determine the cause of abnormal and unforeseen operating conditions and events and to determine corrective actions.

Functions assigned to the machine refer to those which are achieved by automatic control. In the case of assigning important safety functions to machine, consideration shall be given to also:

- assign the monitoring of those automatic systems to humans (to supervise correct operation and intervene in case of malfunctions);
- provide feedback reflecting automatic actions;
- enable human intervention in case of failures.

For NPPs, refer to IEC 61839 for more detailed requirements concerning the assignment of functions process. This assignment should result in the information needed for the design of the information and automation systems and the functional organisation of resources/means to perform each of the above functions.

### 6.2.4 Verification and re-evaluation of assignment

The acceptability of the assignment of functions to human and machine shall be verified in the TA process. Evidence shall be presented that the proposed functional assignment takes the advantage of the capabilities of human and machine without imposing unfavourable requirements on either of them.



For NPPs, refer to IEC 61771 for more detailed requirements for the verification of functional assignment.

### 6.2.5 Staff capabilities

The functions assigned to operators should distinguish between those situations where they are:

- actually performing a control function;
- supervising an automatic system that is performing the control function;
- performing high level mental processing tasks such as diagnosis;
- needing to consult or work closely with colleagues.

For potential operator functions, estimates of the processing capability required in terms of workload, accuracy, rate and time factors shall be prepared for each information processing aspect and control action. These estimates shall be used for the initial assignment of functions. The estimates should be modified based on the verification results and used to reconsider the assignment of the function as well as to provide a more detailed definition of the required operator capabilities.

NOTE Workload analysis can be used to assess the degree of task loading of humans by comparing the total temporal task demands with the time available as deterministically defined by plant design or safety/stress analysis (see Clause A.6 for further details).

The operator tasks to be performed to accomplish the functions should follow the requirements for display, control and communication and shall consider the human capabilities. The operator task definitions should include these display, control and communication requirements.

An equivalent approach to that described may be adopted to address maintenance staff capabilities taking into account:

- type of task (e.g., component check / replacement, testing and/or calibration);
- whether there is any time pressure associated with implementing the task;
- potential safety consequences upon incorrect implementation of the task;
- whether any realignment of the system is required both before and after implementation of the task.

### 6.2.6 I&C system processing capabilities

Processing capabilities of the I&C system should ultimately include aspects such as quantity, response time, accuracy and HMI requirements coherent with HFE considerations.

To reduce the probability of human error, the control systems should be designed to keep the plant within safe limits without any operator action during a specified period after initiation of certain abnormal operational states or accident conditions of the plant. This period shall be reflected in the functional requirements for the automatic control systems. The degree to which the operators need to be informed about these automated actions should be considered to maintain situation awareness.

## 6.3 Identification and treatment of important human tasks

### 6.3.1 General

The HFE team shall identify important human tasks (IHTs) and determine how IHTs are treated in the HFE programme by considering the probabilistic risk assessment (PRA) / human reliability analyses (HRA) and deterministic safety analyses results, with special focus on the facility under consideration.



The IHTs to be considered are those that shall be performed successfully by the operators for ensuring plant safety and also those that constitute the most risk significant tasks from the human viewpoint. IHTs are consequently associated with an unsafe plant condition due to:

- equipment in an undesirable status in tasks that are the responsibility of operators;
- manual tasks that require deep operator understanding of the plant configurations and task consequences.

The HFE team can support the HRA by:

- reducing the risk of human error by proper performance of the HFE programme and the HMI design;
- mitigating the risk of human error by design treatment of input from the facility's PSA;
- performing qualitative analyses as evidence for the overall human reliability analyses.

### 6.3.2 Identification of important human tasks

After the functional analysis and assignment activities, the HFE team shall identify the important human tasks that need to be considered in the task analysis that is to be developed.

An early identification of these IHTs will allow the task analysis to be developed with due consideration of these tasks from the very beginning.

The information sources shall be the facility PRA/HRA and, where not available, alternative sources of information may be:

- IHTs identified in the reference plant design;
- IHTs that can be identified in other chapters of the facility safety analysis report (SAR) such as:
  - severe accident management chapter;
  - I&C chapter;
  - deterministic safety analysis chapter.

The above may include sensitive or critical local actions where these are dependent on HMI. Such actions may involve:

- substantive mental workload anticipated;
- operations that are complex or are performed on sensitive parts;
- interventions that are risky or can have an impact on safety.

### 6.3.3 Treatment of important human tasks

The treatment of IHTs shall describe how these tasks, with their corresponding HMI and I&C components, are addressed after developing the functional analysis and assignment, task analysis, HMI design, procedure development and training programme, aiming to:

- minimize the likelihood of a facility unsafe condition;
- minimize the likelihood of a human error;
- facilitate detection of unsafe conditions as well as error detection and recovery;
- guide the design of the buildings and the location and design of equipment within the buildings.

Treatment of identified IHTs shall be accomplished considering the following:

- identifying attributes of IHTs and their work environments that need to be considered when evaluating performance shaping factors that contribute to the reliability or risk of an operation (e.g., training level, task complexity, available time, procedure content, communication, HMI features, etc.).
- paying particular attention when performing the TA to provide input to design. TAs integrated in the overall HFE process shall be used to secure IHTs performance and identify any supporting information for execution of the IHTs. The focus of the TA and subsequent design optimisation shall be the resolution of the IHTs;
- driving to specific design solutions based on a holistic approach considering automation, HMI design, operating procedures, and operating staff training. In the event of no proper mitigation of the risk, a solution together with system design shall be implemented e.g., resulting in a greater change of the task.

The HFE team shall track the treatment of IHTs over the entire engineering process. A hierarchical and tabular sorting to properly identify the risk of human error should be used.

HFE V&V shall finally validate the results of the treatment of IHTs. Subsequently, the HFE V&V results shall be used as input for the probabilistic and deterministic safety analyses.

#### **6.3.4 Human reliability and safety analyses support**

The process and the role of the HFE team are described in detail in IEC 63260 and shall be integrated into the HFE process.

The HFE team shall provide information about the expected effects of task and workplace characteristics on human performance, given human capabilities and limitations. The first evaluation of human interactions to identify and analyse the set of important human tasks shall be implemented mainly in functional analysis and assignment and task analysis.

The HFE team can support with their knowledge the plants probabilistic safety and deterministic analyses, e.g., by timeline information, during the screening of human actions.

The screening shall consider as a minimum the following:

- different facility situations (operating modes);
- different failures of the operating system;
- availability of operating support for prevention and detection of human errors (of commission or omission);
- training and operating procedure;
- time to perform actions and time to recover from actions;
- workload;
- team working requirements.

### **6.4 Task analysis (TA)**

#### **6.4.1 General**

The goal of TA is to identify, describe and evaluate the operator's tasks which are involved in performing and/or accomplishing the functions allocated to humans, including the monitoring of functions assigned to automation.

A task requirement covers direct and indirect (i.e. supportive) needs for task execution, including physical and cognitive activities, tasks frequency, duration, complexity, communication requirements, team working and environmental conditions.

The security controls planned to protect I&C in some of their aspects, for example, interlocks, authentication, password protection, should be taken into account when analysing the tasks and interface design.

Multiple methods may be applied to accomplish the TA. The approach adopted should include the following:

- a) Define the scope and screening criteria to identify principal tasks;
- b) Develop task descriptions to analyse how humans interact to accomplish the functions in general;
- c) Breakdown tasks into sub-tasks to specify the relationship of each task;
- d) Implement specific sub-task requirement evaluation by focusing on specific details of evaluation of task complexity, task allocations, task duration and frequencies, manual/cognitive demand, communication needs, etc.;
- e) Output and documentation.

The results of TA offer important inputs to many HFE activities including:

- f) Analysis of staffing and qualifications;
  - g) Design of HMIs, procedures, and training programme;
- and
- h) Criteria for task support verification.

#### **6.4.2 Definition of the scope and screening criteria**

There are broad ranges of tasks involved in nuclear plant operations. It is impractical and even not productive to implement TA for all sub-tasks. It is important to concentrate on principal tasks that induce human performance limitation and challenge against safety operations. Therefore, the first step is to define the scope and screening criteria to identify the tasks, in particular the IHTs, that are to be analysed.

The other tasks may be handled by applying general HFE principles since they are low risk in terms of interference caused by human interactions.

The scope should cover all modes of plant operations, testing and maintenance.

The screening criteria should include:

- tasks to be analysed in TA based on OER results (see 6.1);
- functions and tasks allocated to humans in function allocation, including function allocation analysis assumptions (i.e., postulated plant events, etc.);
- IHTs identified from deterministic safety analysis, probabilistic safety analysis and human reliability analysis where it would be regarded as a safety concern if those important tasks were not performed as assumed;
- tasks relating to human performance, such as high demand and complex tasks;
- tasks relating to new work systems control;
- tasks relating to degraded system control, including backup of automation failures;
- tasks relating to personnel safety;
- tasks relating to maintenance.

In case of plant modification, a graded approach should be taken by limiting the scope or adjusting the screening criteria based on the modification scope and focusing area.

### 6.4.3 Development of task descriptions

Task descriptions reveal human interactions and brief sequence/relations among each task in overall function performances and/or system control processes.

Task description may start with higher-level descriptions with available input information and resources.

Subsequent TA, as discussed in 6.4.4 and 6.4.5, should be determined for further evaluations based on the needs and level of clarity of task descriptions representing narratives of work situations.

The needs of task descriptions should be determined to meet the goal of TA and identify the task requirements.

Walk-through and talk-through analysis may be implemented as a heuristic study at the beginning of task description development utilising limited design information.

Walk-through and talk-through analysis should be implemented with experienced operating staff (e.g., ex-operators who have experienced similar types of plant operations). Operating staff for these trials should be judged to be 'representative' of their peers and more than a single operator should be involved.

Scenarios may be created based on preliminary operating sequences and procedures.

Walk-through and talk-through analysis may be implemented as a table top study at the beginning of the design stage and continue to be implemented at detailed design and HFE V&V as task support verifications using a mock-up model and prototype simulator followed by the TA phase.

### 6.4.4 Breakdown tasks

Breakdown tasks analysis aims to decompose functions and/or tasks assigned to humans into sub-tasks and actions needed to accomplish the sub-tasks in a hierarchical structure in order to investigate what task requirements are involved in a set of functions and/or goals.

NOTE The breakdown TA is also described as a hierarchical task analysis (HTA).

The function allocation goal is to allocate functions to human or machine considering human capabilities and automation system capabilities and for this some level of task requirements should be investigated to identify human capabilities and limitations in TA. Thereby, the objectives of the breakdown of tasks are to identify and define in detail all the actions needed for the accomplishment of the functions and then identify task requirements to perform the tasks.

The goal of breakdown tasks is to define task requirements so that the breakdown task may go further in detail to define each action, task requirements for them and relationship between functions and their involved tasks.

Reviewing system configurations from human interactions aspects and walk-through and talk-through analysis also helps break down tasks.

Breakdown tasks help the task description development process. However, they are insufficient in terms of revealing complexities, frequencies, duration and cognitive activities, etc. Therefore, if those further evaluation needs are identified, specific TA methods are selected and implemented to meet the needs as discussed in 6.4.5.

#### 6.4.5 Specific task requirement identification

There are several methods to identify task requirements based on the specific needs and challenges.

The following methods should be considered when applicable:

- walk-through / talk-through;
- hierarchical task analysis;
- operating sequence analysis;
- timeline analysis;
- cognitive task analysis;
- workload analysis.

A description of each analysis method is provided in Annex A.

Either one or combinations of multiple analyses methods should be chosen based on the specific needs to identify task requirements. The results should be incorporated into task descriptions.

#### 6.4.6 Output and documentation

As described in 6.4.1, the goal of TA is to identify, describe and evaluate the tasks that are involved in performing and/or accomplishing the functions allocated to humans. However, outcomes of TA have significant insights, thus those insights should be converted to useful information which can be used in subsequent human interaction design (i.e. HMI design, procedure development and training programme development).

The outputs should include:

- information, alarms and controls to be used for performing tasks;
- locations to perform tasks (i.e., if several tasks need to be carefully performed by observing the overall plant behaviour, they should be allocated to the main control room);
- staffing needs (numbers and qualifications of operating, emergency response and maintenance staff, communication needs if performed in different locations, decision making requirements (i.e., role & responsibilities and team working) etc.);
- task support needs (i.e., special tools, staffing aids, environmental conditions, etc.).

The documentation should include the TA implementation process and results (i.e., each task results, task descriptions, and output for staffing analysis, HMI, procedure development and training programme). It is noted that those assumptions and information should also be used for HFE V&V as discussed in detail in Clause 8.

### 6.5 Staffing, organisation, and qualification analysis

#### 6.5.1 General

In order to develop basic requirements for the operating, emergency response and maintenance staff structures, the operating procedures and the training programme, the designer shall conduct staffing, organisation and qualification analyses.

The aim of the staffing, organisation, and qualification analysis is to define:

- the assignment of human tasks (operational responsibilities as well as administrative and managerial duties) in a meaningful and consistent way to each member of the operating staff in all plant states considered during design;
- the staffing levels needed in all plant states considered during design;
- the organisational structure of the operating staff (interactions and communication between members of the control room operators and with local operators outside the control room, etc.) for the considered plant states and number of operators;
- the knowledge and abilities required in accordance to the roles of the individual members of the operating staff.

The definition of staffing levels and qualifications evolves from conceptual (e.g., definition of initial staffing and the envisioned operating staff organisation), basic and detailed design until the actual commissioning of the nuclear facility.

Staffing, organisation and qualification analysis should cover all the plant personnel that are involved in the operation, any emergency response and the maintenance of the nuclear facility.

As stated in 5.1, the main emphasis of the HFE programme relates to the "operational" activities. The "operational" activities should therefore be prioritised, but "emergency response" and "maintenance" activities also require some consideration and should be addressed in later phases of the design process.

Staffing, organisation, and qualification analysis shall be reviewed in case of modification of the nuclear facility.

Staffing, organisation, and qualification analysis and TA are complementary and should be performed in a coordinated way at the different design phases.

Staffing, organisation, and qualification analysis should guide the description of task requirements for fulfilling the functions allocated to plant personnel.

Staffing, organisation, and qualification analysis should support the verification that human-performance requirements do not exceed human capabilities. Tasks assigned to the members of the operating staff should not overload them and should be consistent with their responsibilities as defined by the operating staff structure.

Staffing, organisation, and staff qualification shall be subject to V&V evaluation (see Clause 8). For new builds, V&V shall be performed already for the initial staffing levels, organisational structure and qualifications needed for individual members of the operating staff.

Staffing, organisation, and qualification analysis shall be used as input for developing the procedures.

Staffing, organisation, and qualification analysis should be considered for specifying requirements for displays, data processing, and controls needed to perform tasks.

## 6.5.2 Inputs to staffing, organisation, and qualification analysis

The organisation, staffing and qualification analyses are notably supported by:

- the concept of operations in the various plant states considered in design (normal / abnormal operational states, design basis accidents and design extension conditions);
- the operating experience review (see 6.1);
- the functional requirements analysis and functional allocation (see 6.2);

- the results of the TA (see 6.4);
- the regulatory requirements;
- the treatment of important human tasks (see 6.3.2) in accordance with the human reliability analysis (HRA), probabilistic safety assessment (PSA) and deterministic safety analyses.

During the different design phases, these inputs will guide the staffing, organisation and qualification analyses to establish requirements in terms of skills and knowledge, missions of each member of the operating, emergency response and maintenance staff and each team.

### 6.5.3 Methods used for staffing, organisation, and qualification analysis

Different methods may be applied depending on the phase of the design – conceptual, basic, or detailed design – and the information available, for example:

- OER based for instance on:
  - the observation of the actual job and interviews with operating, emergency response and maintenance staff working in an existing nuclear facility or on a system similar to the envisioned new build;
  - the analysis of documents, as TA of reference design or similar systems;
- working groups held with other designers to explain the "expected tasks" and "expected roles".

NOTE Regarding the involvement of operators and other team members in such working groups, it is advantageous if the same individuals can be involved throughout the project, excluding validation processes.

- tasks arranged into meaningful jobs and the HMI, procedures, and training designed to support task performance;
- TA performed to define roles, requirements and responsibilities (see 6.4).

Test-beds and V&V phases will guide validation and adjustments needed from initial to final staffing, organisational structure and qualifications definition.

## 7 Design of control centres, local control points (LCPs), human-machine interfaces (HMIs), procedures and training programmes

### 7.1 General

The design of control centres, LCPs, HMIs, operating procedures and staff training programmes shall include systematic consideration of human factors covering control rooms, working areas and HMIs located throughout the plant. The control centres, LCPs, HMIs, procedures, staffing and training together should support the accomplishment of personnel tasks and maintaining awareness of the plant state.

The goal of HFE in the design of control centres, LCPs, HMIs, operating procedures and training programmes is to ensure that the developed premises and HMIs:

- support operating, emergency response and maintenance staff in the fulfilment of their responsibilities and in the performance of their individual and team tasks;
- limit the probability and the effects of operating errors on safety and plant operations;
- provide the operating, emergency response and maintenance staff with unambiguous and consistent information, in accordance with the necessary decision and action times;
- provide the operating, emergency response and maintenance staff with cognitive and physically ergonomic workplaces and a safe and comfortable working environment;
- follow consistent design principles that reflect consideration of human cognitive, physiological and psychological characteristics.

More detailed information about the goals of control centres and HMIs is provided in Annex B.



The design of control centres, LCPs, HMIs and procedures shall use a structured methodology that guides the designers of multiple engineering disciplines in reaching uniform design decisions. The design-specific conventions should be defined and documented so as to promote a homogeneous format and functionality regardless of designer or used system.

The HFE team should support the design and perform reviews at appropriate design stages to ensure the appropriate application of HFE.

This 'design work' may involve architectural elements for which substantive building changes to existing control rooms are required.

## **7.2 Design of control centres, LCPs and HMIs**

### **7.2.1 General**

The design process begins with information defined in the planning and analysis phase, i.e. end point vision and HFE analyses. The requirements should be identified, harmonized and elaborated to meet plant safety and operational goals, overall I&C architecture and the overall end point vision. After that the concept design should be implemented and it should be based on elaborated requirements and HFE guidance.

The role of HFE in the design process for control centres, LCPs and HMIs is to ensure that:

- the control centres, LCPs and HMIs follow the concepts, HFE guidelines and the ergonomic requirements;
- the lessons learned from the HFE operational experiences review are taken into account in the design of control centres, LCPs and HMIs;
- the requirements derived from the task analyses are incorporated in the HMIs and working areas;
- the procedures, HMIs and staffing for each task are compatible with each other and thus enable safe and efficient performance of the task.

The design guidance should be used or developed as a basis for further design. The extent and depth of guidance should be defined based on the scope of the design.

The detailed design of the control centres, HMIs, support systems, procedures, staffing and training can be accomplished once the concept design is completed. The design should be developed according to the HFE programme and detailed design guidance which defines the detailed design principles.

To reduce the likelihood of errors, interaction with security barriers has to be taken into account for all operator activities, and the interactions shall be commensurate with the task constraints. Specific attention should be paid to abnormal operational states and accident conditions. These requirements should be reflected in the technical specification for the I&C system.

At adequate points during the design process, various types of tests and evaluations should be performed in order to collect feedback from the users and other stakeholders, resolve design options, or evaluate performance with the new HMIs and/or control centres. The design guidance should be updated accordingly.

Control centres, LCPs and HMIs are developed in accordance with IEC 60964, IEC 60965, IEC 62241, IEC 61227, IEC 61772, IEC 62954 and ISO 11064, as applicable.



### 7.2.2 HFE inputs to the design of control centres and HMIs

To identify HFE requirements for the design of control centres and HMIs, the following concepts and analyses should be used as an input:

- end point vision (see 5.7) including principles of operation and concepts of centralization, automation, alarm and security;
- operating experiences review (OER) (see 6.1);
- functional analysis and assignment (see 6.2);
- treatment of important human tasks (see 6.3.3);
- task analysis (TA) (see 6.4);
- staffing analysis i.e. staffing, organisation and qualifications (see 6.5);
- HFE guidance (see 7.3).

## 7.3 Guidance for the design of control centres, LCPs and HMIs

### 7.3.1 General

The guidelines applicable to the design of control centres, LCPs and HMI should be developed to ensure consistency of designs across all the premises, functions and multiple HMIs in the control centres and LCPs. The design specific conventions should be defined and documented in HFE guidance, e.g. in style guide(s). A style guide is a document that defines the design-specific conventions that will be used in the HMI design. The HFE guidance should include a reference to the source upon which it is based and specify how the HFE guidance will be used in the overall design process.

The development of HFE guidance may be evolutionary. It is recommended that preliminary guidance or plant-specific high-level guidance is available before I&C and control room (CR) vendor selection. The detailed, project-related style guide(s) or HFE guidance should be developed after technical principles of HMI and features of CR systems are available. The project-specific style guide should contain HFE requirements covering all HFE aspects of the CR design, e.g. in the main control room, supplementary control room, emergency response facility and local control stations. It should be kept up-to-date in a form that is usable by designers. It should also be used or referenced in the HMI design verification.

### 7.3.2 Plant-specific HFE guidance

The plant-specific style guide or HFE guidance should include a set of recommendations of HFE requirements specific to the plant, i.e. naming rules, preferred colours, alarm principles, interaction concepts and interface behaviour. The purpose is to maintain consistency throughout all HMIs at the plant and across technological evolutions in the control centres and HMIs. The good and commonly accepted ways of presentation and operation should be kept as similar as possible to already implemented systems.

NOTE It is good practice to include the plant-specific style guide or HFE guidance in the tender material.

### 7.3.3 Project-specific HFE guidance

The project-specific style guide or HFE guidance should define precisely the detailed design decisions and features of the control centres and HMIs. Plant-specific HFE guidance should be considered as an input to project-specific HFE guidance.

The inputs to be considered in a detailed style guide or HFE guidance development are:

- plant-specific style guide or HFE guidance;
- end point vision (see 5.7) including principles of operation and concepts of centralization, automation, alarm and security;

- information about safety critical functions (identifying which HMI elements of the system will have safety critical functions);
- features of the selected I&C and CR system(s);
- constraints determined by the selected I&C and CR system(s);
- existing design solutions and conventions already used at the plant;
- industry standards/guidelines.

Project-specific HFE guidance should be used in design verification (see 8.3.2) in order to check conformity of the designed HMI.

#### 7.3.4 Guidance for the design of control centres

Control centres may consist of a combination of several control rooms (such as main control room, supplementary control room, emergency response facility), local control stations, and supportive premises. Guidance for the design of control centres should be developed to ensure consistency of designs across all the premises. The HFE guidance shall provide instructional documentation to be followed by all disciplines participating in the control centre design.

Guidance for the design of control centres is based on IEC 60964, IEC 60965, IEC 62954, ISO 11064-1, ISO 11064-4, ISO 11064-6, and ISO 11064-7, as applicable to the target control centre.

The content to be considered in the development of HFE guidance for control centres includes recommendations and requirements for:

- planning of HFE guidance
  - the scope and applicability definition;
- control suite and room layout design and environmental requirements
  - work area arrangements including electrical and I&C facilities;
  - colour palettes used in the interior;
  - materials;
  - lighting schemes;
  - environmental considerations;
- workstation layout design
  - environmental and anthropometric considerations;
  - furniture preferences;
  - HMI arrangements.

#### 7.3.5 Guidance for the design of local control points (LCPs)

LCPs are locally operated discrete components located outside the control centres. LCPs include for example local control panels, fuel handling machines, connection points, process equipment, switches, terminals and others. The HMI design of LCPs should be consistent with the overall HMI design in the nuclear facility.

The guidance for the design of LCPs should define the basic rules for the location of equipment that is to be handled by humans as well as rules for local human interaction and ergonomics.

The content to be considered in the development of HFE guidance for LCPs includes:

- scope and applicability definition;
- information coding conventions and display principles;
- naming rules;

- preferred colours;
- interaction concepts;
- controls;
- presentation of alarms;
- occupational safety considerations;
- anthropometric considerations;
- accessibility;
- environmental issues such as lighting and acoustics.

### **7.3.6 Guidance for the design of human-machine interfaces (HMIs)**

The objective of the HMI design is to provide the personnel with consistent solutions that are in accordance with common conventions and operating practices and that take into account users' tasks and the characteristics, abilities and the needs of the users.

The HMI design guidance provides information to the designers in identifying and selecting HMIs, defining the detailed design, integrating new and existing HMIs, integrating conventional hardwired and display-based HMIs and integrating HMIs in different control rooms and locations in a way that HFE principles are met.

Guidance for the design of HMIs is based on IEC 60964, IEC 60965, IEC 62241, IEC 61227, IEC 61772, IEC 62954 and ISO 11064-5, as applicable to the target locations and HMIs.

The content to be considered in the development of a detailed style guide for HMIs includes:

- the scope and applicability definition including HMIs of, e.g. control rooms, electrical and I&C systems and supportive systems;
- display arrangements;
- display layouts (templates for general structure);
- the navigational features and functions;
- information coding conventions and display principles;
- naming rules;
- preferred colours;
- interaction concepts;
- soft controls;
- presentation of alarm system;
- rules for alarm generation and prioritization;
- rules for event log;
- anthropometric considerations.

## **7.4 Development of procedures**

### **7.4.1 General**

The role of the HFE team for the development of operating, maintenance and emergency response procedures is to provide inputs to procedures designers (see Clause 6) and to test the procedures, as well as other topics of the design (HMI, MCR layout, etc.), to ensure that they fulfil their role (see Clause 8).

Procedures shall support and guide personnel interactions with plant systems and their response to plant-related events.

Procedures shall support the operating staff in monitoring and detection, situation assessment, response planning and response implementation tasks.

Procedures shall be developed according to the same design principles as HMI and training. This will result in a well-integrated design with a high degree of consistency.

Procedures shall be developed according to the missions and tasks defined for the operating staff in all plant states considered in design, and in extreme situations, also for the emergency response staff.

Procedures shall be developed according to a conceptual framework, for instance the use of symptom-based versus event-based emergency operating procedures, or some combination of these. The framework could be different between the operating staff and the emergency response staff because the task requirements differ. The HFE design principles shall be applied to all types of procedure, i.e. paper-based procedures (e.g., easily understandable procedure statements) and computer-based procedures (e.g., easily understandable procedure statements, easy navigation across the displays).

Procedures shall support the maintenance staff in their routine and breakdown activities for nuclear facilities, including during shutdowns.

#### **7.4.2 Paper-based procedures vs. computer-based procedures (CBP)**

When new computerized procedures are to be implemented, it shall be considered how they will be introduced, in order to ensure proper functionality and consistency with the expectations and experience of operating staff.

**NOTE** This document assumes the simultaneous consideration of the requirements of IEC 62646:2016 providing recommendations for the development of CBP for operating staff.

An analysis should be conducted to determine the impact of providing CBPs and to specify where such an approach would improve procedure utilization and reduce human error related to procedure use.

The use of CBPs in preference to paper procedures shall be analysed and argued. An analysis of alternatives in the event of loss of CBPs shall be performed and documented.

A paper-based procedure option should be considered to address extreme situations such as loss of computerized HMI or I&C systems, severe accident and cyber attacks.

#### **7.4.3 Procedures writers guide**

A guide shall be developed by human factors experts and procedures designers to establish the process and define design rules and requirements for developing procedures (whether paper or computer-based) that are complete, accurate, and easily usable by operating, emergency response and maintenance staff.

The guide should contain criteria so that procedures developed in accordance with it are consistent in organisation, style, content, and format including the writing of action steps and the specification of acceptable acronym lists and acceptable terms to be used.

The guide should contain criteria so that procedures developed in accordance with it are useful, easy to understand and easy to follow by operating, emergency response and maintenance staff.

The guide should describe the physical means by which operating, emergency response and maintenance staff access and use procedures, especially during operational events.

The guide should develop criteria considering different contexts of use of the paper-based procedures and CBP.

The guide should explain the design philosophy (e.g. symptom-based versus event-based procedures) selected for the operating, maintenance and emergency response procedures. Procedures should help operating and maintenance staff in the management of both normal and abnormal operation (including shutdown states). Procedures should also help operating staff and emergency response teams in the management of emergency situations (including alarm management and accident transients), severe accidents and extreme situations (accidents on multiple production units).

#### **7.4.4 Other HFE inputs to procedure designers**

In addition to the procedures writers guide, procedures designers should use other inputs from HFE. For example, procedure designers should use the results of:

- operating experience review;
- functional analysis and assignment analyses;
- task analyses;
- HMI design;
- staffing, organisation and qualification analyses.

#### **7.4.5 Procedures and multistage verification and validation (V&V)**

The following 3 situations should be considered for which V&V processes are needed:

- a procedure for a new nuclear facility;
- a new procedure for an existing nuclear facility due to a technological or organisational change;
- a modification of an existing procedure.

All procedures – whether paper-based or computer-based, and whether new procedures or modifications to existing procedures – shall be verified for content, format and integration.

Procedures for a new nuclear facility shall be tested, verified and validated over the facility's full design life cycle, from the set-up of the project until the initial operation of the facility.

New procedures for an existing nuclear facility shall be tested, verified and validated over their design life cycle, from the set-up of the project until their initial use.

Modifications of existing procedures shall be analysed for adequacy if the modification substantially changes personnel tasks that are significant to plant safety.

### **7.5 Development of operating staff training**

#### **7.5.1 General**

The training programme helps to provide reasonable assurance that operating staff have the knowledge, skills, and abilities to properly perform their roles and responsibilities in all plant states considered in the design.

The training programme design should be based on the outputs of the staffing, organisation and qualification analysis.

The training programme shall include the licensing basis requirements and shall identify relevant points important to training taking into consideration different documents such as the safety analysis report, system description manuals and operating procedures, etc.

The role of the HFE team is not to develop the training programme, but to provide useful inputs and requirements to training programme designers. In particular in a new design, with a new technology, training is going to be also "new". In this case, training should be considered at an early stage. This will facilitate the preparation of the teams that will participate in the tests and ISV, and it will also facilitate the training of HF experts, and even others.

### 7.5.2 Organisational aspects

The training programme development should be started at the basic design stage and should include an estimate of the required resources.

The overall training programme development by the training team responsible should have an interface to the mentioned elements of the HFE design process.

The training programme shall provide a means to evaluate the knowledge and skill requirements of operating staff in accordance with the outputs of the staffing, organisation and qualification analysis, the procedures, the functions and technical choices and the interfaces.

For a new plant, development of the following two training programmes for the future operating staff shall be considered:

- an initial training programme, and
- a periodic training programme in the future operational phase.

These programmes shall cover all the plant states considered in design.

### 7.5.3 The inputs to implement a training programme provided by the HFE team

A training programme should articulate several actions that should be adjusted according to whether it is a new plant or not:

- an analysis of tasks to be performed by the operating staff derived from the results of the staffing analysis;
- the test-beds during V&V phases that will help to identify new tasks, new requirements and new skills to be introduced into the training programme;
- the identification of new requirements in terms of knowledge or skills derived from an analysis of new functions, technological changes (e.g., HMI design features whose purpose or operation may be new, or may be different from the past experience or expectations of operating staff);
- the identification of new requirements in terms of knowledge or skills derived from an analysis of the future procedures: introduction of computer-based procedures; specific steps necessary for the transition to paper-based procedures;
- an evaluation and adjustment of the training based on the performance of trained operating staff during the design: ISV should integrate the evaluation of training and its effectiveness;
- an evaluation and adjustment of the training should be planned, based on the expected performance of trained operating staff at the start of operation of the nuclear facility.

### 7.5.4 Training for teamwork

Many, if not most, of the activities that are performed by plant personnel require teamwork. Operating staff share information and perform their tasks in a coordinated fashion to maintain safe plant operation as well as to restore the plant to a safe state should a process disturbance arise.

Relevant HFE aspects of teamwork should consider common and coordinated goals, maintaining shared situation awareness, engaging in open communication, and cooperative planning.

## 8 Verification and validation

### 8.1 General

Within the HFE programme activities, the control centres and HMI being developed shall be verified and validated for assuring that they conform to HFE design principles and design requirements, allowing them to fulfil plant goals and intended functions safely and efficiently.

In this context of HFE, verification and validation (V&V) is understood as follows:

- a) Verification relates to the process of determining whether individual components meet the specified requirements. This implies a series of analytical checks of instrumentation, controls, displays and other equipment against specific technical and HFE criteria or principles and operating and functional goals.
- b) Validation relates to performance-based testing and evaluation for determining that a design solution complies with functional, performance and interface requirements. More specifically, it is the process of determining whether the physical and organisation design for operations is adequate to support effective performance of the functions of the HMI users.

The V&V process shall include the preparation, evaluation and resolution of the following typical V&V activities:

- task support verification – for checking HMI support to the functions and tasks defined within the HFE programme;
- HMI design verification – for checking compliance of the HMI design to HFE principles or guidelines as well as to specific design requirements;
- preliminary or partial validation of HMIs being designed, by means of advanced in time performance-based evaluations – for assessing these HMIs in a limited way, as their design is incomplete at this stage;
- integrated system validation (ISV) – for assessing in performance-based evaluations the whole HMI design integrated in the control room/centre with the objective of determining that the interactions between the components of the control room system behave in the manner demanded by requirements for safe and reliable operation.

Multistage V&V and iterative V&V approaches should be considered especially for complex projects, such as new plants or complex design modifications. Multistage approaches should start the V&V activities as the analysis and design activities start (outlined in Figure 2). Interactions are expected amongst the V&V team and the HFE analysis, design, prototyping & manufacturing and integration teams. Complex design modifications performed in stages may require V&V activities for interim configurations of HMIs and procedures.

NOTE IEC 61771 describes a linear process where validation occurs after completing the verification activities. It is however practical and adequate to start validation activities already in early design stages, in the form of a multi-stage approach.

Some V&V methods may require the development of an HMI inventory of all controls, indications and alarms with HFE characteristics and where/how these are accessed.

### 8.2 Verification and validation preparation

The V&V activities shall be tailored to the scope of the engineering project being developed, considering new designs or design modifications as applicable.

The HMIs to be verified and validated are those of the control room/centres to be considered under the project scope, as applicable, including the main control room (MCR) the supplementary control room (SCR) and other relevant local HMIs.



The preparation of the V&V shall identify:

- the technical activities to accomplish for the V&V and HMI scope;
- a screening process to evaluate the applicability of the V&V activities to be carried out (in the case of design modifications);
- definition of the V&V methodology to follow for each technical activity;
- development of evaluation criteria considering performance measurement (for preparing the evaluation and resolution);
- identification of source documents, standards and regulations that may apply;
- definition of workspace and equipment/tools for the evaluation team;
- organization of the evaluation team for the V&V activities and necessary training;
- a discrepancy tracking method for managing and resolving the issues found;
- the schedule for the V&V activities (including those for interim configuration when applicable).

For new designs or complex design modifications, the activities should be implemented in multiple stages throughout the execution of the HFE programme, considering:

- the different V&V technical activities, including task support verification, design verification, preliminary or partial validations and the integrated system validation;
- the HMI status, the main stages being: conceptual design, detailed system design (of the different HMI parts and systems) and an integrated design;
- operating procedures availability, including normal, abnormal, emergency and maintenance procedures;
- training status/completion; relating to a training programme for the staff who are due to participate in the role of the operator to enable the V&V to be performed for the HFE aspects of the HMI;
- status and/or scope of the simulators to be used, ranging from a static mock-up to a full scope simulator.

Sub-stages to be considered in the planning could be established according to the scheduling of the detailed design of the different parts of the HMI, as it becomes mature and complete, for example:

- the different software HMI parts (alarm system, procedure system, computer operation system);
- the different hardware portions (panels, equipment and consoles/workstations);
- the layout of the workspaces.

Regarding training, the following preconditions apply:

- the training programme and the V&V objectives shall be in compliance, the HFE teams responsible for these activities being responsible for evaluating and confirming this precondition. Any mismatch shall be detected, agreed and addressed by both teams;
- the participants in the tests shall be trained in the new operation concepts, functions, use of the HMI and procedures.

Regarding the validation environments, the following preconditions apply:

- different kinds of mock-ups -static and dynamic- should be available during the design;
- for large-scale modifications of system design, control centre organization and new main control room designs, a full-scale simulator shall be ready before the end of the design for the last stages of the ISV.



During the V&V planning, a graded approach should be taken into consideration for ensuring that the level of HFE effort for the HMIs under V&V is commensurate with the risk associated with these. For defining the grading criteria or risk significance strategy, it is important to consider not only the safety classification of the systems associated with the HMI, but also some other factors such as the complexity of the systems, non-safety systems important for plant monitoring and decision-making activities, and other types of risks (radiation, employee, production, equipment, environment).

The V&V execution with the corresponding evaluations shall follow the schedule.

Each stage should be finalised with a report summarizing the results, with the main findings and discrepancies to be addressed by the other design teams within the HFE programme. Management of discrepancies or HED should follow the considerations of 5.5 for adequate disposition and resolution.

### **8.3 Verification and validation execution**

#### **8.3.1 Task support verification**

The objective of the task support verification is to evaluate the completeness of the HMIs.

This activity comprises several aspects:

- a) It shall be checked that the tasks and functions for the plant systems have been considered in HMI design by means of specific controls, indications and alarms;
- b) The correctness of the proposed HMI controls and indications shall be confirmed to achieve all the operational goals of the plant and systems;
- c) It shall be confirmed that all components available in the HMI have been identified in the TA;
- d) The correct functional assignment to human or machine shall be confirmed, by verifying that the assignment of decision-based tasks is consistent with the assignment criteria;
- e) Evidence should be presented that a proposed functional assignment takes the maximum advantage of the capabilities of human and machine without imposing undesirable requirements on either of them.

The methodology to be developed and followed may be based on a checklist including the tasks, HMI components and functions to be evaluated that will be used for documenting the results and discrepancies to be addressed. The success criteria are the fulfilment of the previously mentioned objectives.

A multistage task support verification process may be considered, depending on the project scope, taking into account the availability of the different portions of the design being developed and the test and evaluation conditions necessary for its execution.

#### **8.3.2 Design verification**

Design verification shall check compliance of the designed HMI to general HFE principles or guidelines and specific HMI design conventions included in an HMI style guide (project dependent).

HFE design guidelines to be used for verification shall consider those applicable principles, based on the HMI characteristics, for software (digital) and hardware (typically analog), considering as high-level topics:

- a) General guidelines: applicable to the entire HMI, such as consistent design conventions, numeral and letter styles;
- b) Information display guidelines: specific for the individual elements or groups of them that are part of the HMI that constitute a format, with specific information to be shown;

- c) Control guidelines: considering hardware and software controls;
- d) Computer interaction guidelines;
- e) Specific system HMI guidelines: such as those related to alarm systems, procedure systems, plant operations systems, overview systems or support systems;
- f) Control rooms and local control stations guidelines: considering workstations (including panels and consoles) and workplaces (applicable to the entire control centre) design guidelines;
- g) Communication systems guidelines;
- h) Maintainability guidelines.

The methodology to follow should be based on checklists with guidelines and requirements to be evaluated (by means of static and dynamic checks) that will be used for documenting the results and discrepancies to be addressed. The success criteria will be fulfilment of the applicable HFE design guidelines that have been evaluated.

A multistage design verification process may be considered, depending on the project scope, taking into account the availability of the different portions of the design being developed and the test and evaluation conditions necessary for its execution.

### 8.3.3 Preliminary validation

The objective of a preliminary validation is to assess the suitability of the HMI design that is being developed to confirm its adequacy. Consequently, an important objective for preliminary validations is to assess throughout the design cycle that the design being developed is consistent with the end point vision and related design assumptions. The design or end point vision should be modified if needed and impacts of the possible end point vision modifications shall be analyzed. These validations are advanced performance-based evaluations of a non-integrated HMI at a stage when changes are still possible.

Preliminary validations can be applicable to an HMI conceptual design, to those parts of the detailed HMI being completed (in a staged and iterative approach), or even to whole sub-system groups prior to integration or after integration. These preliminary validations may use mock-ups or static simulators, engineering simulators or simulators still with limited functionalities.

These validations have specific focus on the HMI as it is the main output of the HFE programme. Other issues related to staffing, organisation, the use and content of procedures, training programmes, I&C architecture (amongst others, with some of them not specific to the HFE programme) also need to be considered.

The preliminary validation methodology shall be based on scenario testing, considering operating crew members partial tasks to more elaborate plant situations, depending on simulator availability and HMI subject to validation. The data collected should be based on observations of the operator response (in terms of time and accuracy), independent reports (e.g. with information obtained from questionnaires and structured interviews with validation participants), checklists (e.g. within static or dynamic testing) and walk-through / talk-through of tasks.

The preliminary validation outputs should describe the use of the HMI design with confirmation of the actual and/or design change proposals based on the HMI use and plant situations observed.

These preliminary validations can complement other independent and necessary functional system validations that may take place for assessing / evaluating fulfilment of the system design specifications, accomplished with static and dynamic testing objectives, performance measures.

Methodological issues related to validation are included in Annex C.

#### 8.3.4 Integrated system validation execution and resolution

Integrated system validation (ISV) is a performance-based evaluation of the integrated operational concept that has been designed and implemented.

The ISV objective is to determine that the interactions among the HMI components (typically of the control room), staff assigned, procedures used, existing training and I&C architectures (amongst others) are such that the integrated system behaves in the manner demanded by requirements for safe and reliable operation of the plant.

The ISV objective should be assessed at the control centre level when necessary.

The main scope of the validation is to assess the suitability of the integrated HMI (typically the control room) design to support the following interactions:

- a) The control-room / HMI and operating crew performance (with consideration of their training);
- b) The control-room / HMI and the operating crew actions following operating procedures;
- c) The control-room / HMI for supporting operating crew situation awareness, team work and communications;
- d) The operating crew and the other operating staff inside and outside the control-room.

The evaluation shall address the following specific objectives:

- e) To confirm that the control room or HMI provides the system status information, control capabilities, feedback, and performance aids necessary for the operating crews to accomplish their functions and tasks effectively in normal (including shutdown states), abnormal or accident conditions;
- f) To confirm that the existing control room or HMI instrumentation, controls, displays, other equipment and physical arrangements do not unduly detract from operator performance.

NOTE 1 Identification of underlying weaknesses in the existing control room or HMI instrumentation, controls, displays, other equipment and physical arrangements can result from the above evaluation.

ISV shall be performed in an environment which is representative for the aspects to be evaluated with sufficient representativity. Aspects to consider when choosing the environment shall include:

- physical layout of the control stations;
- fidelity of the human-machine interfaces and communication equipment;
- environmental conditions such as temperature, humidity, lighting and the auditory environment;
- real-time aspects, i.e. the dynamics of the processes to control and supervise.

For new plant projects, a full-scope simulator should be used. It is the most representative environment, and its use for ISV is consistent with the needs for staff training (see 7.5).

For modernization projects or new designs of specific control stations, other environments may also be adequate and sufficiently representative, such as:

- part-scope simulators with partially modeled processes or partially represented HMIs;
- static mock-ups;
- the final operating environment; and
- combinations thereof if e.g. imposed by schedule constraints.

The ISV methodology to apply shall be prepared in advance.

The scenarios to be tested shall be representative of the situations arising in all plant states considered in design. They should include events (e.g. failures) and their initiating conditions.

ISV shall be performed with suitably qualified and experienced persons acting as operating crews, who will perform actual control functions on simulated equipment during the previously mentioned scenarios in front of an observer team.

Performance should be measured in terms of tasks performed and when, operating crew communications and coordination, situation awareness, workload (both cognitive and physical), and anthropometric and physiological factors and plant parameters obtained from the simulation.

An ISV observer's team shall be established for data collection.

NOTE 2 It is good practice to perform a pilot test prior to the validation execution, to test and adjust the method that is going to be followed during the validation.

The collected data will be used to analyse operating activities performed successfully at the integrated system level (performance), difficulties, risks and errors (failures), and the summary report will highlight the systems used successfully, systems difficult to use, discrepancies and design proposals, and will reflect any associated safety implications.

Validation reports shall be produced summarizing the test plan, test findings, discrepancies, proposal for improvements and conclusions. The conclusions shall indicate whether the integrated HMI or control room system is sufficient to support safe and reliable operation.

Methodological issues related to validation are included in Annex C.

### 8.3.5 Verification and validation resolution

Verification and validation reports shall be prepared summarizing the activity results, deviations from the V&V plan, considering fulfilments, non-fulfilments, discrepancies (with proposals for addressing these and their disposition) and conclusions. The human engineering discrepancies shall be managed in accordance with the HED process outlined in 5.5.

## 9 HFE during implementation of the design

### 9.1 Background

The "HFE during implementation of the design" is an activity of the HFE programme that is typically carried out at the end of the HFE design and V&V process, focusing on the development, deployment and evaluation of the output coming from the HFE process.

For cases where a design that has been verified and validated can change in the final plant control centre of the nuclear facility being developed or modified, confirmation is required that the "as built" design conforms to the verified and validated design.

NOTE Situations where this can apply include:

- the use of a partially developed SW platform or application;
- SW running in an operating system that can be different from the one to be used in the final plant control centre (i.e., due to a decision still not taken), but that can change the way the information is displayed or actuated in the HMI design;
- the use of non-safety SW, initially used for the design and V&V activities of safety displays, with the appearance and way to actuate as the planned safety SW to be installed in the plant control centre, but that is not the same SW (and with differences that cannot be anticipated and identified);
- a panel mock-up or panel simulator that will change in the final plant control centre, being seismically qualified. This will produce changes in the panel interior that can condition the outside, especially the layout of the HMI components; and

- differences between the HMI or scope of the automation design implemented in the simulator used for ISV and the HMI / automation design implemented in the plant.

Where this does not apply for some portions of the design or HMI, however, the implementation of design activity may be unnecessary for these portions, but with the need to justify this fact.

Finally, in some special cases where it is clear that a V&V activity for some portion of the design or HMI is only useful in the final plant control centre, the V&V activity can be deferred to the time of its implementation.

## 9.2 Objectives

The main objectives are:

- a) To confirm that the outputs coming from the HFE programme are consistent and in compliance with the real implemented outputs, with special focus on the implemented HMI and final staff considered.
- b) In the case of design modifications, to monitor and control the plant changes implementation regarding how these affect operating staff and emergency response team members and their tasks.

The process to be developed for meeting these objectives shall include preparation, execution/evaluation and resolution phases.

## 9.3 Confirmation of the as built / implemented HMI

### a) Preparation

This activity shall be planned considering:

- the technical activities to accomplish, especially considering the HMI scope;
- definition of the methodology to follow for each technical activity;
- development of evaluation criteria (in order to prepare the evaluation and resolution);
- identification of source documents and standards and regulations that may apply;
- definition of workspace and equipment/tools for the evaluation team;
- organization of the evaluation team and necessary training;
- a discrepancy tracking method for managing and resolving the issues found (outlined in 5.5);
- schedule definition for the design implementation activities.

### b) Execution/Evaluation

This activity shall be implemented considering:

- evaluation of the as-built design, for checking it conforms to the verified and validated design in terms of its appearance, understandability, technical specifications and functionalities;
- verification of the as-built design that requires the final implemented facility (such as real sound evaluation and lighting, not available during the V&V process);
- evaluation, dispositioning and closure of other unresolved/pending V&V issues.

The schedule should follow the same or a similar strategy to the one followed during V&V in terms of stages and graded approach. Confirmation of the implemented HMI should start with the premise that all HFE related issues previously identified for the corresponding HMI have been adequately addressed and/or tracked.

c) Resolution

The reports of this activity should be produced summarizing the test plan, test findings (fulfilments and non-fulfilments), discrepancies, proposals for improvements, implemented changes as a consequence of this activity (that depend on the type of finding) and conclusions.

Examples of changes to be performed include:

- redesign of the implemented HMI (HW or SW) that are inconsistent with the approved verified and validated displays;
- redesign of the HMI that has not incorporated changes coming from the V&V process or that is not compliant with the latest design documents revisions;
- changes in procedures, training, staffing or I&C design that, although outside the specific scope of the HFE programme, need to be addressed.

When the objectives of this activity are not fully met, contingency strategies shall be proposed to mitigate non HFE fulfilments. This activity shall be considered finalised only after all discrepancies or non-conformances have been resolved.

#### 9.4 Monitoring and control of plant changes implementation

This activity affects any type of plant changes or design modifications but is especially important for new or major modifications to existing plants that may require temporary monitoring and control of systems.

This activity is not a specific HFE activity, as it involves other disciplines/departments within a nuclear facility for assuring:

- overall plant safety during this implementation process;
- adequate schedule and synchronization of all the interventions to be performed with different teams;
- correct implementations and commissioning of the plant design modification.

a) Preparation

This activity shall be planned considering the same type of issues outlined in 9.1 in terms of technical activities, schedule methodology, source documents to consider, responsible teams or discrepancy tracking method.

b) Execution/Evaluation

This activity includes the following:

- modifications of operating procedures which respond to plant modifications shall be verified;
- the staff training/qualification programme addressing the plant modification shall be completed prior to commissioning the plant modification;
- start up and initial operations should be monitored, for assuring that plant operation is performed as expected or that any unforeseen issues that can arise after the design has been implemented in the actual plant and working environment are detected.

NOTE Issues or conflicts can be related to unforeseen operating staff task problems, inadequate staffing design / organization, HMI, workplaces and workstation design factors.

## 10 Human performance monitoring

### 10.1 Objective

Human performance monitoring will be developed and documented to trend human performance after the plant is operational, or after modifications have been made, to demonstrate that performance is consistent with that assumed in the various analyses and the integrated system validation.

The objective of the human performance monitoring is to help to provide reasonable assurance that the confidence developed by the completion of the integrated system validation (described in 8.3) is maintained over time and that plant personnel, especially operating and maintenance staff, maintain the skills necessary to accomplish the expected tasks.

The monitoring of human performance should be an active and on-going process after commissioning and plant start-up, with the objective of evaluating the effectiveness of the HMI design at supporting the personnel when carrying out their tasks safely and effectively. This means:

- meeting the original safety, operability and performance assumptions;
- confirming that the supporting provisions, such as supervision, training, staffing, procedures, personal protective equipment, tools and staffing aids, are appropriate and sufficient to support the people performing their tasks.

A human performance monitoring strategy and implementation plan should be prepared, including objectives, activities and definition of data to be monitored. Both will ensure that no significant safety degradation occurs because of any changes and modifications that are made in the plant and assure that the conclusions drawn from the integrated system validation remain valid over time. The execution of the human performance monitoring plan will identify any problems encountered by plant personnel during interaction with the newly introduced systems, procedures, organisational changes and HMIs (or those subjected to change) following their installation and throughout routine use.

### 10.2 Process to be developed

#### 10.2.1 General

The process to be developed for the human performance monitoring should include planning and administration, execution/evaluation and resolution phases.

#### 10.2.2 Planning and administration

Specific planning for the human performance monitoring activity is essential. Resources and personnel are needed to support the monitoring activities. The performance monitoring process should be simple, clear cut, and easy to use and should employ user-friendly tools.

The methodology shall focus on in-plant changes made to the HMI design, procedures and training for checking any unwanted effects on how the personnel carry out their tasks. The unwanted effects can be identified based on the observation of human errors, suboptimal performance or response time deviations to established criteria.

In order to carry out the monitoring of human performance effectively, the plant will establish monitoring arrangements for each portion (i.e. for in-plant changes related to the HMI design, procedures and training and for checking any unwanted effects on safety and operation tasks) of the activity described above. The arrangements should include rules defining which tasks need to be addressed and performance criteria for their monitoring. Individuals responsible for human performance monitoring should be adequately trained and qualified in the area of HFE, organisation factors, systemic approaches and root cause analysis methods.



The plan of the human performance monitoring should provide required input, describe good practice, indicate the evaluation criteria, and specify the methods for human performance monitoring, for example self-administered questionnaires, confidential reporting systems and other complementary methods in addition to observation of the real activity. While authoring the plan, the performance monitoring team needs to plan the information collection activity.

The sources of information should be identified, considering:

- information from regular training, where plant personnel performance is evaluated using the HMI during a wide range of plant responses in all plant states;
- information from OER activities (internal and external), where information on human performance at all levels within the organization can be obtained;
- information from the probabilistic safety assessment (PSA) updates that can point to a re-evaluation of IHTs or risk-factors in operator tasks and HMI design;
- plant exercises and drills with high levels of authenticity.

Human performance data should be analysed through a combination of quantitative and qualitative methods. Different methods of human performance data collection are recommended: observation of work practices in real work situations, personnel interviews, performance testing and the use of problem-reporting sheets.

After collecting information from plant personnel during the monitoring phase, the performance monitoring team needs to plan and perform the processing and evaluation of the acquired data.

#### **10.2.3 Execution and evaluation**

Issues identification is based largely on feedback from plant personnel, including those in the control room, local control stations, maintenance staff, and technicians.

The causes and significance of those deficient human performance issues identified should be comprehensively understood and the means for performance improvement should be identified.

Progress in responding to and resolving degraded human performance should be monitored to ensure that the response is within appropriate timescales.

#### **10.2.4 Resolution**

After collecting and evaluating the information from plant personnel (during the monitoring phase), the results report should be written and important corrective actions should be identified. The results report of the human performance monitoring should include the outcome of the analyses of collected performance data and the identification of deficiencies (if any) and potential areas of improvement. The results report should include identified issues and address the significance of identified issues, potential failures, the circumstances surrounding the failure or degrading performance and the characteristics of the failure.

Human performance monitoring should be established throughout the lifetime of the plant, with provisions:

- to perform periodic inspections;
- to systematically respond to significant malfunctions and failures with consideration of HFE aspects.

Observations and results of analyses should be documented.

Significant human errors and degradations shall be addressed in corrective actions.

## **Annex A** (informative)

### **Task analysis methods**

#### **A.1 Walk-through / talk-through**

A walk-through is typically that where experienced personnel perform demonstrations of task scenarios in a simulated work place and environment without the tasks being undertaken. The experienced personnel consider successive steps in the relevant procedure and explain how and why each of these would be used or performed based on the scenarios. Various data collection forms and methods are used such as, spread sheet, comment sheet, audio/video recording, data logging and debriefing.

A talk-through is similar to a walk-through, but it is undertaken in a verbalized rather than demonstration form.

A walk-through / talk-through can start early in the design process using a desk-top study, and then move to a detailed or precise formula, such as mock-up and prototype simulator in accordance with the design progress. See Bibliography: B. Kiwan and L.K. Aisworth.

#### **A.2 Hierarchical task analysis**

In breakdown tasks, so called "hierarchical task analysis (HTA)", the tasks are represented in terms of goals (the parent tasks) and sub-goals (sub-tasks), showing the relationship between them. Figure A.1 shows a simplified example of HTA performed for an NPP with a pressurized water reactor (PWR).

The goal and functions may be provided from the functional analysis and assignment, as highlighted in Figure A.1, so that HTA focuses on further breakdown for functions to tasks and sub-tasks and activities.

If specific characteristics and task requirements are determined, the breakdown is stopped. For example, in the case of the task requirement "Confirm reactor trip conditions" in Figure A.1, monitoring of the specific characteristic "Check Pzr level less than XXX" is sufficient to stop the breakdown for that branch of the HTA because both the task requirement and specific characteristic have been determined.

Since many functions/controls are involved in the NPP systems, the format can be arranged, such as in a tabular form.

The HTA can show the high-level task process. However, it is limited to reveal complexities, frequencies, duration and cognitive activities, etc.

It is helpful if the task analysis documentation is also in a form whereby it can be checked by operators who were involved in its derivation. See Bibliography: Andrew Shepherd.

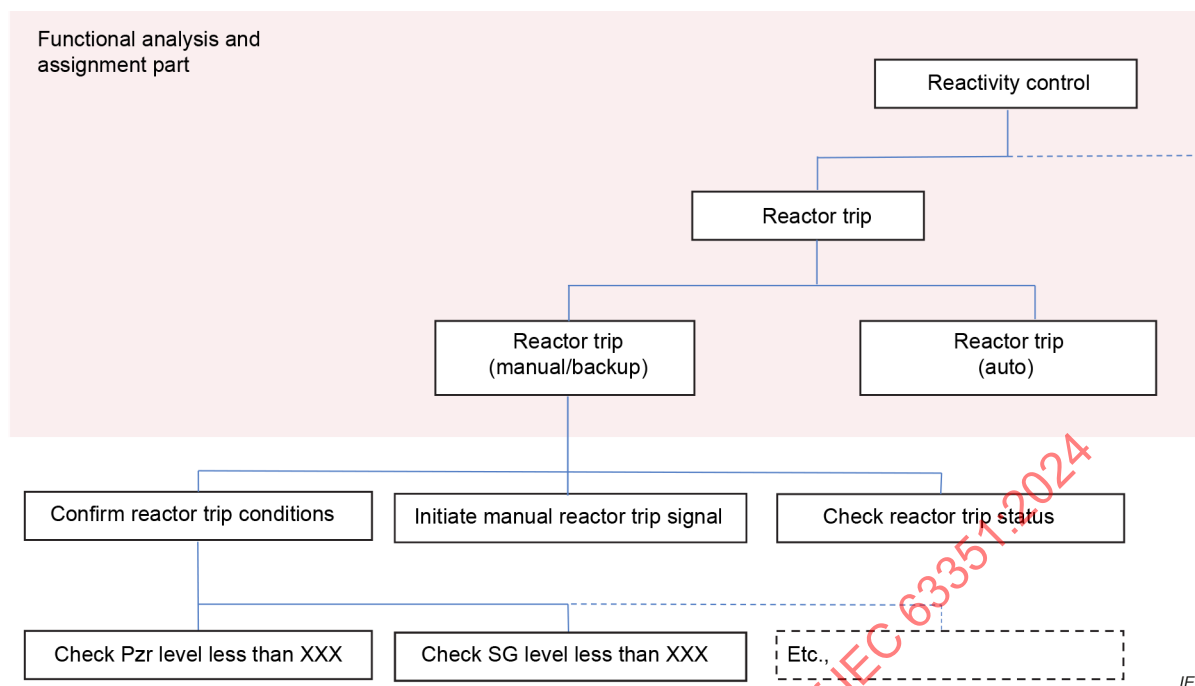


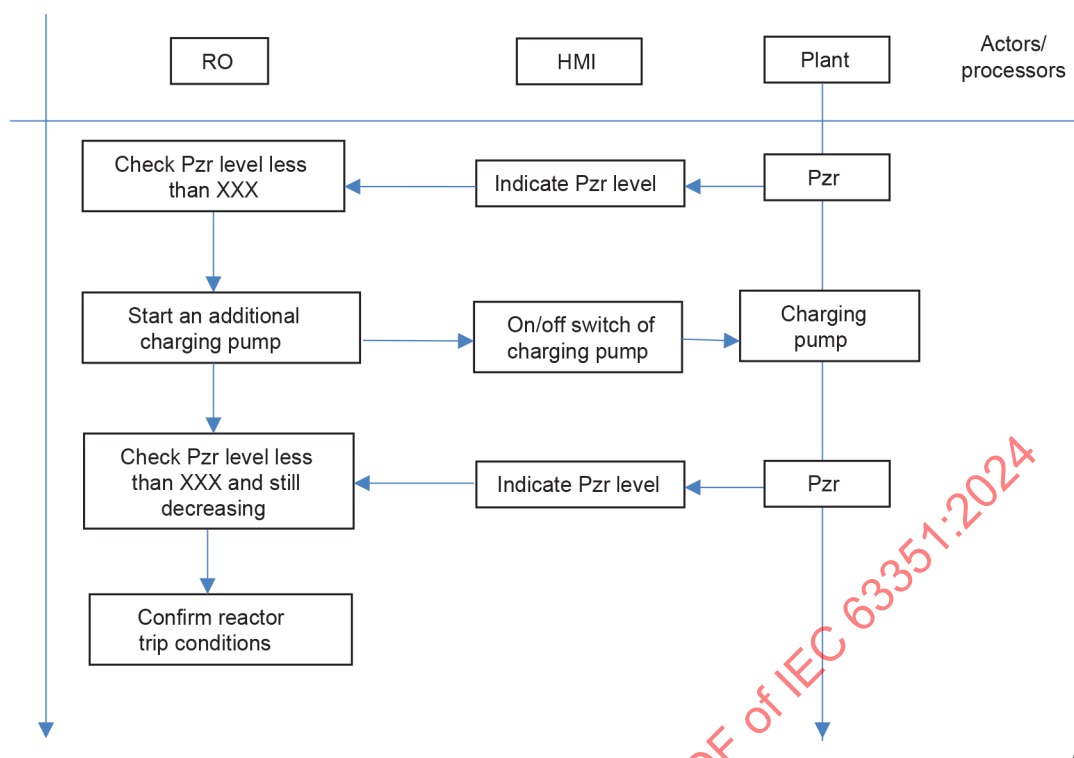
Figure A.1 – Example of HTA performed for a PWR NPP

### A.3 Operating sequence analysis

Operating sequence analysis (OSA) describes the sequence among breakdown tasks. The OSA aims to reveal the relationship between each breakdown and how each sub-task and actions interact to accomplish the parent task, or functions. Considering the objectives of OSA, a picture and diagrams are used to depict those relationships. The diagram is called an operating sequence diagram (OSD). Figure A.2 shows a simplified example of OSA/OSD performed for an NPP with a PWR. Typically, the intent is that all actions/processes of either human or machine in an HMI are aligned.

In the beginning of the design process, the OSA is limited to show the high-level sequence followed by moving into detail in conjunction with the design progress and TA progress (i.e., iterations/interactions with the other TA).

A walk-through / talk-through is effective to figure out the relationship and sequence among sub-tasks. Scenarios are developed considering interactions between human and systems based on function/system process feature/specifications which can be available on plant design engineering. OSA may not only clarify the sequence of tasks but also clarify breakdown sub-tasks behind a batch of tasks. See Bibliography: MIL-HDBK-46855A.



IEC

**Figure A.2 – Example of OSA/OSD performed for a PWR NPP**

#### A.4 Timeline analysis

Timeline analysis examines temporal demand of tasks in terms of sequence and process attribute.

Timeline analysis typically involves:

- elaboration of the sequence of tasks or human actions required to complete a specific objective;
- calculation of the cumulative time of the sequence of events.

This technique provides a description of when human actions occur in the timeline of an event.

Timeline analysis also contributes to evaluating operating staff workload by comparing the total temporal task demands with the time available which is defined deterministically by plant design or safety/stress analysis.

The timeline can be developed using the OSD or HTA and / or walk-through / talk-through. The times for each individual task are examined/estimated, counted/accumulated and drawn in the OSD as elapsed time.

The required frequency and duration of tasks are also represented as a required time period. See Bibliography: MIL-HDBK-46855A.

## **A.5 Cognitive task analysis**

Cognitive task analysis examines mental processes, including error detections, diagnostics and planning skills, decision making, and background knowledge in order to identify task requirements involved in such complex cognitive tasks.

Cognitive task analysis mainly encompasses a knowledge elicitation and knowledge representation.

Knowledge elicitation can be obtained by interview (probe questions concerning cognitive process), observations, operations record/tracking and debriefing with experienced operators via walk-through and talk-through.

Knowledge representation can be obtained by drawing conceptual mapping. See Bibliography: Lee and Kirlik, and Beth Crandall, *et al.*

## **A.6 Workload analysis**

Workload analysis assesses the degree of task loading of humans by comparing the total temporal task demands with the time available which is deterministically defined by plant design or safety/stress analysis.

Workload analysis requires assessment of physical actions and/or cognitive activities required by humans performing a specific task under specified environmental and temporal conditions or constraints. If, due to their cumulative burden, it is difficult to achieve all the activities that shall be performed by personnel within the time available, their workload would be judged too high. In another way, the NASA Task Load Index (NASA TLX) is widely used to assess workload.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63351:2024

## **Annex B** (normative)

### **Goals of HFE in the design of control centres and HMIs**

#### **B.1 General**

The goal of HFE in the design of the control centres and HMIs is to guide and evaluate the design in order to reduce the potential for human error, optimise efficiency and enhance system safety and comfort with specific focus on the interaction between the human and the thing of interest. The needs of all users, such as operating, emergency response and maintenance staff, should be considered as applicable.

#### **B.2 HFE in the design of the control centres**

In the concept of control centres, the following topics should be considered:

- layout and physical dimensions of the premises, such as overall planning of the control suite in relation to its supporting areas, locations and dimensions of equipment and furniture, room heights, visibility to HMIs, passage dimensions and emergency exit space requirements;
- frequently used controls are within reach of operators, and the related indicators and displays are readable from the operator's position;
- the layout of workstations and consoles provides a complete view of the control and display panels required for performing the tasks and facilitates verbal communication between workstation users;
- access to the workstations is free from obstacles;
- the design of workstations takes into account characteristics relating to the reach, vision and comfort of operators;
- the height of a console allows operators to see over its top (e.g. to see shared displays and other operators);
- each control room has sufficient space to allow the operators to perform all necessary actions, while minimizing the need for operator movement in abnormal operational states and accident conditions;
- staffing and task assignments are such that controls, displays and other necessary equipment are fully and rapidly accessible for all modes of operation;
- users feel comfortable and familiar while transitioning between the control rooms and functions (common HFE principles are applied across different premises);
- a similar look and feel is maintained between premises, but the current location (e.g. unit of the plant) is easily recognized;
- access routes to the supplementary control room and other required field locations are qualified against internal and external hazards;
- the environment of the main control room is such that the staff located there are able to perform their tasks without discomfort, excessive stress or physical hazard;
- environmental factors and habitability primarily focused to support operator's task demands and comfort;
- environmental factors, such as thermal comfort, adequate illumination, auditory environments providing clear verbal communication and suitable layout are considered in the design;
- easily accessible storage space is provided for procedures, other documents and emergency equipment;

- sufficient locations are provided for handling and using the procedures and other documentation required to operate the plant;
- the control centre contains sufficient facilities and supplies to ensure comfortable long-term occupation during an accident.

Detailed guidance for different areas can be found, e.g. in IEC 61227 and ISO 11064.

### **B.3 HFE in the design of the human-machine interfaces**

HMIs should be designed such that they:

- reflect the plant's functional and physical design;
- meet operators task requirements and user expectations;
- apply the simplest design from the users' perspective that is consistent with function and task requirements;
- provide operators with comprehensive and unambiguous information in accordance with needed decision and action times;
- present information such that it can be rapidly recognized and understood by operators;
- reflect consideration of human cognition and physiological characteristics;
- reflect consideration of characteristics of human motor control, body sizes, sight lines, reach zones and maximum and minimum space considerations;
- support decision making;
- support situation awareness and, in particular, with robotic and autonomous systems;
- support team work when needed;
- limit the probability and the effects of operating errors;
- promote a workload that is suitable and appropriate for the capabilities and limitations of the end users;
- are standardized and consistent both internally and externally for end users having the same operational role i.e. all HMIs should be consistent in the control centre but also consistent with other HMIs across the plant;
- are easy to use and learn.



## **Annex C** (informative)

### **Validation methodological issues**

#### **C.1 Overview**

Validation methodologies for the design of nuclear facilities greatly depend on the context and engineering project under consideration. The following information is applicable to preliminary validations and the integrated system validation (ISV). For preliminary validations, the scope needs to be reduced, as these take place in early stages of an evolving and not yet integrated design.

This annex considers:

- general validation objectives
- specific validation objectives
- ISV test design, including scenarios
- performance measures
- validation acceptance criteria
- validation results, analysis and reporting
- considerations related to ISV reporting and conclusions

It is important to note that:

- a) The content of this annex is mainly focused on the ISV and that its application to preliminary validations would require the scope to be reduced as appropriate.
- b) The guidelines included in this annex have as a target control room crews, as these are the teams that operate the plant and consequently have more influence on plant safety. However, depending on the project objectives, other members of the control room operators could be considered as participants of the validations to be performed.

#### **C.2 General validation objectives**

General validation objectives take into consideration:

- a) The main goals of any validation that are to assure plant operation and safety;
- b) The context, such as:
  - 1) validations for licensing a design within an HFE programme (integrated or preliminary),
  - 2) validations for research and development activities, or
  - 3) the validation stage of a multistage approach;
- c) The main focus of the validation, that can extend from a specific portion of the HMI being developed to the whole integrated operational concept (ISV), considering not only the HMI, but the staff (with anonymity), the training, the organization and associated procedures.

**NOTE 1** The multistage V&V process, described in Clause 8, has the goal to achieve a systematic and comprehensive V&V process. In this way, the final ISV at the end of a project with a limited time frame of execution will take credit for the detailed and previous V&V activities, not needing to repeat these activities again. Also, the results of activities beyond the specific HFE programme scope, such as specific procedure validations and training sessions, will be considered.

**NOTE 2** Validation does not focus on individuals, that is the responsibility of the training programmes. However, some form of evaluation of the participants is unavoidable.

- d) The main facilities to be considered for validation are the HMIs of the main control room and supplementary control room, where the most important plant operations are performed. Other facilities are considered as required by the project objectives such as those where local and maintenance tasks take place;
- e) Related to NPPs, those activities/equipment with a significant contribution to core damage frequency are considered for ISV, as identified in the treatment of important human tasks element;
- f) The ISV methodology to be developed is intended to allow a systematic and comprehensive analysis of the design being evaluated. The validation findings are then addressed and corrected, otherwise the ISV could be meaningless.

### C.3 Specific validation objectives

As indicated previously, the validation objectives focus on the HMI or the operational concept of the control room facility. This is achieved by assessing control room crew performance by means of performance-based scenarios. For this purpose, specific validation objectives are considered using a human performance model, including:

- monitoring/detection activities;
- situation assessment activities;
- response planning activities;
- response execution activities (including secondary tasks).

Other specific validation objectives related to human performance that need to be considered are:

- workload (both cognitive and physical);
- situation awareness (for the global scenario);
- teamwork;
- communication.

### C.4 ISV test design

The ISV test design includes sufficient scenarios to provide confidence in the adequacy of the HMI design and/or operational concept for guaranteeing safe operation under the most representative range of plant conditions relevant to the design.

Consequently, the ISV test design considers:

- scenarios, considering:
  - the number and type of scenarios, focusing on what needs to be validated;
  - scenario duration, with the plant conditions to be tested relevant to what is being validated in each of them (that can consider normal / abnormal operational states and accident conditions);
  - scenario sequencing, which is necessary so that crews do not know in advance the scenario they will face and therefore avoid biased validation results;
  - scenario preparation/content that allows observers to follow actions and anticipate what is going to be done by the crew and what will happen in the simulated environment;
- the number of crews to participate considering their different levels of expertise but trying as much as possible to be similar to real crews and with a number that is representative and significant to the final number of end users;
- the composition and responsibilities of the observers/validation team that is multidisciplinary with experience and knowledge in various fields for following the crews and validation of the participants actions;

- the training of the observers team with the scenarios and methodology to follow for anticipating crew actions and to better understand the consequences of their actions.

## C.5 Performance measures

The participants or crew performance will be measured with performance measures relevant to the validation objectives.

The validation/observer team will make use of performance measures for evaluating the validation participants (or crews) plant operation that they will role play in the specific scenarios previously described. These performance measures need to be defined and shall be relevant to the design under the validation scope.

Many performance measures can be considered when defining a validation, among which the following can be considered:

- time for performing actions;
- precision;
- accuracy;
- frequency of actions;
- amount achieved;
- number / type of errors;
- information exchanged (communication);
- anthropometry / crew movements;
- plant parameters values (along the scenario or at certain moments); or
- crew ratings for specific questions.

These performance measures will make it possible to substantiate and calibrate crew performance (in a qualitative and quantitative way) in the context of the scenarios that are role played. Performance measures can be taken or be obtained during the scenario execution by direct observations (annotations), during interviews and by means of different types of recordings (video and simulator recordings).

Role play annotations coming from observers may not provide always quantitative values, but qualitative information that can be later transformed into values or information that allows the validation objectives to be rated.

Performance measures annotations may be complemented with other contextual information including:

- time of the observations/annotations;
- individual who made the actions;
- the action done;
- the HMI component operated / observed;
- the information exchanged;
- movements that were performed.

This contextual information will help during data analysis.

## C.6 Validation acceptance criteria

Acceptance criteria can be defined as those indicators that demonstrate that the verified and validated design complies with its intended functions. These will have special focus on meeting plant safety and fulfilling adequately plant operation objectives.

In the case of verification, acceptance criteria can be as easy as justifying HFE guidelines are fulfilled or not, but in the case of validation, development of acceptance criteria is more complicated because of the human performance variability, as different crew / operator performances do not necessarily mean that one is better than another.

Acceptance criteria can be based on specific validation objectives (see Clause C.3) and their development or content based on what can be expected for each objective from previous designs.

The acceptance criteria to be developed with this approach can be generic enough, so that they apply to all the plant conditions to be tested, or can be more specific, being scenario oriented.

Analysis of fulfilment of acceptance criteria categories can be based on the adherence of what has been observed, annotated or rated with the prescribed scenarios and to these acceptance criteria. Performance measures (qualitative and quantitative) can also be the basis for scoring and evaluating acceptance criteria.

Although results of evaluating acceptance criteria can be shown in many ways, the basic result to show is whether these criteria have been met or not, with special consideration of whether safety and operational objectives are met.

## C.7 Validation results, analysis and reporting

The information obtained from scenario execution can be summarized in a scenario log, including observations for the different members of the observer team.

The observations with performance measures documented in the log are intended to enable a reader to know and follow what happened during the scenario and characterize the validation specific objectives and acceptance criteria.

The HEDs resulting from validation have an analysis process to decide if design changes are necessary or not (that can affect procedures, operator training, HMI, control centre or even the organization).

Absence of changes are justified, as well as the description of the changes to be performed when necessary.

The need of an additional validation for checking how certain HEDs are resolved depends on whether they are important from a safety point of view. A multistage validation process coming from the design will minimize the possibility of an additional validation that can have very important economical and schedule consequences. In any case, additional validations can be continuous via the human performance monitoring process.

### C.8 Considerations related to ISV reporting and conclusions

The validation report provides the general results and conclusion of the validation, but also the minimum information that support these. A final validation report includes:

- a) Test and evaluation conditions description;
- b) Summary of results considering:
  - specific and general validation objectives;
  - results per scenario, crew, HMI component, specific validation objective;
  - procedure usage;
  - training;
  - operating organization;
- c) Validation general results and recommendations;
- d) Validation acceptance criteria fulfillment;
- e) Validation conclusions and adherence of results to general validation objectives;
- f) Required annexes as necessary (e.g., scenario logs, scenario recordings, HEDs).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63351:2024

## Bibliography

IEC 60050-192:2015, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 192: Dependability*  
IEC 60050-192:2015/AMD1:2016

IEC 60960, *Functional design criteria for a safety parameter display system for nuclear power stations*

IEC 61226:2020, *Nuclear power plants – Instrumentation, control and electrical systems important to safety – Categorization of functions and classification of systems*

IEC 61513, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems*

IEC 62646:2016, *Nuclear power plants – Control rooms – Computer-based procedures*

IEC 63046, *Nuclear power plants – Electrical power systems – General requirements*

IEC TR 63214:2019, *Nuclear power plants – Control rooms – Human factors engineering*

IEC TR 63400:2021, *Nuclear facilities – Instrumentation, control and electrical power systems important to safety – Structure of the IEC SC 45A standards series*

ISO 9241 (all parts), *Ergonomics of human-system interaction*

ISO TR 11064-10, *Ergonomic design of control centres – Part 10: Introduction to the control room design series of standards*

IEEE 1023, *Recommended Practice for the Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment and Facilities of Nuclear Power Generating Stations and Other Nuclear Facilities*

IAEA Safety Guide No. GS-G-3.5:2009, *Management system for nuclear installations*

IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1):2016, *Safety of Nuclear Power Plants: Design*

IAEA Safety Guide SSG-51, *Human Factors Engineering in the Design of Nuclear Power Plants*

IAEA Safety Guide SSG-34, *Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants*

IAEA Safety Guide SSG-39, *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*

IAEA Safety Guide No. SSG-76, *Conduct of Operations at Nuclear Power Plants*

IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-2.12, *Human Factors Engineering Aspects of Instrumentation and Control System Design*

IAEA Nuclear Safety and Security Glossary:2022 (Interim) Edition, *Terminology Used in Nuclear Safety, Nuclear Security, Radiation Protection and Emergency Preparedness and Response*

US NUREG-0711, Rev 3, *Human Factors Engineering Program Review Model*

US NUREG/CR-6393, *Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria*

EPRI-1008122, *Human Factors Guidance for Control Room and Digital Human-System Interface Design and Modification*

MIL-HDBK-46855A, *Department of Defense Handbook: Human engineering program process and procedures*

B.Kiwan, L.K.Aisworth, *A Guide to Task Analysis: The Task Analysis Working Group*

Andrew Shepherd, *Hierarchical Task Analysis*

Lee and Kirlik, *Cognitive engineering handbooks*

Beth Crandall, Gary Klein and Robert R. Hoffman, *Working Minds, A practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis*

NEA/CSNI/R(2016)17 Experts' Workshop On Human Factors Validation of Nuclear Power Plant Control Room Designs and Modifications – February 19-21, 2015 Charlotte, North Carolina (USA)

NEA/CSNI/R(2016)17/ADD1 Human Factors Validation of Nuclear Power Plant Control Room Designs and Modifications Proceedings of the Expert Workshop Charlotte, United States 19-21 February 2015 APPENDIX B White Papers

NEA/CSNI/R(2016)17/ADD2 Human Factors Validation of Nuclear Power Plant Control Room Designs and Modifications Proceedings of the Expert Workshop Charlotte, United States 19-21 February 2015 APPENDIX C Speaker presentations: abstracts/texts graphics

Multi-Stage Validation of Nuclear Power Plant Control Room Designs and Modifications. Human Aspects of Nuclear Safety, 2019, OECD/NEA No. 7466.

[https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_15142/multi-stage-validation-of-control-room-designs-and-modifications](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15142/multi-stage-validation-of-control-room-designs-and-modifications)

---

## SOMMAIRE

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                             | 71  |
| INTRODUCTION.....                                                                              | 73  |
| 1 Domaine d'application .....                                                                  | 77  |
| 2 Références normatives .....                                                                  | 77  |
| 3 Termes et définitions .....                                                                  | 78  |
| 3.1 Lieux de commande .....                                                                    | 78  |
| 3.2 Fonction, tâche et performance.....                                                        | 79  |
| 3.3 Aspects relatifs aux facteurs humains .....                                                | 80  |
| 3.4 Aspects opérationnels.....                                                                 | 82  |
| 3.5 Vérification et validation.....                                                            | 84  |
| 4 Abréviations .....                                                                           | 85  |
| 5 Gestion du programme d'ingénierie des facteurs humains .....                                 | 86  |
| 5.1 Généralités .....                                                                          | 86  |
| 5.2 Dispositions relatives à la gestion .....                                                  | 88  |
| 5.3 Équipe d'ingénierie des facteurs humains .....                                             | 88  |
| 5.3.1 Responsabilités de l'équipe HFE .....                                                    | 88  |
| 5.3.2 Soutien par une équipe multidisciplinaire.....                                           | 89  |
| 5.3.3 Organisation, qualification et autorisation de l'équipe HFE.....                         | 89  |
| 5.4 Processus de conception global.....                                                        | 90  |
| 5.5 Identification et correction des discordances ergonomiques (HED) .....                     | 91  |
| 5.6 Informations à prendre en compte concernant le domaine d'application du programme HFE..... | 92  |
| 5.6.1 Généralités.....                                                                         | 92  |
| 5.6.2 Intégration des activités au reste des installations .....                               | 92  |
| 5.6.3 Présélection des points HFE.....                                                         | 92  |
| 5.6.4 Méthode graduée.....                                                                     | 93  |
| 5.6.5 Utilisation des conceptions de référence.....                                            | 93  |
| 5.6.6 Exemples d'applications à différents projets .....                                       | 94  |
| 5.7 Vision des paramètres ultimes .....                                                        | 94  |
| 5.8 Livrables HFE à préparer .....                                                             | 96  |
| 5.8.1 Généralités.....                                                                         | 96  |
| 5.8.2 Gestion du programme HFE .....                                                           | 96  |
| 5.8.3 Autres points HFE .....                                                                  | 96  |
| 6 Analyses qui fournissent des données d'entrée pour les interactions humaines .....           | 97  |
| 6.1 Retour d'expérience opérationnelle (OER) .....                                             | 97  |
| 6.2 Analyse fonctionnelle et affectation des fonctions .....                                   | 98  |
| 6.2.1 Généralités.....                                                                         | 98  |
| 6.2.2 Analyse fonctionnelle.....                                                               | 98  |
| 6.2.3 Affectation des fonctions.....                                                           | 98  |
| 6.2.4 Vérification et réévaluation de l'affectation.....                                       | 99  |
| 6.2.5 Capacités du personnel .....                                                             | 99  |
| 6.2.6 Capacités de traitement du système d'I&C.....                                            | 99  |
| 6.3 Identification et traitement des tâches humaines importantes.....                          | 100 |
| 6.3.1 Généralités.....                                                                         | 100 |
| 6.3.2 Identification des tâches humaines importantes .....                                     | 100 |
| 6.3.3 Traitement des tâches humaines importantes .....                                         | 101 |



|       |                                                                                                                                                                  |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.4 | Soutien aux analyses de la sûreté et de la fiabilité humaine .....                                                                                               | 101 |
| 6.4   | Analyse des tâches (TA) .....                                                                                                                                    | 102 |
| 6.4.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 102 |
| 6.4.2 | Définition du domaine d'application et des critères de présélection .....                                                                                        | 103 |
| 6.4.3 | Élaboration des descriptions de tâches .....                                                                                                                     | 103 |
| 6.4.4 | Répartition des tâches .....                                                                                                                                     | 104 |
| 6.4.5 | Identification des exigences de tâches spécifiques .....                                                                                                         | 104 |
| 6.4.6 | Sorties et documentation .....                                                                                                                                   | 105 |
| 6.5   | Analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications .....                                                                                             | 105 |
| 6.5.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 105 |
| 6.5.2 | Données d'entrée pour l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications .....                                                                     | 106 |
| 6.5.3 | Méthodes utilisées pour l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications .....                                                                   | 107 |
| 7     | Conception des centres de commande, des points de commande locaux (LCP), des interfaces homme-machine (IHM), des procédures et des programmes de formation ..... | 107 |
| 7.1   | Généralités .....                                                                                                                                                | 107 |
| 7.2   | Conception des centres de commande, des LCP et des IHM .....                                                                                                     | 108 |
| 7.2.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 108 |
| 7.2.2 | Données d'entrée HFE pour la conception des centres de commande et des IHM .....                                                                                 | 109 |
| 7.3   | Recommandations pour la conception des centres de commande, des LCP et des IHM .....                                                                             | 109 |
| 7.3.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 109 |
| 7.3.2 | Recommandations HFE spécifiques à la centrale .....                                                                                                              | 110 |
| 7.3.3 | Recommandations HFE spécifiques au projet .....                                                                                                                  | 110 |
| 7.3.4 | Recommandations pour la conception des centres de commande .....                                                                                                 | 110 |
| 7.3.5 | Recommandations pour la conception des points de commande locaux (LCP) .....                                                                                     | 111 |
| 7.3.6 | Recommandations pour la conception des interfaces homme-machine (IHM) .....                                                                                      | 111 |
| 7.4   | Élaboration des procédures .....                                                                                                                                 | 112 |
| 7.4.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 112 |
| 7.4.2 | Procédures papier et procédures informatisées (PI) .....                                                                                                         | 113 |
| 7.4.3 | Guide destiné aux rédacteurs de procédures .....                                                                                                                 | 113 |
| 7.4.4 | Autres données d'entrée HFE pour les concepteurs de procédures .....                                                                                             | 114 |
| 7.4.5 | Procédures et activités de vérification et de validation (V&V) en plusieurs étapes .....                                                                         | 114 |
| 7.5   | Développement de la formation de l'équipe de conduite .....                                                                                                      | 114 |
| 7.5.1 | Généralités .....                                                                                                                                                | 114 |
| 7.5.2 | Aspects organisationnels .....                                                                                                                                   | 115 |
| 7.5.3 | Données d'entrée pour la mise en œuvre d'un programme de formation fourni par l'équipe HFE .....                                                                 | 115 |
| 7.5.4 | Formation au travail d'équipe .....                                                                                                                              | 116 |
| 8     | Vérification et validation .....                                                                                                                                 | 116 |
| 8.1   | Généralités .....                                                                                                                                                | 116 |
| 8.2   | Préparation des activités de vérification et de validation .....                                                                                                 | 117 |
| 8.3   | Exécution des activités de vérification et de validation .....                                                                                                   | 119 |
| 8.3.1 | Vérification des moyens de soutien .....                                                                                                                         | 119 |
| 8.3.2 | Vérification de la conception .....                                                                                                                              | 119 |

|                        |                                                                                     |     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.3.3                  | Validation préliminaire .....                                                       | 120 |
| 8.3.4                  | Exécution et correction de la validation du système intégré .....                   | 121 |
| 8.3.5                  | Correction des activités de vérification et de validation .....                     | 122 |
| 9                      | HFE pendant la mise en œuvre de la conception .....                                 | 123 |
| 9.1                    | Contexte .....                                                                      | 123 |
| 9.2                    | Objectifs .....                                                                     | 123 |
| 9.3                    | Confirmation de l'IHM construite/mise en œuvre .....                                | 124 |
| 9.4                    | Surveillance et contrôle de la mise en œuvre des modifications de la centrale ..... | 125 |
| 10                     | Surveillance des performances humaines .....                                        | 125 |
| 10.1                   | Objectif .....                                                                      | 125 |
| 10.2                   | Processus à développer .....                                                        | 126 |
| 10.2.1                 | Généralités .....                                                                   | 126 |
| 10.2.2                 | Planification et administration .....                                               | 126 |
| 10.2.3                 | Exécution et évaluation .....                                                       | 127 |
| 10.2.4                 | Correction .....                                                                    | 127 |
| Annexe A (informative) | Méthodes d'analyse des tâches .....                                                 | 128 |
| A.1                    | Démonstration pratique/orale .....                                                  | 128 |
| A.2                    | Analyse des tâches hiérarchiques .....                                              | 128 |
| A.3                    | Analyse des séquences de fonctionnement .....                                       | 129 |
| A.4                    | Analyse de la chronologie .....                                                     | 130 |
| A.5                    | Analyse des tâches cognitives .....                                                 | 131 |
| A.6                    | Analyse de la charge de travail .....                                               | 131 |
| Annexe B (normative)   | Objectifs de la HFE dans la conception des centres de commande et des IHM .....     | 132 |
| B.1                    | Généralités .....                                                                   | 132 |
| B.2                    | HFE dans la conception des centres de commande .....                                | 132 |
| B.3                    | HFE dans la conception des interfaces homme-machine .....                           | 133 |
| Annexe C (informative) | Questions méthodologiques de validation .....                                       | 134 |
| C.1                    | Vue d'ensemble .....                                                                | 134 |
| C.2                    | Objectifs de validation généraux .....                                              | 134 |
| C.3                    | Objectifs de validation spécifiques .....                                           | 135 |
| C.4                    | Conception d'essai de l'ISV .....                                                   | 135 |
| C.5                    | Mesure des performances .....                                                       | 136 |
| C.6                    | Critères d'acceptation de la validation .....                                       | 137 |
| C.7                    | Résultats de validation, analyse et établissement de rapports .....                 | 137 |
| C.8                    | Aspects relatifs aux rapports et aux conclusions de l'ISV .....                     | 138 |
| Bibliographie          | .....                                                                               | 139 |
| Figure 1               | – Nouvelle structure des documents du GT 8 .....                                    | 74  |
| Figure 2               | – Processus d'ingénierie des facteurs humains .....                                 | 90  |
| Figure A.1             | – Exemple de HTA effectuée pour une NPP avec un REP .....                           | 129 |
| Figure A.2             | – Exemple d'OSA/OSD effectué pour une NPP avec un REP .....                         | 130 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTALLATIONS NUCLÉAIRES –  
INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS –  
APPLICATION À LA CONCEPTION DES INTERFACES HOMME-MACHINE****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications. L'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 63351 a été établie par le sous-comité 45A: Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et d'alimentation électrique des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

| Projet        | Rapport de vote |
|---------------|-----------------|
| 45A/1530/FDIS | 45A/1546/RVD    |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.**

## INTRODUCTION

### a) Contexte technique, questions principales et structure de la norme

Le contexte technique qui a conduit à la décision d'élaborer la présente Norme internationale est donné dans le rapport technique IEC TR 63214.

En résumé, l'IEC TR 63214 reconnaît que:

- l'IEC 60964 intitulée "Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Conception" (alors à l'édition 2.0) incluait un ensemble détaillé d'exigences à appliquer lors de la conception d'une salle de commande, ainsi qu'un processus pour la mise en œuvre de l'ingénierie des facteurs humains;
- les deux points ci-dessus étaient combinés, et la partie relative aux facteurs humains n'était pas complète et ne reflétait pas les connaissances ni les formulations actuelles;
- l'IEC 60964 avait également été rédigée en tenant uniquement compte des facteurs humains dans le domaine d'application des systèmes d'I&C pour la conception des salles de commande. De ce fait, ce document n'appliquait pas une approche globale pour la conception des salles de commande et des interface homme-machine (IHM) à l'échelle de la centrale, notamment les stations de commande locales situées dans l'ensemble de la centrale, par exemple;
- de plus, l'AIEA procédait alors à l'élaboration d'un guide des facteurs humains (aujourd'hui publié sous le SSG-51) qu'il convient également de refléter dans les normes de l'IEC.

Compte tenu des éléments ci-dessus, l'IEC TR 63214 a suggéré d'élaborer une norme spécifique à l'ingénierie des facteurs humains, tout en réduisant le domaine d'application de l'IEC 60964 à une pure norme de conception des salles de commande. Cette réduction du domaine d'application fera l'objet d'une édition ultérieure de l'IEC 60964.

Le présent document se concentre sur l'application d'un programme d'ingénierie des facteurs humains (HFE, *Human Factors Engineering*) à la conception des interfaces homme-machine tout au long de la durée de vie d'une installation nucléaire, en tenant compte des modifications apportées à la centrale.

Le présent document s'applique aux installations nucléaires telles que les centrales nucléaires (NPP, *Nuclear Power Plant*), les réacteurs de recherche, les installations d'enrichissement d'uranium et de fabrication de combustibles nucléaires, ainsi que les installations d'entreposage et de retraitement des combustibles usés.

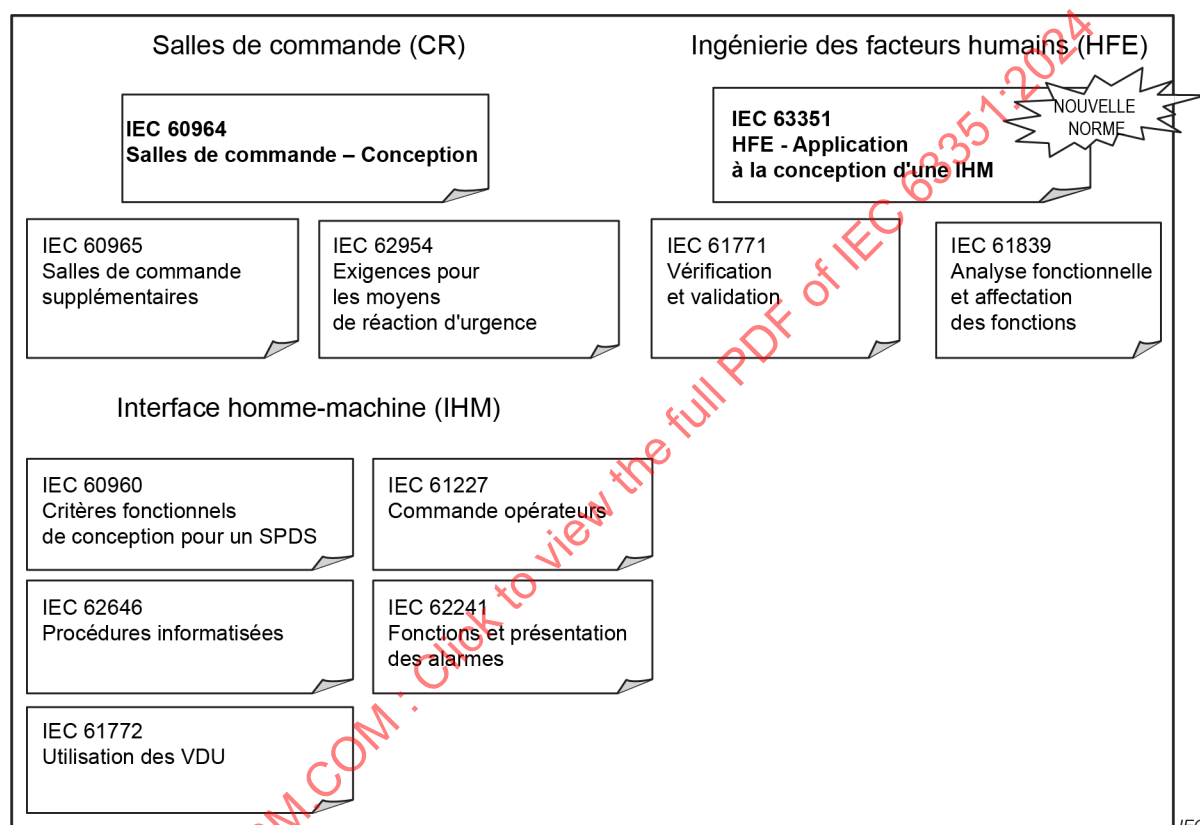
Le présent document est destiné à être utilisé par les opérateurs de NPP (services publics) et d'autres installations associées à la production d'énergie nucléaire, ainsi que par les concepteurs de systèmes, les évaluateurs de systèmes et les concédants de licence.

En outre, si les normes actuelles telles que celles de la série ISO 9241 couvrent de nombreux aspects de l'ergonomie des interactions homme-système, ces normes sont néanmoins considérées comme étant trop détaillées, exhaustives et en constante évolution pour orienter correctement les exigences des programmes HFE dans le domaine d'application du SC 45A de l'IEC. Toutefois, l'ISO 11064 est citée en référence pour certains aspects de la conception ergonomique des centres de commande.

**b) Positionnement de la présente norme dans la structure de la collection de normes du SC 45A de l'IEC**

La norme de l'IEC relative à l'ingénierie des facteurs humains (HFE) est au même niveau que l'IEC 60964 et constitue le deuxième document exhaustif au sein du GT 8. L'objectif du GT 8 est de mettre à jour l'environnement normalisé étape par étape dans le but de relier l'ensemble des normes relatives à la HFE à la présente norme HFE et de relier l'ensemble des normes relatives à la conception de la salle de commande (CR) et des interfaces homme-machine (IHM) à l'IEC 60964.

La Figure 1 représente la nouvelle structure après la mise à jour de l'ensemble des normes du GT 8.



**Figure 1 – Nouvelle structure des documents du GT 8**

Les documents représentés à gauche de la figure, sous l'encadré "IEC 60964", constituent l'ensemble de normes actuelles relatives à la conception de la salle de commande (CR) et des interfaces homme-machine (IHM). Les documents représentés à droite de la figure, sous l'encadré "IEC 63351", constituent les normes relatives à la HFE.

La relation entre les normes du GT 8 doit être prise en compte lors de la mise à jour de l'IEC 60964 et de l'élaboration de la nouvelle norme HFE. De nouvelles normes fournissant des informations détaillées sur la HFE pourront être élaborées et reliées à la présente norme ultérieurement. Pour les autres normes qui font actuellement référence à l'IEC 60964, il sera nécessaire dans les révisions ultérieures que ces normes renvoient aux deux documents de niveau supérieur du GT 8. Après la mise à jour finale, celle-ci pourra être adaptée en fonction du contenu correspondant.

Pour plus d'informations sur la structure de la collection de normes du SC 45A de l'IEC, voir le point d) de la présente introduction.

**c) Recommandations et limites relatives à l'application de la présente norme**

La présente norme spécifie les principes et exigences de base d'un programme HFE pour l'ensemble des étapes du cycle de vie d'une installation nucléaire.

Elle s'appuie sur les recommandations établies dans les guides HFE actuels, comme le SSG-51 de l'AIEA. Elle couvre les exigences minimales relatives au domaine d'application technique complet reconnu par ces guides, mais renvoie à d'autres normes pour des exigences détaillées spécifiques.

Afin d'assurer la pertinence de la norme pour les années à venir, l'accent est mis sur les questions de principe plutôt que sur des technologies ou techniques particulières.

**d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC et des relations avec d'autres documents de l'IEC, et avec les documents d'autres organisations (AIEA, ISO)**

La collection de normes de l'IEC SC 45A comporte un ensemble cohérent de documents organisés selon une structure à quatre niveaux. Les documents de niveau supérieur dans la collection de normes de l'IEC SC 45A sont l'IEC 61513 et l'IEC 63046, qui traitent respectivement des exigences générales relatives aux matériels et systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande (I&C) et des exigences générales pour les systèmes d'alimentation électrique des NPP. L'IEC 61513 et l'IEC 63046 adoptent un cycle de vie d'ensemble des systèmes et constituent, avec les normes de deuxième niveau pertinentes, le socle de mise en œuvre de la série de normes de sûreté IEC 61508.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font directement référence à d'autres normes du SC 45A de l'IEC qui établissent les exigences générales relatives à des sujets spécifiques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, la défense contre les défaillances de cause commune, la conception des salles de commande, la compatibilité électromagnétique, l'ingénierie des facteurs humains, la cybersécurité, les aspects logiciels et matériels relatifs aux systèmes numériques programmables, la coordination des exigences de sûreté et de sécurité, et la gestion du vieillissement.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas citées en référence directement par les normes IEC 61513 ou IEC 63046, traitent des exigences particulières de matériels particuliers, de méthodes techniques ou d'activités. Généralement, ces documents font référence aux documents de deuxième niveau pour les exigences générales et peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes de l'IEC SC 45A correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

Les normes de la collection du SC 45A de l'IEC mettent en œuvre de manière systématique et décrivent les principes de sûreté et de sécurité et les aspects fondamentaux donnés dans les normes de sûreté de l'AIEA pertinentes pour les centrales nucléaires, ainsi que dans les documents pertinents de la collection de l'AIEA pour la sécurité nucléaire (NSS). Cela concerne en particulier le document d'exigences SSR-2/1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires (NPP), le Guide de sûreté SSG-30 de l'AIEA qui traite du classement de sûreté des structures, systèmes et composants des NPP, le Guide de sûreté SSG-39 de l'AIEA qui traite de la conception des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande des NPP, le Guide de sûreté SSG-34 de l'AIEA qui traite de la conception des systèmes d'alimentation électrique des NPP, le Guide de sûreté SSG-51 de l'AIEA qui traite de l'ingénierie des facteurs humains lors de la conception des NPP et le guide de mise en œuvre NSS42-G qui traite de la sécurité informatique pour les installations nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées pour la sûreté et la sécurité dans les normes établies par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font référence à la norme ISO 9001, ainsi qu'aux documents AIEA GSR partie 2 et AIEA GS-G-3.1 et AIEA GS-G-3.5 pour ce qui concerne l'assurance qualité (QA).

Au deuxième niveau, en ce qui concerne la sûreté nucléaire, la norme IEC 62645 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur la cybersécurité. Elle se fonde sur les principes pertinents de haut niveau et sur les concepts principaux des normes génériques de sécurité, en particulier l'ISO/IEC 27001 et l'ISO/IEC 27002; elle les adapte et les complète pour qu'ils deviennent pertinents pour le secteur nucléaire; elle est coordonnée étroitement avec la norme IEC 62443. Au deuxième niveau, la norme IEC 60964 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables aux salles de commande, la norme IEC 63351 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables à l'ingénierie des facteurs humains et la norme IEC 62342 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables à la gestion du vieillissement.

NOTE L'IEC TR 63400 donne une description plus complète de la structure globale de la collection de normes du SC 45A de l'IEC, ainsi que ses relations avec les autres organismes de normalisation et les autres normes.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63351:2024



# INSTALLATIONS NUCLÉAIRES – INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS – APPLICATION À LA CONCEPTION DES INTERFACES HOMME-MACHINE

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les principes et exigences de base pour l'application d'un programme d'ingénierie des facteurs humains (HFE) à la conception des interfaces homme-machine (IHM) tout au long de la durée de vie d'une installation nucléaire. Le présent document traite des salles de commande et des fonctions de commande décrites dans le texte.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60964:2018, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Conception*

IEC 60965, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Salle de commande supplémentaire pour l'arrêt des réacteurs sans accès à la salle de commande principale*

IEC 61227, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*

IEC 61771, *Centrales nucléaires de puissance – Salle de commande principale – Vérification et validation de la conception*

IEC 61772, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Utilisation des unités de visualisation*

IEC 61839, *Centrales nucléaires de puissance – Conception des salles de commande – Analyse fonctionnelle et affectation des fonctions*

IEC 62241, *Centrales nucléaires de puissance – Salle de commande principale – Fonctions et présentation des alarmes*

IEC 62954:2019, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Exigences pour les moyens de réaction d'urgence*

IEC TR 63214:2019, *Nuclear power plants – Control rooms – Human factors engineering* (disponible en anglais seulement)

IEC 63260:2020, *Guide for incorporating human reliability analysis into probabilistic risk assessments for nuclear power generating stations and other nuclear facilities* (disponible en anglais seulement)

IEC/IEEE 63260-1082, *Guide for incorporating human reliability analysis into probabilistic risk assessments for nuclear power generating stations and other nuclear facilities* (disponible en anglais seulement)

ISO 11064-1, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 1: Principes pour la conception des centres de commande*

ISO 11064-2, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 2: Principes pour l'aménagement de la salle de commande et de ses annexes*

ISO 11064-3:1999, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 3: Agencement de la salle de commande*

ISO 11064-4, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 4: Agencement et dimensionnement du poste de travail*

ISO 11064-5, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 5: Dispositifs d'affichage et commandes*

ISO 11064-6, *Exigences d'environnement des centres de commande – Partie 6: Exigences relatives à l'environnement pour les centres de commande*

ISO 11064-7, *Conception ergonomique des centres de commande – Partie 7: Principes pour l'évaluation des centres de commande*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Lieux de commande

##### 3.1.1

##### **centre de commande**

ensemble de salles de commande, d'annexes attenantes et de postes de commande locaux reliés fonctionnellement et faisant partie d'un même site

Note 1 à l'article: Selon le contexte, le terme "centre de commande" peut être appliqué à a) une ou plusieurs salles de commande, annexes attenantes à la salle de commande ou stations de commande locales, ou à b) toute combinaison de ces lieux, ou à c) l'ensemble de ces lieux.

Note 2 à l'article: Pour les NPP, outre la salle de commande principale (voir l'IEC 60964), le centre de commande inclut généralement une salle de commande supplémentaire (voir l'IEC 60965) et un certain nombre de moyens de réaction d'urgence sur site (voir l'IEC 62954).

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.1, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

##### 3.1.2

##### **salle de commande**

entité fonctionnelle principale (structure physique comprise), dans laquelle les opérateurs réalisent la conduite de la centrale, y compris leurs tâches de commande, de surveillance et d'administration

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.4, modifié – Les termes "la conduite de la centrale, y compris" ont été insérés]

### 3.1.3

#### **annexes à la salle de commande**

ensemble de pièces reliées fonctionnellement, proches de la salle de commande et abritant les fonctions complémentaires; il peut s'agir par exemple de bureaux, de locaux électriques, de zones de repos et de salles de formation

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.6]

### 3.1.4

#### **interface homme-machine**

##### **IHM**

partie du système qui permet au personnel d'interagir avec le système pour s'acquitter des fonctions et des tâches qui lui incombent

Note 1 à l'article: L'interface homme-machine est celle qui fait le lien entre le personnel et les systèmes de la centrale, notamment pour ce qui concerne les procédures, les écrans d'affichage des systèmes de communication, les alarmes et les contrôles.

[SOURCE: Glossaire de sûreté et de sécurité nucléaires de l'AIEA, édition (provisoire) de 2022]

### 3.1.5

#### **station de commande locale**

interface opérateur située près de l'équipement ou du système surveillé et/ou commandé

Note 1 à l'article: Les stations de commande locales constituent généralement l'interface opérateur pour un ensemble de composants interconnectés (avec les indications et les contrôles-commandes associés), tandis que les points de commande locaux constituent l'interface des composants autonomes. Par rapport à un point de commande local, une attention plus approfondie est généralement exigée avant de prendre des mesures au niveau d'une station de commande locale, dont les effets se manifestent au niveau du système.

[SOURCE: ISO 11064-3:1999, 3.15, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

### 3.1.6

#### **point de commande local**

##### **LCP**

point situé à l'extérieur de la salle de commande où des opérateurs locaux réalisent des activités de maintenance, de surveillance ou de commande

Note 1 à l'article: Un centre de commande (voir le 3.1.1) comprend des stations de commande locales (voir le 3.1.5), mais aucun point de commande local.

Note 2 à l'article: L'abréviation "LCP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "local control point".

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.20, modifié – Les termes "de maintenance, de surveillance ou" et la Note à l'article ont été ajoutés]

## **3.2 Fonction, tâche et performance**

### 3.2.1

#### **fonction**

but précis ou objectif devant être accompli, qui peut être spécifié ou décrit sans référence aux moyens physiques nécessaires pour son atteinte

Note 1 à l'article: Cela équivaut à un objectif de niveau moyen défini par rapport à un objectif de sûreté ou un objectif opérationnel de niveau supérieur et qui permet une affectation à des personnes ou à une automatisation, mais pas à un objectif au niveau d'une tâche spécifique plus détaillée.

[SOURCE: IEC 61226:2020, 3.10, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

### 3.2.2

#### **analyse fonctionnelle**

examen des objectifs fonctionnels d'un système par rapport aux dotations en personnel, aux technologies et autres ressources prévues, qui fournit les données de base pour déterminer comment la fonction peut être affectée et exécutée

Note 1 à l'article: L'analyse fonctionnelle traite des "tâches à effectuer".

Note 2 à l'article: Voir aussi la définition de TA (3.2.6).

### 3.2.3

#### **éléments de dimensionnement**

exigences qualitatives et quantitatives qui caractérisent les tâches à effectuer pour les objectifs fonctionnels

### 3.2.4

#### **facteurs de performance**

facteurs qui influencent les performances humaines, notamment les conditions d'environnement, la conception des interfaces homme-machine, les procédures, la formation et la supervision

### 3.2.5

#### **tâche**

action réalisée par l'homme pour atteindre un objectif fonctionnel

### 3.2.6

#### **analyse des tâches**

TA

identification, description et évaluation des tâches d'un opérateur, du point de vue de ses composants, pour spécifier les activités humaines mises en jeu et leurs relations fonctionnelles et temporelles

Note 1 à l'article: La TA traite de "la manière dont une tâche exigée doit être effectuée".

Note 2 à l'article: Voir aussi la définition de l'analyse fonctionnelle (3.2.2).

Note 3 à l'article: L'abréviation "TA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "task analysis".

## 3.3 Aspects relatifs aux facteurs humains

### 3.3.1

#### **vision des paramètres ultimes**

concept du centre de commande cible et/ou de l'IHM cible à développer pour orienter la planification, les analyses HFE, la conception et la mise en œuvre au fil du temps jusqu'à atteindre le produit final souhaité

Note 1 à l'article: La "vision des paramètres ultimes" inclut deux aspects conceptuels: l'étude conceptuelle de l'IHM et le concept d'opérations, qui sont établis dans le cadre du programme HFE.

Note 2 à l'article: La "vision des paramètres ultimes" est déterminée au début de tout projet.

### 3.3.2

#### **discordance ergonomique**

HED

écart par rapport à certaines références concernant l'adéquation d'une conception de système aux rôles et capacités de l'opérateur humain

Note 1 à l'article: Cela peut inclure un écart par rapport à une norme ou à une convention de pratique ergonomique, une préférence ou un besoin de l'opérateur, ou une caractéristique d'un instrument/équipement qui est exigée de manière implicite ou explicite pour la tâche d'un opérateur, mais qui n'est pas fournie à l'opérateur.

Note 2 à l'article: Dans certains pays, le terme "question des facteurs humains" est utilisé.

Note 3 à l'article: L'abréviation "HED" est dérivée du terme anglais développé correspondant "human engineering discrepancy".

### 3.3.3

#### **erreur humaine**

discordance entre l'action humaine effectuée ou omise et l'action prévue ou requise

EXEMPLE Action incorrecte, omission d'une action requise, calcul erroné, mauvaise interprétation d'une valeur.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-14]

### 3.3.4

#### **ingénierie des facteurs humains**

HFE

application des connaissances et des méthodes pour prendre en compte les facteurs humains dans la conception de la centrale et de ses systèmes et équipements, afin d'assurer des performances et une sûreté optimales

Note 1 à l'article: L'abréviation "HFE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "human factors engineering".

### 3.3.5

#### **interaction humaine**

interrelation entre l'utilisateur et l'interface homme-machine, plus précisément, affichage de l'état de la centrale par l'interface homme-machine et action correspondante de l'utilisateur

### 3.3.6

#### **tâche humaine importante**

IHT

tâche humaine pouvant avoir un effet néfaste ou un effet positif sur la sûreté, tel que déterminé à l'issue d'une analyse de la sûreté

Note 1 à l'article: L'abréviation "IHT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "important human task".

[SOURCE: Glossaire de sûreté et de sécurité nucléaires de l'AIEA, édition (provisoire) de 2022]

### 3.3.7

#### **appréciation de la situation**

processus dynamique de perception et de compréhension de la condition réelle d'une centrale, destiné à aider les individus et les équipes à prévoir les conditions futures des systèmes

Note 1 à l'article: Le degré d'appréciation d'une situation est fonction de la différence entre la compréhension de la situation de la centrale et les conditions réelles de cette dernière à un moment donné.

[SOURCE: Glossaire de sûreté et de sécurité nucléaires de l'AIEA, édition (provisoire) de 2022]

### 3.3.8

#### **analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications**

définition et analyse des rôles de l'équipe de conduite et des exigences de base relatives aux compétences et aux connaissances qu'un poste exige de l'équipe de conduite

### 3.3.9

#### **guide de style**

document qui contient des lignes directrices, adaptées de sorte qu'elles décrivent l'application des recommandations HFE à une conception spécifique, par exemple pour la salle de commande d'une centrale spécifique

## 3.4 Aspects opérationnels

### 3.4.1

#### **procédures informatisées**

PI

application informatique interactive utilisée pour présenter à l'opérateur de conduite des recommandations relevant des procédures et qui peuvent en plus contenir de l'information procédée évoluant, ceci couvrant en particulier l'accès aux commandes opérateur

Note 1 à l'article: Contrairement aux procédures papier qui sont des documents statiques, les PI offrent la possibilité de lire des informations évoluant. Cette possibilité permet à l'opérateur de naviguer d'une étape à une autre par différents moyens avancés, placer des marques page et utiliser des affichages en parallèle.

[SOURCE: IEC 62646:2016, 3.2, modifié – Terme "fonctionnement en régime ilôté" remplacé par "ilotage", et remplacement de "régime d'exploitation" par "régime de fonctionnement" et de "l'énergie" par "la puissance"]

### 3.4.2

#### **concept d'opérations**

conception proposée quant au modus operandi à respecter pour s'assurer qu'elle remplira ses fonctions, en ce compris les différents rôles que le personnel sera appelé à jouer ainsi que la façon dont elle sera organisée, gérée et appuyée

Note 1 à l'article: Il décrit les modalités (la "philosophie") d'exploitation de la centrale, ce qui recouvre notamment les effectifs et la composition du personnel d'exploitation, leurs caractéristiques attendues et la manière dont la centrale fonctionne dans des conditions normales et anormales.

[SOURCE: Glossaire de sûreté et de sécurité nucléaires de l'AIEA, édition (provisoire) de 2022, modifié – La mention "leurs caractéristiques attendues" a été ajoutée à la Note à l'article]

### 3.4.3

#### **opérateurs de la salle de commande**

équipe de conduite en poste dans la salle de commande, qui est responsable de la réalisation des objectifs opérationnels de la centrale en contrôlant la centrale par le biais d'interfaces homme-machine et par l'intermédiaire d'une communication avec les opérateurs locaux

Note 1 à l'article: Le terme "opérateurs" est utilisé au sens général et, selon le type d'installation nucléaire et les dispositions relatives au personnel associé, peut également inclure le personnel qui assure un rôle d'appui, mais qui n'est pas officiellement nommé "opérateur".

Note 2 à l'article: Lorsque l'aspect HFE d'une tâche opérationnelle implique une collaboration entre un groupe d'opérateurs, le terme "équipe" est parfois employé.

### 3.4.4

#### **réaction d'urgence**

réalisation d'actions destinées à atténuer les conséquences d'une situation d'urgence pour la vie humaine, la santé, les biens et l'environnement

[SOURCE: IEC 62954:2019, 3.5]

**3.4.5****opérateurs locaux**

membres de l'équipe de conduite qui remplit des tâches à l'extérieur de la salle de commande

Note 1 à l'article: Le terme "opérateurs de terrain" peut également être utilisé pour ces équipes.

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.21, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

**3.4.6****personnel de maintenance**

personnel de la centrale responsable des activités de maintenance, d'essai et d'étalonnage des systèmes et équipements de la centrale

Note 1 à l'article: D'autres groupes désignés peuvent se voir confier la responsabilité des activités d'essai et d'étalonnage.

**3.4.7****procédures de conduite**

ensemble de documents spécifiant les tâches de conduite qu'il est nécessaire de remplir pour atteindre les objectifs fonctionnels

Note 1 à l'article: L'ensemble de documents peut être fourni au format papier et/ou être informatisé.

[SOURCE: IEC 60964:2018, 3.22, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

**3.4.8****équipe de conduite**

personnel de la centrale engagé dans la conduite de la centrale et travaillant en poste

Note 1 à l'article: L'équipe de conduite inclut les opérateurs de la salle de commande et les opérateurs locaux, mais exclut les autres personnels qui peuvent également travailler en poste.

**3.4.9****activités d'exploitation**

ensemble des activités réalisées pour atteindre l'objectif pour lequel une installation autorisée a été construite

Note 1 à l'article: Pour une NPP, ces activités incluent la maintenance, le rechargement en combustible, l'inspection en service et d'autres activités associées.

**3.4.10****qualification**

<personnel> capacité, caractéristique, connaissances ou expérience qui rend une personne apte à une activité ou un poste particulier

**3.4.11****conception de référence**

conception comparable à celle de la centrale à construire, qui peut être utilisée comme base pour le programme et l'analyse HFE

**3.4.12****programme de formation**

programme conçu pour former l'équipe de conduite afin qu'elle puisse acquérir les compétences et les connaissances nécessaires aux activités d'exploitation dans tous les états de la centrale pris en compte dans la conception (c'est-à-dire les états de fonctionnement normaux/anormaux et les conditions accidentelles)

### 3.5 Vérification et validation

#### 3.5.1

##### **revue de conception analytique**

revue d'une ou de plusieurs conceptions de référence en tant qu'éléments d'entrée du processus de conception d'un nouveau projet

#### 3.5.2

##### **revue de conception dynamique**

revue d'une conception disponible sous une forme simulée ou en tant que prototype d'équipement pouvant faire l'objet d'un examen dynamique

#### 3.5.3

##### **revue de conception intégrée**

revue d'une conception qui comporte suffisamment d'éléments intégrés pour justifier le début des essais d'intégration

#### 3.5.4

##### **validation du système intégré**

ISV

évaluation qui repose sur des essais de performances pour déterminer si une conception de système intégré (matériel, logiciels, procédures, personnel, par exemple) respecte les éléments de dimensionnement et contribue au fonctionnement sûr de la centrale

Note 1 à l'article: L'abréviation "ISV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "integrated system validation".

#### 3.5.5

##### **revue de conception statique**

revue d'une conception qui n'est disponible que sur papier ou à titre de maquette ne pouvant pas être examinée dynamiquement

#### 3.5.6

##### **validation**

confirmation par l'examen (au moyen d'essais de performances) et par la preuve objective que le système d'interface homme-machine dans son ensemble, y compris l'utilisateur, peut exécuter avec succès les fonctions prévues et atteindre ses buts et objectifs dans la plage d'environnements dans lesquels il est présumé devoir fonctionner

[SOURCE: Guide de sûreté spécifique de l'AIEA n° SSG-51, 2019, modifié - La mention "(au moyen d'essais de performances)" a été ajoutée]

#### 3.5.7

##### **vérification**

confirmation par l'examen et par la preuve objective que le système d'interface homme-machine dans son ensemble satisfait aux spécifications et exigences de conception, et qu'il fournit l'appui nécessaire à l'exécution des tâches, dans les conditions prévues

[SOURCE: Guide de sûreté spécifique de l'AIEA n° SSG-51, 2019]



## 4 Abréviations

|                                                         |                                                        |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| CBP (Computer Based Procedures)                         | Procédures informatisées                               |
| CR (Control Room)                                       | Salle de commande                                      |
| EPRI                                                    | Electric Power Research Institute                      |
| HED (Human Engineering Discrepancy)                     | Discordance ergonomique                                |
| HF (Human Factors)                                      | Facteurs humains                                       |
| HFE (Human Factors Engineering)                         | Ingénierie des facteurs humains                        |
| IHM                                                     | Interface homme-machine                                |
| AFH                                                     | Analyse de la fiabilité humaine                        |
| HTA (Hierarchical Task Analysis)                        | Analyse des tâches hiérarchiques                       |
| HW (HardWare)                                           | Matériel                                               |
| AIEA                                                    | Agence internationale de l'énergie atomique            |
| IEC (International Electrotechnical Commission)         | Commission électrotechnique internationale             |
| IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) | Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens |
| IHT (Important Human Task)                              | Tâche humaine importante                               |
| ISO (International Standardisation Organisation)        | Organisation internationale de normalisation           |
| ISV (Integrated System Validation)                      | Validation du système intégré                          |
| I&C                                                     | Instrumentation et contrôle-commande                   |
| LCP (Local Control Point)                               | Point de contrôle local                                |
| MCR (Main Control Room)                                 | Salle de commande principale                           |
| NPP (Nuclear Power Plant)                               | Centrale nucléaire                                     |
| OER (Operating Experience Review)                       | Retour d'expérience opérationnelle                     |
| OSA (Operating Sequence Analysis)                       | Analyse des séquences de fonctionnement                |
| OSD (Operating Sequence Diagram)                        | Diagramme des séquences de fonctionnement              |
| EPS                                                     | Étude probabiliste de sûreté                           |
| REP                                                     | Réacteur à eau sous pression                           |
| Pzr (Pressurizer)                                       | Pressuriseur                                           |
| RO (Reactor Operator)                                   | Opérateur de réacteur                                  |
| SG (Steam Generator)                                    | Générateur de vapeur                                   |
| SPDS (Safety Parameter Display System)                  | Système de visualisation des paramètres de sûreté      |
| SSC                                                     | Structures, systèmes et composants                     |
| SW (SoftWare)                                           | Logiciel                                               |
| TA (Task Analyses)                                      | Analyses de tâches                                     |
| VDU (Visual Display Unit)                               | Unité de visualisation                                 |
| V&V                                                     | Vérification et validation                             |
| WG (Working Group)                                      | Groupe de travail                                      |

## 5 Gestion du programme d'ingénierie des facteurs humains

### 5.1 Généralités

Pour une centrale existante, la HFE doit respecter la philosophie existante.

La présente norme s'applique à l'environnement d'ingénierie général suivant:

- elle s'applique aux projets pour tous les types de centrales nucléaires (NPP) et les autres installations associées à la production d'énergie nucléaire;
- elle s'applique aux nouvelles conceptions d'installations nucléaires, à l'évolution des "nouvelles générations" d'installations nucléaires et à la modernisation (modifications, mises à niveau et remplacements d'équipements, par exemple) d'installations nucléaires existantes;
- elle s'applique essentiellement aux aspects HFE qui contribuent à la sûreté (et à la sécurité) nucléaire de l'installation, mais il convient toutefois de l'appliquer également lorsque l'absence de données d'entrée HFE peut entraîner une augmentation des taux de défaillance de l'équipement et/ou des erreurs humaines susceptibles de compromettre de manière significative la sûreté (et la sécurité) nucléaire de l'installation et/ou de l'environnement;

NOTE 1 En matière de sécurité nucléaire, l'application de la HFE concerne la manière dont les mesures de sécurité, notamment le contrôle d'accès, sont mises en œuvre pour l'IHM.

- elle s'applique à l'ensemble des étapes du cycle de vie de l'installation/du projet (c'est-à-dire spécification de l'organisme fournisseur ou vendeur, conception, achats, fabrication, essais, installation, mise en service, exploitation, maintenance, modification, déclasséement);

NOTE 2 Le déclasséement n'est pas traité de manière spécifique dans le présent document. Toutefois, il est reconnu que la HFE a un rôle à jouer pour s'assurer que le déclasséement des installations nucléaires puisse être sûr. Cela peut être réalisé en appliquant la HFE aux plans de déclasséement de la centrale au stade conceptuel et en appliquant la HFE aux plans plus détaillés avant leur mise en œuvre ultime, en adaptant les 12 points HFE (voir ci-dessous) aux différentes phases de déclasséement.

- elle s'applique à l'ensemble des conditions de fonctionnement et des conditions accidentelles postulées de l'installation, en accordant une attention particulière à l'environnement associé et à la nécessité éventuelle d'utiliser des équipements de manutention spécialisés ou de porter des équipements de protection individuelle afin d'exécuter des tâches de commande ou de surveillance spécifiques;
- elle s'applique à l'ensemble des équipements (et des documents de conduite associés) utilisés par l'homme pour interagir avec l'installation nucléaire et ses systèmes (c'est-à-dire les centres de commande, les points de commande locaux, les moyens de réaction d'urgence, les alarmes locales et les points de surveillance locaux, les procédures de conduite, les procédures de maintenance, etc.);

NOTE 3 La présente norme s'applique également aux IHM temporaires qui permettent aux personnes d'interagir avec l'installation nucléaire et ses systèmes.

- elle s'applique à l'ensemble du personnel directement impliqué dans les activités techniques ci-dessus. Sont exclus les personnels qui exécutent d'autres fonctions non couvertes ci-dessus, sauf si les retours d'expérience opérationnelle montrent que leurs actions peuvent compromettre indirectement la sûreté (et la sécurité) nucléaire de l'installation et/ou de l'environnement.

NOTE 4 Le programme HFE met l'accent sur les activités de "conduite".

Ce document est destiné à servir de document HFE. Il repose sur les recommandations établies dans les guides HFE actuels, comme le SSG-51 de l'AIEA et le NR-T-2.12 de l'AIEA. Il couvre les exigences minimales relatives au domaine d'application technique complet, mais renvoie à d'autres normes pour des exigences détaillées spécifiques.

Le domaine d'application technique inclut les 12 points HFE suivants, reconnus par ces guides:

- a) gestion du programme HFE: existence d'une équipe HFE qui dispose des ressources adéquates et qui possède la responsabilité, l'autorité, une position hiérarchique et la composition nécessaires pour s'assurer de manière raisonnable que la conception de la centrale respecte l'engagement HFE;
- b) retour d'expérience opérationnelle (OER, *Operating Experience Review*): identification et analyse des problèmes liés à la HFE et des problèmes observés dans des conceptions antérieures similaires à la conception actuelle;
- c) analyse des exigences fonctionnelles et affectation des fonctions: définition des fonctions qui doivent être réalisées pour atteindre les objectifs de sûreté de la centrale et affectation des responsabilités relatives à ces fonctions (affectation des fonctions) au personnel et à l'automatisation tout en tirant parti des forces humaines et en fournissant un appui aux limites humaines;
- d) traitement des tâches humaines importantes: identification des tâches humaines importantes, par une combinaison d'analyses probabilistes et déterministes, et prise en compte des mécanismes d'erreur humaine pour les tâches humaines importantes lors de la conception des aspects HFE de la centrale;
- e) analyse des tâches (TA): identification, description et évaluation des tâches spécifiques nécessaires à l'exécution des fonctions du personnel, ainsi que des alarmes, informations, contrôles-commandes et moyens de soutien exigés pour l'exécution de ces tâches;
- f) effectifs, organisation et qualifications: analyse systématique des exigences relatives au nombre de personnels, en fonction de l'affectation des fonctions et des différents états de la centrale pris en compte dans la conception, de leur organisation et de leurs qualifications, ce qui implique une compréhension approfondie de la tâche;
- g) conception de l'IHM: conversion des exigences fonctionnelles et des exigences de tâches en exigences de conception IHM et en conception détaillée des alarmes, affichages, contrôles-commandes et autres aspects de l'IHM du point de vue HFE;
- h) élaboration des procédures: s'assurer que le programme d'élaboration de procédures intègre les principes et critères HFE, ainsi que l'ensemble des autres exigences de conception, afin d'établir des procédures techniquement exactes, complètes, explicites, faciles à utiliser et validées;
- i) élaboration des programmes de formation: s'assurer que le programme d'élaboration des programmes de formation intègre les principes et exigences HFE établis au cours des analyses HFE, par exemple les résultats des analyses des effectifs et des TA et les résultats V&V HFE, ainsi que les autres exigences de conception et les retours d'expérience opérationnelle en conditions réelles;
- j) vérification et validation des facteurs humains: évaluation systématique centrée sur l'humain des solutions de conception et de l'aptitude à l'emploi, ainsi que de leur résolution appropriée, aux 3 étapes suivantes de la conception de la centrale:
  - vérification des moyens de soutien de l'IHM;
  - vérification de la conception HFE; et
  - validation du système intégré (ISV);
- k) HFE pendant la mise en œuvre de la conception – confirmation que:
  - la conception construite est conforme à la conception vérifiée et validée issue du processus de conception HFE;
  - la mise en œuvre des modifications dans la centrale tient compte de l'effet sur les performances du personnel et fournit l'appui nécessaire pour assurer la sûreté raisonnable des opérations;

- l) surveillance des performances humaines – élaboration d'un programme de surveillance des performances humaines pour:
- s'assurer que les conclusions de l'ISV demeurent valides dans le temps;
  - s'assurer qu'aucune dégradation significative de la sûreté ne se produit à la suite des modifications apportées à la centrale;
  - s'assurer qu'aucune condition ou caractéristique émergente ou précédemment non identifiée de l'IHM approuvée ne dégrade potentiellement les performances humaines.

NOTE 5 Le "suivi des hypothèses et des problèmes" et la "gestion des facteurs humains (HF) dans la chaîne d'approvisionnement" sont des parties importantes du processus de conception, mais ne sont pas traitées en détail dans le présent document.

## 5.2 Dispositions relatives à la gestion

Un programme HFE doit être établi, et le plan de mise en œuvre de gestion associé doit être documenté et suivi (voir 5.8.3) pour assurer la réussite de l'intégration des caractéristiques et des capacités humaines à la conception, à la mise en service, à l'exploitation, à la maintenance et au déclassement de l'installation nucléaire.

Le programme HFE doit décrire les activités HFE ainsi que les entrées, les sorties et les processus entre les différentes activités. Les activités HFE incluent des analyses, la conception de l'IHM, des évaluations comme la vérification et la validation, ainsi que la surveillance des performances humaines. Le processus HFE doit être itératif, notamment la revue et la validation des options de conception au cours des différentes étapes de conception, afin d'optimiser les résultats.

L'intégration de la HFE dans la conception doit être planifiée et documentée, en tant que partie intégrante de tout projet d'installation nucléaire. Un processus visant à s'assurer que les sorties ont été traitées doit être établi et documenté. Il convient de mettre à jour les descriptions des processus aux moments appropriés.

L'ensemble des codes, normes et spécifications utilisés dans le cadre des activités HFE doivent être décrits dans le programme HFE.

## 5.3 Équipe d'ingénierie des facteurs humains

### 5.3.1 Responsabilités de l'équipe HFE

L'équipe HFE doit assurer les tâches suivantes:

- élaborer le programme HFE qui inclut le plan et les procédures de mise en œuvre de gestion;
- assurer la mise en œuvre du programme HFE en réalisant ou en coordonnant l'ensemble des activités HFE du programme avec les services d'études/experts concernés;
- vérifier que les recommandations et les exigences de l'équipe sont mises en œuvre ou soumises à l'acceptation de l'équipe HFE;
- s'assurer que tous les problèmes en lien avec la HFE sont correctement résolus;
- s'assurer que l'ensemble des activités HFE sont conformes au plan et aux procédures;

Des équipes HFE peuvent être nécessaires à différents niveaux hiérarchiques, en particulier dans le contexte des modifications apportées aux installations existantes, par exemple:

- une équipe HFE de niveau supérieur responsable de la gestion HFE globale de l'installation. Cette équipe définirait et serait responsable des procédures HFE au niveau de l'installation, comme l'intégration du processus HFE au processus de conception technique de l'installation et la définition des critères d'identification des projets de modification qui exigent des activités HFE. Elle surveillerait également l'efficacité du programme HFE au niveau de l'installation; il est nécessaire de la mettre en place avant le début d'un projet spécifique et de la maintenir pendant toute la durée dudit projet;

- un certain nombre d'équipes HFE de niveau projet, chacune étant assignée à des projets spécifiques et responsable de la mise en œuvre et/ou de la coordination des activités HFE spécifiques au projet (présélection, méthode graduée et mise en œuvre des points HFE nécessaires, par exemple).

NOTE Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'adapter ses équipes HFE aux besoins de ses projets.

### 5.3.2 Soutien par une équipe multidisciplinaire

L'équipe HFE doit travailler avec une équipe multidisciplinaire pour réaliser l'ensemble des activités HFE, à savoir les analyses, la conception, ainsi que la vérification et la validation.

L'équipe multidisciplinaire est généralement composée d'experts de l'ingénierie des systèmes, de l'ingénierie des procédés et du génie mécanique, de l'ingénierie de la sûreté nucléaire, de l'ingénierie de l'instrumentation et du contrôle-commande, du génie nucléaire, de l'ingénierie architecturale, de l'organisation du fournisseur, de la conduite et de la maintenance de la centrale, de l'informatique et de l'ingénierie informatique, de la formation du personnel et de l'analyse de la fiabilité humaine.

L'équipe HFE peut être établie en tant qu'organisation fonctionnelle à la fois flexible et adaptative, et elle peut être étendue pour les besoins d'une phase de conception spécifique en y rattachant des ingénieurs détachés ou temporairement affectés issus d'une organisation multidisciplinaire, comme cela est indiqué ci-dessus.

NOTE Dans ce cas, chaque personne représenterait sa discipline et aurait la responsabilité de veiller à ce que la mise en œuvre de la conception de sa discipline prenne en compte le programme HFE en coordonnant les contributions des différents membres de sa discipline.

### 5.3.3 Organisation, qualification et autorisation de l'équipe HFE

Le programme HFE doit identifier les exigences organisationnelles et les exigences de compétences appropriées (qualifications, compétences, connaissances et formation, par exemple) pour le personnel qui effectue des activités HFE.

Le programme HFE doit décrire la structure organisationnelle et la dotation en personnel de l'équipe HFE, notamment les descriptifs de postes et les attributions du personnel de l'équipe.

Les membres de l'équipe HFE qui réalisent des activités de vérification et de validation (V&V) doivent être indépendants des membres qui réalisent les activités de conception correspondantes. Le but est d'assurer leur objectivité et d'éviter toute erreur systématique lors de l'évaluation de la conception. L'équipe V&V de la discipline HFE doit inclure des membres qui possèdent une expérience en conception et en exploitation.

L'équipe HFE doit posséder l'autorité et une position hiérarchique définie pour assurer efficacement l'ensemble de ses domaines de responsabilité. Il convient que le gestionnaire HFE ait le même statut que le responsable ingénierie, qu'il occupe une position élevée dans la structure de gestion de projet et qu'il soit placé directement sous l'autorité du responsable du projet ou de la centrale, selon le cas.

NOTE Cela favorisera les compromis et les engagements de la direction à évaluer la HFE et la conception de manière égale.

L'équipe HFE doit avoir accès à l'ensemble des documents associés, notamment les rapports d'analyse, les spécifications de conception du système, les dessins de conception, les procédures administratives et opérationnelles.





Le programme HFE doit être mis en place pendant la phase de planification, car une mise en place tardive entraînerait des modifications de conception ultérieures, des analyses supplémentaires, ainsi qu'un risque accru pour la sûreté et la sécurité de l'installation. La vision des paramètres ultimes est également mise en place au cours de cette phase, et les conceptions de référence sont préévaluées dans une certaine mesure.

Pendant la phase d'analyse, les analyses HFE doivent être réalisées pour fournir les entrées nécessaires à la conception HFE et pour prendre en charge les concepts des autres disciplines de conception. En outre, une première vérification de la conception des concepts généraux et des informations déjà disponibles provenant de la conception de référence peut être engagée. Tout au long de cette phase, les tâches humaines importantes font également l'objet d'une attention particulière, afin de les inclure à un stade précoce dans les décisions de conception. Une activité majeure est la clôture du retour d'expérience opérationnelle (OER), de l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications, ainsi que d'autres éléments d'entrée contribuant à la conception (voir l'Article 6). L'analyse des tâches (TA) et l'affectation des fonctions doivent être effectuées et clôturées dans la mesure du possible.

Au début de la phase de conception, les analyses HFE doivent être clôturées et l'élément d'entrée contribuant à la conception HFE doit être identifié. Les phases de conception et de fabrication incluent ensuite la création de l'IHM, ainsi que l'élaboration des formations et des procédures, suivie d'une vérification et d'une validation statiques et dynamiques de la HFE. Lorsque l'analyse HFE n'a pas été achevée, il convient de procéder à un enregistrement et de consigner les hypothèses de fonctionnement.

Pendant la phase d'intégration, il convient de mettre l'accent sur la validation de l'IHM et sur la prise en compte des modifications créées. Enfin, la validation du système intégré (ISV) doit être réalisée.

Pendant la phase d'exploitation, il convient de surveiller les performances humaines. L'objectif est de détecter les écarts par rapport aux performances attendues et de révéler les lacunes qui n'ont pas été identifiées au cours des activités V&V. Dans les projets où une conception de référence est disponible du point de vue des facteurs humains, cela réduit autant que possible la partie analyses en tenant compte des connaissances et des conceptions relatives aux facteurs humains dans la centrale de référence.

## **5.5 Identification et correction des discordances ergonomiques (HED)**

Les discordances ergonomiques sont identifiées au cours du processus HFE.

La correction des HED est une évaluation visant à fournir une assurance raisonnable que les HED identifiées au cours du processus HFE ont été évaluées et résolues. Pour la correction des HED, il convient de mettre en place un processus itératif type qui inclut les tâches suivantes:

- a) analyses de la HED afin d'évaluer si la HED exige une correction;
- b) développement de la solution de conception lorsque la correction de la HED est jugée nécessaire;
- c) vérification que la solution de conception de la HED a été dûment mise en œuvre.

Pour les HED générées par le processus HFE, des documents spécifiques doivent être établis afin d'inclure les enregistrements, les analyses et les corrections des HED. Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser un système de suivi, qui peut être séparé ou combiné au système d'ingénierie spécifique, pour assurer la correction de l'ensemble des HED identifiées. Au début d'un projet, le programme HFE doit fournir un plan pour documenter, suivre et résoudre les problèmes liés à la HFE qui sont identifiés par les processus HFE. Il convient d'utiliser des outils de base de données pour assurer le suivi des problèmes.

NOTE Les revues de fin d'étape (voir 5.4) sont importantes pour déterminer si les projets peuvent ou ne peuvent pas être réalisés après la mise en œuvre des HED ou des modifications.

## **5.6 Informations à prendre en compte concernant le domaine d'application du programme HFE**

### **5.6.1 Généralités**

Le présent paragraphe explique comment définir le domaine d'application et les limites du programme HFE en prenant en compte l'intégration des différentes activités au reste des installations, notamment la présélection, la méthode graduée, l'utilisation de conceptions de référence et l'application à différents projets.

L'application à un projet avec des arguments pour la limitation de la portée doit être documentée dans le plan HFE des projets.

### **5.6.2 Intégration des activités au reste des installations**

Les erreurs humaines dans l'industrie et dans les installations nucléaires mettent en évidence l'importance de l'intégration des facteurs humains (HF) au processus de conception, afin de réduire le plus possible les erreurs humaines et de rendre la conception tolérante et indulgente face aux erreurs humaines. Une erreur humaine qui compromet la sûreté de l'installation peut être due non seulement à des lacunes des principales zones de commande, mais également aux conceptions inadaptées des commandes locales, du matériel de l'installation et des activités de maintenance.

Outre les erreurs humaines qui peuvent avoir une incidence directe sur la sûreté, il doit être déterminé si des erreurs survenant à tous les niveaux de l'installation peuvent ou non avoir une incidence sur la sûreté en raison d'un retard ou de la situation de l'installation. En particulier, pendant le programme HFE, il est nécessaire d'accorder une attention particulière aux stations de commande locales et aux équipements destinés aux situations d'urgence ou hors dimensionnement. La reprise à la suite de ces défaillances doit faire partie du domaine d'application des analyses HFE.

À partir des connaissances ci-dessus, la HFE doit prendre en compte l'installation dans son ensemble. Le domaine d'application de l'ensemble de l'installation exige une attention particulière au cours de l'élaboration du programme HFE et doit être consigné dans le plan de gestion du programme HFE.

### **5.6.3 Présélection des points HFE**

Il convient que l'application du programme HFE prenne en compte un processus de présélection des points HFE afin d'évaluer leur applicabilité au projet à l'étude, notamment les nouvelles conceptions, les modifications de la centrale, les activités de modernisation ou les modifications apportées aux procédures de maintenance.

Par conséquent, les résultats du processus de présélection dépendent essentiellement du projet à l'étude, en particulier si les aspects considérés sont pertinents pour les facteurs humains, comme l'IHM réelle, les aides à l'opérateur, les points de consigne, les procédures, les exigences relatives à l'exécution des tâches, entre autres.

Le processus de présélection qui est généralement suivi implique l'élaboration d'une liste de contrôle qui permet de déterminer si les activités à effectuer pour chaque point du programme sont exigées, en fonction des éléments à modifier ou développer dans le projet à l'étude.

Dans le cas de nouvelles conceptions, le résultat le plus probable est l'exécution d'un programme HFE complet et adapté en fonction des éléments décrits dans les paragraphes suivants.

Dans le cas de modifications de conception, la présélection aboutira à la détermination des points spécifiques du programme HFE qu'il est nécessaire de développer, ces points étant adaptés comme cela est décrit pour les nouvelles conceptions.



Il convient de consigner les résultats de la présélection à des fins de traçabilité.

#### 5.6.4 Méthode graduée

En raison de la grande complexité des interactions humaines et de la taille de l'installation nucléaire, l'utilisation d'une méthode graduée aide l'équipe HFE à se concentrer sur les interactions importantes tout au long du processus de conception ainsi que sur les domaines qui en ont le plus besoin (en tenant compte notamment des différents types de risques tels que les rayonnements, les travailleurs, les équipements ou les risques pour l'environnement). Par conséquent, la méthode graduée identifie le niveau approprié de rigueur, de ressources et de détails à appliquer.

La méthode graduée doit mettre l'accent sur les interactions humaines qui présentent un risque élevé en cas d'erreur humaine, et il convient d'appliquer cette méthode au niveau des tâches humaines.

Il convient de prendre en compte les dimensions de classement suivantes:

- la pertinence sur le plan de la sûreté (y compris les risques décrits précédemment);
- la complexité des interactions humaines; et
- l'expérience opérationnelle existante, par exemple la maturité de la technologie et de la solution de conception utilisées.

NOTE Les situations des centrales, même avec une faible probabilité, peuvent avoir une incidence majeure sur les dimensions et ne peuvent pas être exclues *a priori*. Par exemple, la "pertinence sur le plan de la sûreté" d'une tâche peut augmenter en raison de l'indisponibilité d'un système, ou la "complexité des interactions humaines" peut augmenter en raison d'une indisponibilité du personnel, des interfaces ou de l'équipement, par exemple en cas d'accident grave.

Pour une défense en profondeur, il convient que le fonctionnement normal soit fiable; par conséquent, l'utilisation de systèmes non classés de sûreté peut se révéler pertinente du point de vue de la HFE, et ne peut être exclue *a priori*.

En fonction du classement des tâches, il convient d'appliquer différents niveaux d'analyse, de participation à la conception et de méthodes et de participation à l'activité V&V de la discipline HFE. Pour les interactions locales en particulier, il convient que cette approche guide l'équipe HFE.

Le classement des tâches et des activités HFE connectées doit être défini dans un énoncé de méthode dans le cadre du plan HFE de l'installation. L'approche doit faire l'objet d'une revue régulière tout au long du programme HFE afin d'identifier les éventuelles lacunes.

#### 5.6.5 Utilisation des conceptions de référence

L'ingénierie des systèmes et des composants repose fortement sur les conceptions de référence existantes, le cas échéant.

NOTE Il peut y avoir des conceptions de référence qui incluent des résultats HFE ou des conceptions de référence qui ne comportent aucun résultat HFE (pour guider uniquement la conception des systèmes d'I&C et de centrales disponibles, par exemple).

Pour les interactions humaines et la conception des IHM, la revue des conceptions de référence doit être prise en compte au cours du programme HFE. De la même manière que pour les autres disciplines d'ingénierie, des références ne peuvent être utilisées que lorsqu'elles peuvent être jugées applicables et qu'il existe des preuves avérées de l'application de la HFE exécutée.

Il convient d'analyser la conception de référence et d'effectuer une évaluation détaillée du delta afin d'appliquer les résultats existants à la nouvelle conception. Les combinaisons de conceptions de référence peuvent soulever de nouveaux problèmes et doivent donc être évaluées en détail.

L'utilisation d'une conception de référence et des résultats HFE correspondants doit être analysée au début de la conception et documentée dans le plan HFE.

### 5.6.6 Exemples d'applications à différents projets

Les aspects décrits dans les paragraphes précédents déterminent le domaine d'application des activités HFE qui doivent être appliquées aux projets. L'application des deux principaux types de projets est décrite ci-dessous.

#### a) Programme HFE pour une nouvelle installation (ou un nouveau système autonome)

Il convient que le programme HFE couvre la conception complète de l'installation. Il doit être en vigueur au moins du début du cycle de conception jusqu'à l'achèvement du programme d'essai de démarrage initial de la centrale.

Les étapes d'exploitation doivent être prises en compte au moment approprié.

#### b) Programme HFE pour tous les types de modifications de centrales, les activités de modernisation et les modifications apportées à la maintenance des IHM

Un programme HFE spécifique doit être élaboré pour les activités importantes de modification et de modernisation de la centrale qui peuvent:

- entraîner des modifications majeures aux contrôles-commandes, affichages et alarmes associés à des structures, systèmes et composants (SSC) importants pour la sûreté; ou
- avoir une incidence sur les tâches humaines importantes.

Pour une centrale existante, la HFE doit respecter la philosophie existante.

Il convient que ce programme HFE envisage de coordonner et d'orienter les documents de formation, de procédure et d'administration avant de mettre en œuvre la modification.

Ce programme HFE peut être classé en fonction de l'importance du risque et du potentiel d'erreur humaine.

Il convient qu'un programme HFE spécifique définisse les dispositions qu'il est nécessaire d'établir pour les modifications et variations mineures apportées aux procédures de maintenance afin de s'assurer que:

- le risque d'erreurs humaines pendant la mise en œuvre des procédures de modification/maintenance est évalué;
- la nature de ces erreurs est comprise (par exemple, si elles sont détectables ou, dans le cas d'équipements redondants, si elles peuvent entraîner une défaillance du fait de plusieurs redondances);
- la probabilité de telles erreurs et leurs conséquences éventuelles sur la sûreté sont évaluées;
- un niveau approprié de rigueur, de ressources et de détails est appliqué dans la planification des travaux à la lueur des résultats de cette évaluation.

### 5.7 Vision des paramètres ultimes

Au début de tout projet, une vision des paramètres ultimes doit être élaborée afin de fournir une description claire et globale de l'IHM à développer et de la manière dont celle-ci sera mise en œuvre pour le projet à l'étude.

La vision des paramètres ultimes peut être prise en compte dans les activités initiales du programme HFE et constitue un élément clé pour les activités d'analyse, de conception, d'achats, de vérification et de validation, en fournissant des recommandations et en permettant d'établir une compréhension commune de l'IHM à développer.

Il convient que la vision des paramètres ultimes soit davantage détaillée au cours de la conception et qu'elle soit développée et mise à jour lorsque cela est nécessaire. Il convient de recourir à la vision des paramètres ultimes à chaque étape de la conception afin de vérifier et de valider les hypothèses de conception. Il convient d'analyser les modifications de conception proposées pour déterminer leurs impacts sur la vision des paramètres ultimes.

Il est important d'indiquer que les activités HFE dans le cadre du programme HFE ne conduisent pas nécessairement à un type spécifique d'IHM et d'approche technologique, et que la vision des paramètres ultimes permet de définir l'objectif initial à suivre. Néanmoins, il convient de préciser, dans la vision des paramètres ultimes, si le recours à des technologies émergentes est acceptable pour l'application envisagée, ainsi que l'étendue des tâches de recherche et de développement pouvant être nécessaires afin de faciliter leur adoption.

La vision des paramètres ultimes doit être documentée pour guider l'ensemble des disciplines de conception tout au long du processus de conception complet.

L'élaboration des principes de conduite nécessite la collaboration d'une équipe multidisciplinaire avec l'ensemble des acteurs du projet, et il peut être nécessaire qu'elle évolue au fil du temps en tenant compte des phases de conception pertinentes et appropriées en fonction des besoins du projet.

La vision des paramètres ultimes comprend les deux composantes suivantes:

- étude conceptuelle de l'IHM qui décrit l'emplacement géographique et physique des centres de commande planifiés et des IHM associées, ainsi que des composants d'I&C ou autres SSC associés, en tenant compte des fonctions de haut niveau et des conditions de la centrale à gérer;
- concept d'opérations qui décrit les utilisateurs prévus en tant qu'éléments d'entrée pour l'étude conceptuelle de l'IHM, avec une description de haut niveau des tâches à accomplir pour les conditions de la centrale présumées à gérer.

L'étude conceptuelle de l'IHM peut varier selon le projet à l'étude. Elle peut couvrir:

- la salle de commande principale;
- la salle de commande supplémentaire;
- le centre de soutien technique;
- d'autres installations appropriées pour la conduite de la centrale, comme celles pour la gestion des situations d'urgence, la manipulation des combustibles ou les stations de commande locales;
- les emplacements des équipements d'I&C;
- les bâtiments, emplacements et équipements applicables.

Pour les modifications de conception, l'étude conceptuelle de l'IHM repose sur les IHM ou les centres de commande applicables à la modification.

Pour les nouvelles constructions et les modifications de conception, les descriptions de l'étude conceptuelle de l'IHM tiennent compte des éléments suivants:

- étendue de la centralisation;
- étendue du traitement de l'information;
- agencement des panneaux et postes de travail IHM dans les centres de commande, en tenant compte de l'utilisation d'écrans ou de panneaux/bureaux, avec l'ensemble des indications et contrôles-commandes câblés nécessaires (cela peut déterminer la taille du centre de commande);
- approche technologique au sein des centres de commande (numérique ou analogique, aspects relatifs à la sécurité, par exemple);

- emplacements des équipements d'I&C;
- contraintes de construction potentielles.

Le domaine d'application du concept d'opérations est défini en fonction du projet d'ingénierie, notamment:

- la description de toutes les conditions normales et anormales de la centrale;
- la manière dont la centrale doit fonctionner dans ces conditions;
- le nombre et la composition de l'équipe de conduite, ainsi que leurs rôles associés à l'exploitation et aux tâches administratives;
- toute hypothèse sur laquelle repose l'argumentaire de sûreté de l'installation ou de l'activité.

Le concept d'opérations est élaboré conjointement avec l'étude conceptuelle de l'IHM. Ces deux documents (c'est-à-dire le "concept d'opérations" et l'"étude conceptuelle de l'IHM") dans la vision des paramètres ultimes doivent être élaborés dans le cadre de l'exécution du programme HFE et constituer l'image globale ou une cible de la solution de conception.

## **5.8 Livrables HFE à préparer**

### **5.8.1 Généralités**

Les livrables HFE à préparer dans le cadre d'un projet dépendent largement du domaine d'application à développer, en tenant compte de l'ensemble des problèmes précédemment décrits dans le présent Article 5. Les bonnes pratiques consistent à établir des "plans de mise en œuvre" pour les éléments définis dans le programme HFE, avant d'engager le travail réel.

### **5.8.2 Gestion du programme HFE**

Pour le point 1, il est nécessaire d'élaborer un plan de programme HFE. Il convient que ce plan décrive l'ensemble des activités HFE à effectuer, en tenant compte des éléments suivants:

- objectifs et domaine d'application;
- équipes et organisation;
- processus, méthodologies, phases et résultats de la HFE;
- système de suivi des problèmes;
- programme technique;
- calendrier.

Outre un plan de mise en œuvre, un livrable de présélection (qui détermine le programme technique à suivre en cas de modifications de la conception) et un rapport de vision des paramètres ultimes peuvent être nécessaires, mais cela dépend du domaine d'application du projet.

### **5.8.3 Autres points HFE**

Pour tous les autres points HFE relatifs à un projet, il convient d'élaborer un plan de mise en œuvre en mettant l'accent sur:

- la méthodologie à suivre;
- le nombre de phases dans lesquelles est subdivisée l'activité;
- le nombre d'équipes/de personnels impliqués;
- les responsabilités de chaque équipe et de ses membres.

Le nombre de résultats livrables dépend essentiellement de l'activité à effectuer. *A minima*, il convient d'envisager un rapport récapitulatif des résultats qui résume:

- toutes les activités développées au sein de chaque élément de programme HFE, et le nombre de livrables;
- les évaluations conduites sur ces activités et les recommandations éventuelles sur la manière de procéder.

Enfin, il convient de planifier le processus de revue de ces livrables en fonction des principales phases du projet et de chaque phase de vérification et de validation.

## **6 Analyses qui fournissent des données d'entrée pour les interactions humaines**

### **6.1 Retour d'expérience opérationnelle (OER)**

Les retours d'expérience opérationnelle (OER) fournissent des informations opérationnelles sur les performances antérieures des conceptions précédentes et de référence, les leçons tirées des incidents et événements impliquant les types d'équipements, le retour d'expérience opérationnelle pertinent ou le retour d'expérience pour l'utilisation d'équipements similaires.

L'objectif de l'OER est d'identifier et d'analyser les problèmes liés à la HFE afin de s'assurer que les caractéristiques négatives sont évitées dans la mesure du possible, tout en conservant leurs caractéristiques positives.

L'expérience opérationnelle doit être analysée en consultant les bases de données relatives à l'industrie et en engageant des entretiens avec les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance, et tout autre personnel de la centrale assurant des tâches importantes pour la sûreté, concernant la configuration d'installation de référence la plus appropriée. L'OER doit tenir compte de la centrale complète.

L'expérience opérationnelle issue des installations nucléaires existantes et des applications industrielles comparables doit être recueillie, analysée et reflétée dans la conception des interactions humaines de l'installation, le cas échéant. Un tel retour d'expérience peut recommander l'utilisation ou l'optimisation de solutions éprouvées, voire influencer la prise en compte de principes dans certains domaines, notamment:

- personnel;
- organisation des équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance, et définition des postes;
- affectation des fonctions entre la salle de commande principale et les stations de commande locales;
- automatisation;
- exploitation;
- conception du traitement, de la présentation et du contrôle de l'information;
- environnements de travail.

Le retour d'expérience opérationnelle doit être effectué en tenant compte des éléments suivants:

- matériel interne documenté par le propriétaire des installations ou par une installation similaire, tirée d'une expérience opérationnelle réelle en lien avec l'équipement, l'installation et le personnel utilisés;
- expérience opérationnelle externe tenant compte des bases de données et montrant l'expérience tirée d'autres installations similaires;

- revue des événements nucléaires tenant compte des événements majeurs impliquant des erreurs humaines (Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima, par exemple) et des solutions techniques mises en œuvre;
- événements de l'industrie tenant compte d'une technologie, d'un principe de conduite ou d'un niveau d'événements d'automatisation similaire.

## 6.2 Analyse fonctionnelle et affectation des fonctions

### 6.2.1 Généralités

Une analyse des fonctions à exécuter par l'installation nucléaire pour atteindre les objectifs doit être réalisée. Les fonctions doivent ensuite être affectées à des personnes ou à des machines.

### 6.2.2 Analyse fonctionnelle

Il convient que l'analyse fonctionnelle identifie la hiérarchie des objectifs de conception des installations pour l'ensemble des conditions de fonctionnement et des conditions accidentelles. Dans le cas de NPP, les objectifs principaux doivent être la production d'énergie nucléaire et la limitation des rejets radioactifs. Il convient de décomposer ces objectifs en sous-objectifs et de les utiliser dans le processus décisionnel de conception.

Concernant la structure hiérarchisée des objectifs, il convient d'identifier et de documenter l'ensemble des fonctions de la centrale associées aux objectifs de conduite de la centrale. Une méthodologie d'identification de ces objectifs est donnée dans l'IEC 61839.

### 6.2.3 Affectation des fonctions

Une affectation des fonctions doit être réalisée pour déterminer quelles fonctions, avec leurs caractéristiques au premier niveau de détail, il convient d'affecter à l'homme et quelles fonctions il convient d'affecter aux systèmes automatisés. L'analyse fonctionnelle fournit les données d'entrée exigées pour le processus d'affectation des fonctions et les actions humaines constituent les données d'entrée de la TA.

Les principes et critères utilisés pour cette analyse doivent être documentés et doivent comprendre les facteurs traitant des capacités et des limites du personnel des installations et des systèmes de commandes automatiques.

Les fonctions suivantes sont affectées à l'homme:

- commandes manuelles (y compris les commandes de secours des automatismes);
- surveillance associée aux commandes manuelles et automatiques;
- tâches relevant d'une approche intellectuelle, comme les diagnostics pour déterminer les causes de fonctionnements et d'événements anormaux et imprévus et pour déterminer les actions correctives.

Les fonctions affectées aux machines sont celles assurées par les commandes automatiques. Dans le cas de l'affectation de fonctions importantes pour la sûreté à la machine, les points suivants doivent également être pris en compte:

- l'affectation de la surveillance de ces systèmes automatiques à l'homme (surveillance du bon fonctionnement et intervention en cas de dysfonctionnement);
- la fourniture de retours d'expérience reflétant les actions automatiques;
- l'autorisation d'interventions humaines en cas de défaillances.

Pour les NPP, voir l'IEC 61839 pour des exigences plus détaillées concernant le processus d'affectation des fonctions. Il convient que cette affectation produise les informations nécessaires à la conception des systèmes d'information et d'automatisation, et à l'organisation fonctionnelle des ressources/moyens pour réaliser chacune des fonctions ci-dessus.

#### 6.2.4 Vérification et réévaluation de l'affectation

L'acceptabilité de l'affectation des fonctions entre l'homme et la machine doit être vérifiée dans le cadre du processus de TA. Il doit être démontré que l'affectation suggérée des fonctions tire parti des capacités de l'homme et de la machine, sans imposer d'exigences pénalisantes à aucun.

Pour les NPP, voir l'IEC 61771 pour des exigences plus détaillées concernant la vérification de l'affectation des fonctions.

#### 6.2.5 Capacités du personnel

Pour les fonctions affectées aux opérateurs, il convient de distinguer les situations pour lesquelles ils:

- réalisent en pratique une fonction de commande;
- surveillent un système automatique qui réalise les fonctions de commande;
- suivent une approche intellectuelle, comme pour les diagnostics;
- ont besoin de consulter ou de travailler en étroite collaboration avec des collègues.

Concernant les fonctions potentiellement confiées à l'opérateur, les capacités de traitement exigées (charge de travail, exactitude, débit et temps) doivent être estimées pour chaque aspect relatif au traitement de l'information et aux actions de commande. Ces estimations doivent être utilisées pour l'affectation initiale des fonctions. Il convient de modifier ces estimations à la lueur des résultats de la vérification et de les utiliser pour réenvisager l'affectation des fonctions, mais également pour fournir une définition plus détaillée des capacités des opérateurs exigées.

NOTE L'analyse de la charge de travail peut être utilisée pour évaluer le niveau de charge des tâches humaines en comparant les demandes temporelles totales de tâches au temps disponible, qui est défini de manière déterministe par la conception de la centrale ou par l'analyse de sûreté/des contraintes (voir l'Article A.6 pour plus d'informations).

Il convient que les tâches que les opérateurs doivent exécuter pour accomplir leurs fonctions respectent les exigences relatives à l'affichage, au contrôle-commande et à la communication, et elles doivent en outre tenir compte des capacités humaines. Il convient que les définitions des tâches des opérateurs comprennent ces exigences d'affichage, de contrôle-commande et de communication.

Une approche équivalente à celle décrite peut être adoptée pour traiter les capacités du personnel de maintenance en tenant compte des éléments suivants:

- type de tâche (contrôle/remplacement des composants, essai et/ou étalonnage, par exemple);
- pression temporelle éventuelle associée à la mise en œuvre de la tâche;
- conséquences potentielles sur la sûreté en cas de mise en œuvre incorrecte de la tâche;
- nécessité ou non de réaligner le système avant et après la mise en œuvre de la tâche.

#### 6.2.6 Capacités de traitement du système d'I&C

Il convient que les capacités de traitement du système d'I&C alignent certains aspects comme la quantité, le temps de réponse et l'exactitude, ainsi que les exigences IHM sur les exigences HFE.



Pour réduire la probabilité d'erreurs humaines, il convient de concevoir les systèmes de contrôle-commande afin que ceux-ci maintiennent la centrale à l'intérieur de limites de sûreté, sans aucune action de l'opérateur, pendant une période spécifiée après l'apparition de certaines conditions de fonctionnement anormales et conditions d'accident de la centrale. Cette période doit être prise en compte au niveau des exigences fonctionnelles des systèmes de commandes automatiques. Il convient de tenir compte du niveau de retour d'information concernant ces actions automatiques qu'il est nécessaire de fournir à l'opérateur pour maintenir son appréciation de la situation.

### 6.3 Identification et traitement des tâches humaines importantes

#### 6.3.1 Généralités

L'équipe HFE doit identifier les tâches humaines importantes (IHT) et déterminer la manière dont les IHT sont traitées dans le cadre du programme HFE, en tenant compte des résultats de l'évaluation probabiliste des risques (PRA, *Probabilistic Risk Assessment*)/des analyses de la fiabilité humaine (AFH) et des analyses déterministes de sûreté, en accordant une attention particulière à l'installation à l'étude.

Les IHT à prendre en compte sont celles qui doivent être correctement exécutées par les opérateurs afin d'assurer la sûreté de la centrale, ainsi que celles qui constituent les tâches importantes les plus à risque du point de vue humain. Les IHT sont donc associées à une condition de centrale non sûre pour les raisons suivantes:

- les équipements ont un statut non souhaitable dans les tâches qui relèvent de la responsabilité des opérateurs;
- les tâches manuelles exigent de l'opérateur une compréhension approfondie des configurations de la centrale et des conséquences sur les tâches.

L'équipe HFE peut fournir un appui aux AFH:

- en réduisant le risque d'erreurs humaines par une exécution correcte du programme HFE et de la conception de l'IHM;
- en atténuant le risque d'erreurs humaines par un traitement théorique des entrées issues de l'EPS de l'installation;
- en réalisant des analyses qualitatives qui serviront d'éléments de preuve pour les analyses globales de la fiabilité humaine.

#### 6.3.2 Identification des tâches humaines importantes

Après les activités d'analyse fonctionnelle et d'affectation des fonctions, l'équipe HFE doit identifier les tâches humaines importantes qu'il est nécessaire de prendre en compte dans l'analyse des tâches à développer.

Une identification de ces IHT à un stade précoce permet d'effectuer l'analyse des tâches en tenant compte de ces tâches dès le début du processus.

Les sources d'informations doivent être les PRA/AFH de l'installation. En leur absence, les sources d'informations suivantes peuvent être utilisées:

- IHT identifiées dans la conception de centrale de référence;
- IHT qui peuvent être identifiées dans d'autres chapitres du rapport d'analyse de la sûreté (SAR) de l'installation, par exemple:
  - chapitre relatif à la gestion des accidents graves;
  - chapitre relatif aux I&C;
  - chapitre relatif à l'analyse déterministe de sûreté.



Les actions ci-dessus peuvent inclure des actions locales sensibles ou essentielles lorsque celles-ci dépendent d'une IHM. De telles actions peuvent impliquer:

- la charge de travail psychologique importante prévue;
- les opérations qui sont complexes ou qui sont exécutées sur des éléments sensibles;
- les interventions à risque ou qui peuvent avoir une incidence sur la sûreté.

### 6.3.3 Traitement des tâches humaines importantes

Le traitement des IHT doit décrire la manière dont ces tâches, avec leurs composantes IHM et I&C correspondantes, sont traitées après l'analyse fonctionnelle et l'affectation des fonctions, l'analyse des tâches, la conception des IHM, l'élaboration des procédures et le programme de formation, dans le but de:

- réduire le plus possible la probabilité d'une condition non sûre dans une installation;
- réduire le plus possible la probabilité d'une erreur humaine;
- faciliter la détection de conditions non sûres, ainsi que la détection et la récupération des erreurs;
- guider la conception des bâtiments, ainsi que l'implantation et la conception des équipements dans les bâtiments.

Le traitement des IHT identifiées doit être réalisé en tenant compte des éléments suivants:

- identifier les attributs des IHT et de leurs environnements de travail qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de l'évaluation des facteurs de performance qui contribuent à la fiabilité ou au risque d'une opération (niveau de formation, complexité des tâches, temps disponible, contenu des procédures, communication, fonctionnalités des IHM, etc.);
- accorder une attention particulière à la TA afin de fournir des données d'entrée à la conception. Les TA intégrées au processus HFE global doivent être utilisées pour sécuriser les performances des IHT et identifier les informations à l'appui pour l'exécution des IHT. La TA et l'optimisation de la conception ultérieure doivent être centrées sur la correction des IHT;
- conduire à des solutions de conception spécifiques fondées sur une approche globale qui tient compte de l'automatisation, de la conception des IHM, des procédures de conduite et de la formation des équipés de conduite. Si le risque n'est pas atténué de manière suffisante, une solution associée à la conception du système doit être mise en œuvre, qui entraînera une modification plus étendue de la tâche par exemple.

L'équipe HFE doit suivre le traitement des IHT tout au long du processus d'ingénierie. Il convient d'appliquer un tri hiérarchique sous forme de tableaux pour identifier correctement le risque d'erreurs humaines.

L'équipe V&V de la discipline HFE doit finalement valider les résultats du traitement des IHT. Par la suite, les résultats de l'activité V&V de la discipline HFE doivent être utilisés comme données d'entrée pour les analyses probabilistes et déterministes de sûreté.

### 6.3.4 Soutien aux analyses de la sûreté et de la fiabilité humaine

Le processus et le rôle de l'équipe HFE sont décrits en détail dans l'IEC 63260 et doivent être intégrés au processus HFE.

L'équipe HFE doit fournir des informations concernant les effets attendus des caractéristiques de la tâche et du lieu de travail sur les performances humaines, compte tenu des capacités et limites humaines. La première évaluation des interactions humaines visant à identifier et analyser l'ensemble des tâches humaines importantes doit essentiellement être réalisée dans le cadre de l'analyse fonctionnelle et de l'affectation des fonctions, et de l'analyse des tâches.

L'équipe HFE peut, à l'aide de ses connaissances, fournir un appui aux analyses probabilistes et déterministes de sûreté de la centrale, par exemple par des informations de chronologie, lors de la présélection des actions humaines.

La présélection doit tenir compte des éléments suivants au minimum:

- les différentes situations de l'installation (modes de fonctionnement);
- les différentes défaillances du système de conduite;
- la disponibilité d'un appui opérationnel pour la prévention et la détection des erreurs humaines (par action ou par omission);
- les procédures de formation et de conduite;
- le temps nécessaire pour effectuer des actions et pour reprendre les activités;
- la charge de travail;
- les exigences relatives au travail d'équipe.

## **6.4 Analyse des tâches (TA)**

### **6.4.1 Généralités**

L'objectif de la TA est d'identifier, de décrire et d'évaluer les tâches de l'opérateur qui sont impliquées dans l'exécution et/ou l'accomplissement des fonctions affectées à l'homme, y compris la surveillance des fonctions affectées à l'automatisation.

Une exigence de tâche couvre les besoins directs et indirects (c'est-à-dire de soutien) pour l'exécution des tâches, notamment les activités physiques et cognitives, la fréquence des tâches, la durée, la complexité, les exigences de communication, le travail d'équipe et les conditions d'environnement.

Il convient de prendre en compte les contrôles de sécurité prévus pour protéger les I&C dans certains de leurs aspects, par exemple les verrouillages, l'authentification et la protection par mot de passe, lors de l'analyse des tâches et de la conception des interfaces.

Plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour effectuer la TA. Il convient d'adopter l'approche suivante:

- a) définir le domaine d'application et les critères de présélection afin d'identifier les tâches principales;
- b) élaborer des descriptions de tâches afin d'analyser la manière dont les hommes interagissent pour accomplir les fonctions en général;
- c) décomposer les tâches en sous-tâches pour spécifier la relation de chaque tâche;
- d) mettre en œuvre une évaluation spécifique des exigences de sous-tâches en mettant l'accent sur les détails spécifiques de l'évaluation de la complexité des tâches, de l'affectation des tâches, de la durée et des fréquences des tâches, des demandes manuelles/cognitives, des besoins de communication, etc.;
- e) produire les sorties et la documentation.

Les résultats de la TA fournissent des données d'entrée importantes pour de nombreuses activités HFE, notamment:

- f) analyse des effectifs et des qualifications;
  - g) conception des IHM, des procédures et du programme de formation;
- et
- h) établissement des critères de vérification des moyens de soutien.

#### 6.4.2 Définition du domaine d'application et des critères de présélection

Une grande diversité de tâches sont impliquées dans la conduite de centrales nucléaires. La mise en œuvre d'une TA pour l'ensemble des sous-tâches est une approche peu pratique, voire contre-productive. Il est important de se concentrer sur les tâches principales qui induisent une limitation des performances humaines et une remise en question des opérations de sûreté. La première étape consiste donc à définir le domaine d'application et les critères de présélection afin d'identifier les tâches, en particulier les IHT, qui doivent être analysées.

Les autres tâches peuvent être traitées en appliquant les principes HFE généraux, car celles-ci présentent un faible risque d'interférences causées par les interactions humaines.

Il convient que le domaine d'application couvre l'ensemble des modes d'opération, d'essai et de maintenance de la centrale.

Il convient que les critères de présélection incluent:

- les tâches à analyser au cours de la TA à la lueur des résultats de l'OER (voir le 6.1);
- les fonctions et tâches affectées à l'homme dans le cadre de l'affectation des fonctions, y compris les hypothèses relatives à l'analyse de l'affectation des fonctions (événements hypothétiques dans la centrale, etc.);
- les IHT identifiées lors d'une analyse déterministe de sûreté, d'une analyse probabiliste de sûreté et d'une analyse de la fiabilité humaine, où un défaut d'exécution de ces tâches importantes serait interprété comme une préoccupation sur le plan de la sûreté;
- les tâches relatives aux performances humaines, telles que les demandes importantes et les tâches complexes;
- les tâches relatives à la commande de nouveaux systèmes de travail;
- les tâches relatives à la commande dégradée du système, y compris les solutions de secours en cas de défaillances de l'automatisation;
- les tâches relatives à la sûreté du personnel;
- les tâches relatives à la maintenance.

En cas de modification de la centrale, il convient d'adopter une méthode graduée en limitant le domaine d'application ou en adaptant les critères de présélection au domaine d'application des modifications et au domaine d'intérêt.

#### 6.4.3 Élaboration des descriptions de tâches

Les descriptions de tâches révèlent les interactions humaines et les brèves séquences/rerelations entre chaque tâche dans les performances fonctionnelles globales et/ou dans les processus de commande du système.

Une description de tâche peut commencer par des descriptions de niveau supérieur, établies à partir des informations et des ressources d'entrée disponibles.

Il convient de déterminer les TA ultérieures, comme cela est indiqué en 6.4.4 et en 6.4.5, pour d'autres évaluations, en fonction des besoins et du niveau de clarté des descriptions de tâches qui représentent les narrations des situations de travail.

Il convient de déterminer les besoins des descriptions de tâches afin d'atteindre l'objectif de la TA et d'identifier les exigences de tâches.

Une analyse par démonstration pratique/orale peut être mise en œuvre dans le cadre d'une étude heuristique au début de l'élaboration de la description de tâche en utilisant des informations de conception limitées.

Il convient de mettre en œuvre une analyse par démonstration pratique/orale auprès d'une équipe de conduite expérimentée (anciens opérateurs qui ont connu des types similaires d'opérations de centrales, par exemple). Il convient de considérer l'équipe de conduite assurant ces essais comme étant "représentatif" de ses homologues et il convient d'impliquer plusieurs opérateurs.

Des scénarios peuvent être créés à partir de séquences et de procédures de conduite préliminaires.

L'analyse par démonstration pratique/orale peut être mise en œuvre sous la forme d'une étude sur table au début de la phase de conception et peut continuer d'être mise en œuvre pour la conception détaillée et l'activité V&V de la discipline HFE sous la forme de vérifications des moyens de soutien à l'aide d'une maquette et d'un prototype de simulation, suivis de la phase de TA.

#### 6.4.4 Répartition des tâches

L'analyse de répartition des tâches vise à décomposer les fonctions et/ou tâches affectées à des personnes en sous-tâches et actions nécessaires pour accomplir les sous-tâches dans une structure hiérarchique, afin d'étudier les exigences de tâches qui sont impliquées dans un ensemble de fonctions et/ou d'objectifs.

NOTE La TA de répartition est également décrite en tant qu'analyse des tâches hiérarchiques (HTA).

L'objectif de l'affectation des fonctions est d'allouer les fonctions à des hommes ou à des machines en tenant compte des capacités humaines et des capacités des systèmes d'automatisation. Il convient à cet effet d'étudier un certain niveau d'exigences de tâches afin d'identifier les capacités et limites humaines dans la TA. Par conséquent, la répartition des tâches a pour objectif d'identifier et de définir en détail l'ensemble des actions nécessaires à l'exécution des fonctions, puis d'identifier les exigences de tâches dans le cadre de l'exécution des tâches.

L'objectif de la répartition des tâches est de définir les exigences de tâches, de manière à pouvoir obtenir un plus grand niveau de détail dans la définition de chaque action, les exigences de tâches et la relation entre les fonctions et les tâches associées.

L'examen des configurations de systèmes à partir des aspects relatifs aux interactions humaines et de l'analyse par démonstration pratique/orale contribue également à la répartition des tâches.

La répartition des tâches facilite le processus d'élaboration des descriptions de tâches. Toutefois, elle est insuffisante pour révéler les complexités, les fréquences, la durée, les activités cognitives, etc. Par conséquent, si des besoins d'évaluation supplémentaires sont identifiés, des méthodes de TA spécifiques seront alors choisies et mises en œuvre pour répondre à de tels besoins, comme cela est indiqué en 6.4.5.

#### 6.4.5 Identification des exigences de tâches spécifiques

Plusieurs méthodes permettent d'identifier les exigences de tâches en fonction des besoins et des difficultés spécifiques.

Il convient de prendre en compte les méthodes suivantes, le cas échéant:

- démonstration pratique/orale;
- analyse des tâches hiérarchiques;
- analyse des séquences de fonctionnement;
- analyse de la chronologie;
- analyse des tâches cognitives;

- analyse de la charge de travail.

Une description de chaque méthode d'analyse est fournie dans l'Annexe A.

Il convient de choisir une ou plusieurs combinaisons de méthodes d'analyse en fonction des besoins particuliers pour identifier les exigences de tâches. Il convient d'intégrer les résultats dans les descriptions de tâches.

#### 6.4.6 Sorties et documentation

Comme cela est décrit en 6.4.1, l'objectif de la TA est d'identifier, de décrire et d'évaluer les tâches qui sont impliquées dans l'exécution et/ou l'accomplissement des fonctions affectées à l'homme. Toutefois, les résultats de la TA apportent d'importants éclairages. Il convient donc de les convertir en informations utiles qui pourront être utilisées dans la conception ultérieure des interactions humaines (conception de l'IHM, élaboration de procédures et de programmes de formation).

Il convient que les sorties incluent les éléments suivants:

- informations, alarmes et contrôles-commandes à utiliser pour exécuter les tâches;
- emplacements pour l'exécution des tâches (c'est-à-dire, s'il est nécessaire d'exécuter soigneusement plusieurs tâches en observant le comportement global de la centrale, il convient de les affecter à la salle de commande principale);
- besoins en personnel (effectif et qualifications des équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance, besoins en communication si les tâches sont réalisées à différents emplacements, exigences relatives à la prise de décision (rôles et responsabilités, travail d'équipe, etc.);
- besoins en moyens de soutien (outils spéciaux, aides à la dotation en personnel, conditions d'environnement, etc.).

Il convient d'inclure dans la documentation le processus de mise en œuvre de la TA et ses résultats (c'est-à-dire, résultats de chaque tâche, descriptions de tâches et données de sortie pour l'analyse des effectifs, IHM, élaboration de procédures et programme de formation). Il convient d'utiliser également ces hypothèses et ces informations pour l'activité V&V de la discipline HFE, comme cela est expliqué en détail à l'Article 8.

### 6.5 Analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications

#### 6.5.1 Généralités

Afin d'établir les exigences de base pour la structure des équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance, les procédures de conduite et le programme de formation, le concepteur doit réaliser des analyses des effectifs, de l'organisation et des qualifications.

L'objectif de l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications est de définir:

- l'affectation des tâches humaines (les responsabilités opérationnelles ainsi que les tâches d'administration et de gestion) de manière significative et cohérente pour chaque membre de l'équipe de conduite dans l'ensemble des états de la centrale pris en compte lors de la conception;
- les niveaux d'effectifs nécessaires dans l'ensemble des états de la centrale pris en compte lors de la conception;
- la structure organisationnelle de l'équipe de conduite (interactions et communication entre les membres des opérateurs de la salle de commande et avec les opérateurs locaux à l'extérieur de la salle de commande, etc.) dans les états de la centrale pris en compte, ainsi que le nombre d'opérateurs;
- les connaissances et capacités exigées en fonction des rôles des différents membres de l'équipe de conduite.

La définition des niveaux d'effectifs et des qualifications évolue entre les phases d'étude conceptuelle (définition des effectifs initiaux et organisation prévue de l'équipe de conduite, par exemple), de conception de base et de conception détaillée, et la phase de mise en service réelle de l'installation nucléaire.

Il convient que l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications couvre l'ensemble du personnel de la centrale qui intervient dans l'exploitation et la maintenance de l'installation nucléaire, ainsi que dans toute réaction d'urgence.

Comme cela est indiqué au 5.1, le programme HFE met l'accent sur les activités de "conduite". Il convient donc d'accorder la priorité aux activités de "conduite", mais il convient également de tenir compte des activités de "réaction d'urgence" et de "maintenance" et de les traiter lors des phases ultérieures du processus de conception.

L'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications doit faire l'objet d'une revue en cas de modification de l'installation nucléaire.

L'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications est complémentaire à la TA; il convient de les réaliser de manière coordonnée au cours des différentes phases de conception.

Il convient que l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications guide la description des exigences de tâches pour l'exécution des tâches affectées au personnel de la centrale.

Il convient que l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications vienne à l'appui de l'examen consistant à vérifier que les éléments de dimensionnement humains ne dépassent pas les capacités humaines. Il convient que les tâches affectées aux membres de l'équipe de conduite n'impliquent pas une surcharge de travail et qu'elles soient cohérentes avec leurs responsabilités, comme cela est défini dans la structure de l'équipe de conduite.

Les effectifs, l'organisation et les qualifications du personnel doivent faire l'objet d'une évaluation V&V (voir l'Article 8). Pour les nouvelles constructions, la V&V doit être déjà réalisée pour les niveaux d'effectifs, la structure organisationnelle et les qualifications initiaux nécessaires pour les différents membres de l'équipe de conduite.

L'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications doit être utilisée comme donnée d'entrée pour l'élaboration des procédures.

Il convient de prendre en compte l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications pour spécifier les exigences relatives aux affichages, au traitement des données et aux contrôles-commandes nécessaires à l'exécution des tâches.

#### **6.5.2 Données d'entrée pour l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications**

Les analyses des effectifs, de l'organisation et des qualifications sont notamment soutenues par:

- le concept d'opérations dans les différents états de la centrale pris en compte dans la conception (conditions de fonctionnement normales/anormales, accidents de dimensionnement et conditions additionnelles de dimensionnement);
- le retour d'expérience opérationnelle (voir le 6.1);
- l'analyse des exigences fonctionnelles et l'affectation des fonctions (voir le 6.2);
- les résultats de la TA (voir le 6.4);
- les exigences réglementaires;
- le traitement des tâches humaines importantes (voir le 6.3.2) conformément à l'analyse de la fiabilité humaine (AFH), à l'étude probabiliste de sûreté (EPS) et aux analyses déterministes de sûreté.

Au cours des différentes phases de conception, ces données d'entrée guident les analyses des effectifs, de l'organisation et des qualifications afin d'établir les exigences en matière de compétences et de connaissances, ainsi que les missions des équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance et de chacun de leurs membres.

### **6.5.3 Méthodes utilisées pour l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications**

Différentes méthodes peuvent être appliquées en fonction de la phase de conception (étude conceptuelle, conception de base ou conception détaillée) et des informations disponibles, par exemple:

- OER, par exemple à partir:
  - de l'observation du poste réel et des entretiens avec les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance qui travaillent dans une installation nucléaire existante ou sur un système similaire à celui de la nouvelle construction envisagée;
  - de l'analyse des documents, comme une TA de la conception de référence ou de systèmes similaires;
- groupes de travail mis en place avec d'autres concepteurs pour expliquer les "tâches attendues" et les "rôles attendus";

NOTE En ce qui concerne l'implication des opérateurs et des autres membres de l'équipe à ces groupes de travail, il est pertinent que les mêmes personnes puissent apporter leur contribution tout au long du projet, à l'exclusion des processus de validation.

- tâches organisées en postes pertinents et IHM, procédures et formations destinées à faciliter l'exécution des tâches;
- TA effectuée pour définir les rôles, exigences et responsabilités (voir le 6.4).

Les bancs d'essai et les phases de V&V guident la validation et les adaptations nécessaires entre les définitions initiales et finales des effectifs, de l'organisation et des qualifications.

## **7 Conception des centres de commande, des points de commande locaux (LCP), des interfaces homme-machine (IHM), des procédures et des programmes de formation**

### **7.1 Généralités**

La conception des centres de commande, des LCP, des IHM, des procédures de conduite et des programmes de formation des équipes doit inclure une étude systématique des facteurs humains à l'échelle des salles de commande, des zones de travail et des IHM situées dans l'ensemble de la centrale. Il convient que les centres de commande, les LCP, les IHM, les procédures, les effectifs et la formation contribuent ensemble à l'exécution des tâches du personnel et au maintien de la connaissance de l'état de la centrale.

L'objectif de la HFE dans la conception des centres de commande, des LCP, des IHM, des procédures de conduite et des programmes de formation est de s'assurer que les locaux et les IHM développés:

- aident les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance dans l'exécution de leurs responsabilités et dans la réalisation de leurs tâches individuelles et collectives;
- limitent la probabilité et les effets des erreurs de conduite sur la sûreté et les opérations de la centrale;
- fournissent aux équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance des informations univoques et cohérentes, dans le respect des délais de décision et d'action nécessaires;



- fournissent aux équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance des lieux de travail cognitifs et physiquement ergonomiques, ainsi qu'un environnement de travail sûr et confortable;
- suivent des principes de conception cohérents qui tiennent compte des caractéristiques cognitives, physiologiques et psychologiques humaines.

L'Annexe B fournit des informations plus détaillées sur les objectifs des centres de commande et des IHM.

La conception des centres de commande, des LCP, des IHM et des procédures doit utiliser une méthodologie structurée qui guide les concepteurs de plusieurs disciplines d'ingénierie dans la prise de décisions de conception uniformes. Il convient de définir et de documenter les conventions spécifiques à la conception afin de promouvoir un format et une fonctionnalité homogènes, quel que soit le concepteur ou le système utilisé.

Il convient que l'équipe HFE fournisse un appui à la conception et procède à des revues aux étapes de conception appropriées afin de tirer parti de la HFE.

Ce "travail de conception" peut impliquer des éléments architecturaux pour lesquels il est exigé d'apporter d'importantes modifications aux bâtiments qui abritent les salles de commande existantes.

## **7.2 Conception des centres de commande, des LCP et des IHM**

### **7.2.1 Généralités**

Le processus de conception commence par les informations définies lors de la phase de planification et d'analyse, c'est-à-dire la vision des paramètres ultimes et les analyses HFE. Il convient d'identifier, d'harmoniser et d'établir les exigences pour atteindre les objectifs de sûreté et les objectifs opérationnels de la centrale, ainsi que l'architecture d'I&C globale et la vision globale des paramètres ultimes. Il convient ensuite de mettre en œuvre l'étude conceptuelle en s'appuyant sur les exigences établies et sur les recommandations HFE.

Le rôle de la HFE dans le processus de conception des centres de commande, des LCP et des IHM vise à s'assurer que:

- les centres de commande, les LCP et les IHM suivent les concepts, les lignes directrices HFE et les exigences ergonomiques;
- les leçons tirées du retour d'expérience opérationnelle HFE sont prises en compte dans la conception des centres de commande, des LCP et des IHM;
- les exigences issues des analyses de tâches sont mises en œuvre dans les IHM et les zones de travail;
- les procédures, les IHM et l'affectation de personnel pour chaque tâche sont mutuellement compatibles de manière à permettre une exécution sûre et efficace de la tâche.

Il convient d'utiliser ou d'élaborer les recommandations de conception pour les besoins de conception ultérieurs. Il convient de définir l'étendue et la profondeur des recommandations en fonction du domaine d'application de la conception.

La conception détaillée des centres de commande, des IHM, des systèmes de soutien, des procédures, des effectifs et des formations peut être réalisée à l'issue de l'étude conceptuelle. Il convient d'effectuer la conception conformément au programme HFE et aux recommandations de conception qui définissent les principes de conception détaillés.



Pour réduire la probabilité d'erreurs, l'interaction avec les dispositifs de sécurité doit être prise en compte pour l'ensemble des activités de l'opérateur, et les interactions doivent être proportionnelles aux contraintes de la tâche. Il convient d'accorder une attention particulière aux conditions de fonctionnement anormales et aux conditions d'accident. Il convient de refléter ces exigences dans la spécification technique du système d'I&C.

À des moments appropriés au cours du processus de conception, il convient d'effectuer différents types d'essais et d'évaluations afin de recueillir les retours d'expérience des utilisateurs et des autres acteurs, de résoudre les options de conception ou d'évaluer les performances avec les nouvelles IHM et/ou les nouveaux centres de commande. Il convient de mettre à jour les recommandations de conception en conséquence.

Les centres de commande, les LCP et les IHM sont développés conformément à l'IEC 60964, l'IEC 60965, l'IEC 62241, l'IEC 61227, l'IEC 61772, l'IEC 62954 et l'ISO 11064, selon le cas.

## **7.2.2 Données d'entrée HFE pour la conception des centres de commande et des IHM**

Afin d'identifier les exigences HFE pour la conception des centres de commande et des IHM, il convient d'utiliser les concepts et analyses suivants comme données d'entrée:

- vision des paramètres ultimes (voir le 5.7), y compris les principes de conduite et les concepts de centralisation, d'automatisation, d'alarme et de sécurité;
- les retours d'expérience opérationnelle (OER) (voir le 6.1);
- l'analyse fonctionnelle et l'affectation des fonctions (voir le 6.2);
- le traitement des tâches humaines importantes (voir le 6.3.3);
- l'analyse des tâches (TA) (voir le 6.4);
- l'analyse des effectifs, de l'organisation et des qualifications (voir le 6.5);
- les recommandations HFE (voir le 7.3).

## **7.3 Recommandations pour la conception des centres de commande, des LCP et des IHM**

### **7.3.1 Généralités**

Il convient d'élaborer les lignes directrices applicables à la conception des centres de commande, des LCP et des IHM afin d'assurer l'uniformité des conceptions dans l'ensemble des locaux, des fonctions et des différentes IHM dans les centres de commande et les LCP. Il convient de définir et de documenter les conventions spécifiques à la conception dans les recommandations HFE, par exemple dans les guides de style. Un guide de style est un document qui définit les conventions spécifiques à la conception qui seront utilisées dans la conception de l'IHM. Il convient que les recommandations HFE incluent une référence à la source sur laquelle elles s'appuient et qu'elles spécifient la manière dont les recommandations HFE seront mises en œuvre dans le processus de conception global.

L'élaboration des recommandations HFE peut être évolutive. Il est recommandé que des recommandations préliminaires ou des recommandations de haut niveau spécifiques à la centrale soient disponibles avant de choisir le vendeur du système d'I&C et de la salle de commande (CR). Il convient d'élaborer le ou les guides de style détaillés relatifs au projet ou les recommandations HFE après l'établissement des principes techniques des IHM et des caractéristiques des systèmes CR. Il convient que le guide de style spécifique au projet contienne les exigences relatives à la HFE, qui couvrent l'ensemble des aspects HFE de la conception de la CR, par exemple dans la salle de commande principale, la salle de commande supplémentaire, les moyens de réaction d'urgence et les stations de commande locales. Il convient de tenir à jour ce guide sous une forme exploitable par les concepteurs. Il convient également de l'utiliser ou de la référencer dans la vérification de la conception des IHM.

### 7.3.2 Recommandations HFE spécifiques à la centrale

Il convient que le guide de style ou les recommandations HFE spécifiques à la centrale incluent un ensemble de recommandations concernant les exigences HFE spécifiques à la centrale, c'est-à-dire les règles de dénomination, les couleurs préférentielles, les principes d'alarme, les concepts d'interaction et le comportement des interfaces. L'objectif est de maintenir une cohérence entre l'ensemble des IHM présentes dans la centrale et entre les différentes évolutions technologiques des centres de commande et des IHM. Il convient de préserver autant que possible une similitude des modes de présentation et de conduite satisfaisants et généralement acceptés avec les systèmes déjà mis en œuvre.

NOTE Les bonnes pratiques consistent à inclure le guide de style ou les recommandations HFE spécifiques à la centrale dans la documentation de réponse à l'appel d'offres.

### 7.3.3 Recommandations HFE spécifiques au projet

Il convient que le guide de style ou les recommandations HFE spécifiques au projet définissent avec précision les décisions et les caractéristiques de conception détaillée des centres de commande et des IHM. Il convient de prendre en compte les recommandations HFE spécifiques à la centrale comme des données d'entrée pour les recommandations HFE spécifiques au projet.

Les données d'entrée suivantes doivent être prises en compte dans l'élaboration détaillée du guide de style ou des recommandations HFE:

- guide de style ou recommandations HFE spécifiques à la centrale;
- vision des paramètres ultimes (voir le 5.7), y compris les principes de conduite et les concepts de centralisation, d'automatisation, d'alarme et de sécurité;
- informations relatives aux fonctions essentielles pour la sûreté (identification des éléments d'IHM du système qui ont des fonctions essentielles pour la sûreté);
- caractéristiques du ou des systèmes d'I&C et de CR choisis;
- contraintes déterminées par le ou les systèmes d'I&C et de CR choisis;
- solutions et conventions de conception existantes déjà utilisées dans la centrale;
- normes/lignes directrices de l'industrie.

Il convient d'appliquer les recommandations HFE spécifiques au projet pour assurer la vérification de la conception (voir le 8.3.2) afin de vérifier la conformité de l'IHM conçue.

### 7.3.4 Recommandations pour la conception des centres de commande

Les centres de commande peuvent être une combinaison de plusieurs salles de commande (comme une salle de commande principale, une salle de commande supplémentaire, une installation de réaction d'urgence), de stations de commande locales et de locaux de soutien. Il convient d'élaborer des recommandations pour la conception des centres de commande afin d'assurer l'uniformité des conceptions dans l'ensemble des locaux. Les recommandations HFE doivent fournir une documentation d'instruction à suivre par l'ensemble des disciplines participant à la conception du centre de commande.

Les recommandations relatives à la conception des centres de commande reposent sur l'IEC 60964, l'IEC 60965, l'IEC 62954, l'ISO 11064-1, l'ISO 11064-4, l'ISO 11064-6, et l'ISO 11064-7, selon le centre de commande cible.

Le contenu à prendre en compte dans le développement des recommandations HFE pour les centres de commande inclut les recommandations et exigences suivantes concernant:

- planification des recommandations HFE;
  - définition du domaine d'application et de l'applicabilité;
- exigences de conception des annexes à la salle de commande et de l'agencement des salles, et exigences d'environnement;
  - aménagement des zones de travail, y compris les installations électriques et les installations d'I&C;
  - palettes de couleurs utilisées à l'intérieur;
  - matériaux;
  - plans d'éclairage;
  - aspects environnementaux;
- conception de l'agencement des postes de travail;
  - aspects environnementaux et anthropométriques;
  - préférences en matière de mobilier;
  - dispositions des IHM.

### **7.3.5 Recommandations pour la conception des points de commande locaux (LCP)**

Les LCP sont des composants séparés exploités localement et situés à l'extérieur des centres de commande. Les LCP incluent, par exemple, des panneaux de commande locaux, des dispositifs de manutention du combustible, des points de connexion, du matériel de traitement, des commutateurs, des terminaux, etc. Il convient que la conception des IHM des LCP soit cohérente avec la conception globale des IHM de l'installation nucléaire.

Il convient que les recommandations relatives à la conception des LCP définissent les règles fondamentales concernant l'emplacement du matériel qui doit être utilisé par les êtres humains, ainsi que les règles relatives aux interactions humaines locales et à l'ergonomie.

Le contenu à prendre en compte dans l'élaboration des recommandations HFE pour les LCP comprend:

- une définition du domaine d'application et de l'applicabilité;
- les conventions de codage et les principes d'affichage des informations;
- les règles de dénomination;
- les couleurs préférentielles;
- les concepts d'interaction;
- les contrôles-commandes;
- la présentation des alarmes;
- les aspects relatifs à la sûreté au travail;
- les aspects anthropométriques;
- l'accessibilité;
- les questions d'environnement, comme l'éclairage et l'acoustique.

### **7.3.6 Recommandations pour la conception des interfaces homme-machine (IHM)**

L'objectif de la conception des IHM est de fournir au personnel des solutions cohérentes qui respectent les conventions et pratiques de conduite communes et qui prennent en compte les tâches des utilisateurs ainsi que leurs caractéristiques, capacités et besoins.

Les recommandations relatives à la conception des IHM fournissent des informations aux concepteurs pour les aider à identifier et choisir les IHM, définir la conception détaillée, intégrer les IHM nouvelles et existantes, intégrer les IHM câblées classiques et sur écran, et intégrer les IHM dans différentes salles de commande et dans différents lieux de manière à respecter les principes HFE.

Les recommandations relatives à la conception des IHM reposent sur l'IEC 60964, l'IEC 60965, l'IEC 62241, l'IEC 61227, l'IEC 61772, l'IEC 62954 et l'ISO 11064-5, selon les lieux et les IHM cibles.

Le contenu à prendre en compte dans l'élaboration d'un guide de style détaillé pour les IHM comprend:

- la définition du domaine d'application et de l'applicabilité, y compris les IHM des salles de commande, des systèmes électriques, des systèmes d'I&C et des systèmes de soutien, par exemple;
- les dispositions d'affichage;
- les agencements d'affichage (modèles de structure générale);
- les fonctions et fonctionnalités de navigation;
- les conventions de codage et les principes d'affichage des informations;
- les règles de dénomination;
- les couleurs préférentielles;
- les concepts d'interaction;
- les contrôles-commandes logiciels;
- la présentation du système d'alarme;
- les règles relatives à la génération et à la hiérarchisation des alarmes;
- les règles relatives au journal des événements;
- les aspects anthropométriques.

## **7.4 Élaboration des procédures**

### **7.4.1 Généralités**

Le rôle de l'équipe HFE pour l'élaboration des procédures de conduite, de maintenance et de réaction d'urgence est de fournir des données d'entrée aux concepteurs de procédures (voir l'Article 6) et de soumettre à l'essai les procédures, ainsi que d'autres aspects de la conception (IHM, agencement de la MCR, etc.) afin de s'assurer qu'ils remplissent leur rôle (voir l'Article 8).

Les procédures doivent soutenir et guider les interactions du personnel avec les systèmes de la centrale, ainsi que leur réponse aux événements liés à la centrale.

Les procédures doivent aider l'équipe de conduite dans les tâches de surveillance et de détection, d'évaluation de la situation, de planification des réponses et de mise en œuvre des réponses.

Les procédures doivent être élaborées selon les mêmes principes de conception que les IHM et la formation. Cela permet d'obtenir une conception bien intégrée avec un degré de cohérence élevé.

Les procédures doivent être établies en fonction des missions et des tâches définies pour l'équipe de conduite dans tous les états de la centrale pris en compte dans la conception, ainsi que dans les situations extrêmes, également pour le personnel de réaction d'urgence.

Les procédures doivent être élaborées selon un cadre conceptuel, par exemple le recours à des procédures de conduite d'urgence fondées sur les symptômes ou sur les événements, ou une combinaison des deux. Le cadre peut être différent entre les membres de l'équipe de conduite et l'équipe de réaction d'urgence, car les exigences de tâches sont différentes. Les principes de conception HFE doivent être appliqués à tous les types de procédures, c'est-à-dire les procédures papier (énoncés de procédure faciles à comprendre, par exemple) et les procédures informatisées (énoncés de procédure faciles à comprendre, navigation aisée sur les affichages, par exemple).

Les procédures doivent aider le personnel de maintenance dans ses activités de routine et de panne d'installations nucléaires, y compris pendant les arrêts.

#### **7.4.2 Procédures papier et procédures informatisées (PI)**

Lors de la mise en œuvre de nouvelles procédures informatisées, il doit être tenu compte de la manière dont celles-ci seront introduites afin d'assurer une fonctionnalité et une cohérence adéquates avec les attentes et l'expérience de l'équipe de conduite.

NOTE Le présent document prend pour hypothèse la prise en compte simultanée des exigences de l'IEC 62646:2016, qui fournit des recommandations pour l'élaboration de PI destinées à l'équipe de conduite.

Il convient de procéder à une analyse afin de déterminer l'incidence de la fourniture des PI et de spécifier les domaines dans lesquels une telle approche améliorerait l'utilisation des procédures et réduirait l'erreur humaine liée à l'utilisation des procédures.

L'utilisation préférentielle de PI en lieu et place des procédures papier doit être analysée et argumentée. Une analyse des solutions de remplacement en cas de perte de PI doit être réalisée et documentée.

Il convient d'envisager une option de procédure papier pour faire face à des situations extrêmes telles que la perte de systèmes d'I&C ou d'IHM informatisés, les accidents graves et les cyberattaques.

#### **7.4.3 Guide destiné aux rédacteurs de procédures**

Un guide doit être élaboré par des experts des facteurs humains et par des concepteurs de procédures afin d'établir le processus et de définir les règles et exigences de conception pour l'élaboration des procédures (papier ou informatisées) complètes, exactes et facilement exploitables par les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance.

Il convient que le guide établisse des critères afin que les procédures élaborées conformément à celui-ci soient cohérentes sur le plan de l'organisation, du style, du contenu et du format, y compris la rédaction des étapes d'action et la spécification des listes d'acronymes et des termes acceptables à utiliser.

Il convient que le guide établisse des critères afin que les procédures élaborées conformément à celui-ci soient utiles, faciles à comprendre et faciles à suivre par les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance.

Il convient que le guide décrive les moyens physiques utilisés par les équipes de conduite, de réaction d'urgence et de maintenance pour accéder aux procédures et pour les utiliser, en particulier lors d'événements opérationnels.

Il convient que le guide établisse des critères qui tiennent compte des différents contextes d'utilisation des procédures papier et des PI.