

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1771**

Première édition
First edition
1995-12

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

**Nuclear power plants –
Main control-room –
Verification and validation of design**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1771: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraires

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraires et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraires à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1771**

Première édition
First edition
1995-12

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

**Nuclear power plants –
Main control-room –
Verification and validation of design**

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

| | Pages |
|---|-------|
| AVANT-PROPOS..... | 4 |
| Articles | |
| 1 Domaine d'application et objet..... | 6 |
| 2 Références normatives | 6 |
| 3 Définitions | 8 |
| 4 Vérification et validation d'une nouvelle conception de salle de commande | 10 |
| 4.1 Processus de conception d'ensemble | 10 |
| 4.2 Activités de V&V | 10 |
| 4.3 Vérification de l'affectation des fonctions | 14 |
| 4.4 Validation de l'affectation des fonctions | 20 |
| 4.5 Vérification du système intégré de salle de commande | 24 |
| 4.6 Validation du système intégré de salle de commande | 30 |
| 5 Vérification et validation des conceptions évolutionnaires et des rénovations | 50 |
| 5.1 Généralités | 50 |
| 5.2 Vérification de l'affectation des fonctions | 52 |
| 5.3 Validation de l'affectation des fonctions | 54 |
| 5.4 Vérification du système intégré de salle de commande | 54 |
| 5.5 Validation du système intégré de salle de commande | 54 |
| Annexes | |
| A Exemple d'approches pour évaluer les performances fonctionnelles | 58 |
| B Supports d'évaluation..... | 62 |
| C Aspects cognitifs..... | 66 |
| D Méthode d'évaluation typique | 74 |

CONTENTS

| | Page |
|---|------|
| FOREWORD..... | 5 |
| Clause | |
| 1 Scope and object | 7 |
| 2 Normative references..... | 7 |
| 3 Definitions..... | 9 |
| 4 Verification and validation of a new control-room design | 11 |
| 4.1 Overall design process..... | 11 |
| 4.2 V&V activities..... | 11 |
| 4.3 Verification of the function assignment..... | 15 |
| 4.4 Validation of the function assignment..... | 21 |
| 4.5 Verification of the integrated control-room system..... | 25 |
| 4.6 Validation of the integrated control-room | 31 |
| 5 Verification and validation of evolutionary designs and backfits..... | 51 |
| 5.1 General..... | 51 |
| 5.2 Verification of the function assignment..... | 53 |
| 5.3 Validation of the function assignment..... | 55 |
| 5.4 Verification of the integrated control-room system..... | 55 |
| 5.5 Validation of the integrated control-room system..... | 55 |
| Annexes | |
| A Example of approaches for evaluating function performance..... | 59 |
| B Evaluation aids | 63 |
| C Cognitive aspects..... | 67 |
| D Typical evaluation method..... | 75 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – SALLE DE COMMANDE PRINCIPALE – VÉRIFICATION ET VALIDATION DE LA CONCEPTION

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la norme nationale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 1771 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

La présente norme sert de norme complémentaire à la CEI 964. Elle répertorie les exigences spécifiques à la vérification et à la validation mentionnées en 3.3, en 3.4 et à l'article 5 de la CEI 964; elle remplace donc les recommandations données en A.3.3 de la CEI 964.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 45A/205/FDIS | 45A/212/RVD |

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

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –
MAIN CONTROL-ROOM –
VERIFICATION AND VALIDATION OF DESIGN**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 1771 has been prepared by sub-committee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This standard serves as a supplementary standard to IEC 964. It gives specific requirements for the performance of verification and validation given in 3.3, 3.4 and clause 5 of IEC 964 and therefore supersedes the guidance given in A.3.3 of IEC 964.

The text of this standard is based on the following documents:

| | |
|--------------|------------------|
| FDIS | Report on voting |
| 45A/205/FDIS | 45A/212/RVD |

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

Annexes A, B, C, and D are for information only.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – SALLE DE COMMANDE PRINCIPALE – VÉRIFICATION ET VALIDATION DE LA CONCEPTION

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale définit les procédures de vérification et de validation (V&V) applicables à la conception du système de la salle de commande dans les centrales nucléaires et répertorie les critères de vérification et de validation concernant l'affectation des fonctions et le système intégré de salle de commande.

Elle décrit comment faire la revue et évaluer l'espace de travail, l'instrumentation, les commandes et tous les autres équipements de la salle de commande sur un plan ergonomique en tenant compte à la fois des exigences des systèmes et des aptitudes de l'opérateur. Par ailleurs, elle permet également d'identifier, d'analyser et de mettre en oeuvre les modifications de conception de la salle de commande visant à corriger tout élément non approprié ou inadapté.

Il est prévu que la norme s'applique à la nouvelle conception de la salle de commande principale des centrales nucléaires ou à des rénovations (renouvellement et modification de la conception) apportées à une salle de commande existante. Dans ce dernier cas, il convient d'identifier les zones affectées. Il convient d'appliquer cette norme à de telles zones et à leur intégration dans l'ensemble de la salle de commande, en tenant compte des exigences données à l'article 4 et en fonction des spécifications de l'article 5.

Cette norme peut être aussi appliquée à la conception d'autres zones de commande de la centrale nucléaire. Pour la V&V du système intégré d'interface homme-machine, il est recommandé que d'autres interfaces comme le panneau de repli et les panneaux locaux importants pour la sûreté soient traités simultanément avec la salle de commande principale.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision, et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 73: 1991, *Codage des dispositifs indicateurs et des organes de commande par couleurs et moyens supplémentaires*

CEI 447: 1993, *Interface homme-machine (IHM) – Principes de manoeuvre*

CEI 964: 1989, *Conception des salles de commande des centrales nucléaires de puissance*

CEI 1226: 1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Classification*

NUCLEAR POWER PLANTS – MAIN CONTROL-ROOM – VERIFICATION AND VALIDATION OF DESIGN

1 Scope and object

This International Standard specifies verification and validation (V&V) procedures for the design of the control-room system of nuclear power plants and gives verification and validation criteria for the assignment of functions and for the integrated control-room system.

It describes how to review and evaluate the control-room workspace, instrumentation, controls, and other equipment from a human factor engineering point of view that takes into account both system demands and operator capabilities. In addition, control-room design modifications that correct inadequate or unsuitable items, are to be identified, assessed, and implemented.

This standard is intended for application to new designs of the main control-room of nuclear power plants or to backfits (design renewal and design modifications) to an existing control-room design. In the latter case, attention should be given to identifying the areas affected. The standard should be applied to those areas and to their integration into the whole control-room, taking into account the requirements given in clause 4 and according to the specifications of clause 5.

This standard can also be applied to the design of other control areas in the nuclear power plant. For the V&V of the integrated man-machine interface system, it is recommended that other interfaces such as the remote shut-down station and the safety-related local panels be addressed simultaneously with the main control-room.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 73: 1991, *Coding of indicating devices and actuators by colours and supplementary means*

IEC 447: 1993, *Man-machine interface (MMI) – Actuating principles*

IEC 964: 1989, *Design for control-rooms of nuclear power plants*

IEC 1226: 1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Classification*

CEI 1227: 1993, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*

CEI 1772: 1995, *Centrales nucléaires de puissance – Salle de commande principale – Application des unités de visualisation*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D3: 1981, *Système de protection et dispositifs associés dans les centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D8: 1985, *Systèmes d'instrumentation et de commande liés à la sûreté dans les centrales nucléaires*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions des termes et les abréviations de la CEI 964 s'appliquent, excepté pour les suivantes:

3.1 conception courante: Etat d'une centrale de puissance dans lequel la conception et la construction ont commencé.

Cette norme est appliquée avec discernement pour les exceptions faites dues à l'état d'avancement ou d'autres contraintes.

3.2 nouvelle conception: Conception et construction d'une centrale entièrement nouvelle.

Cette norme s'applique intégralement.

3.3 modifications de conception: Toute modification pouvant aller du changement d'un seul instrument, en passant par une conception évolutive, jusqu'à la réplique, quand c'est possible, d'une centrale déjà existante.

Cette norme est appliquée d'une façon appropriée aux modifications de conception considérées.

Dans le cas d'une réplique, une revue est effectuée pour identifier les améliorations notables et justifier toutes les différences majeures.

3.4 renouvellement de la conception: Conception d'une salle de commande ou d'une zone totalement nouvelle, dans une centrale déjà existante.

Cette norme s'applique intégralement.

3.5 équipe d'évaluation: Equipe pluridisciplinaire chargée du processus de revue d'évaluation.

3.6 affectation de fonction: Répartition des fonctions parmi les constituants humains et automatisés d'un système.

3.7 discordance d'ergonomie: Déviation par rapport à un critère, tel qu'une norme ou une pratique ergonomique conventionnelle, une préférence d'opérateur (ou un besoin), ou encore d'un instrument (ou équipement) dont la caractéristique est nécessaire, de manière implicite ou explicite pour l'exécution d'une tâche de l'opérateur.

IEC 1227: 1993, *Nuclear power plants – Control-rooms – Operator controls*

IEC 1772: 1995, *Nuclear power plants – Main control-room – Application of Visual Display Unit (VDU)*

IAEA Safety guide 50-SG-D3: 1980, *Protection systems and related features in nuclear power plants*

IAEA Safety guide 50-SG-D8: 1984, *Safety-related instrumentation and control systems for nuclear power plants*

3 Definitions

For the purpose of this International Standard the terms and abbreviations used in IEC 964 apply, except for the following:

3.1 current design: State in which the design and construction of a new power plant has commenced.

This standard is applied with due judgement for exceptions made due to the state of progress or other constraints.

3.2 new design: Design and construction of a totally new power plant.

This standard is applied fully.

3.3 design modification: All modifications varying from the change of a single instrument, through evolutionary design, to replicating, where possible, an existing power plant.

This standard is applied in a manner appropriate to the design modification being considered.

In the case of replication, a review is held to identify significant improvements and to justify any major differences.

3.4 design renewal: Design of a totally new control-room or control area in an existing power plant.

This standard is applied fully.

3.5 evaluation team: Interdisciplinary team in charge of the evaluation review process.

3.6 function assignment: Distribution of functions among the human and automated constituents of a system.

3.7 human engineering discrepancy: Deviation from some criterion such as a standard or convention of human engineering practice, an operator preference (or need), or an instrument (or equipment) characteristic implicitly or explicitly required for an operator task.

3.8 erreur humaine (d'un opérateur): Omission d'une tâche ou exécution non appropriée, incomplète ou dépassant les limites admissibles, d'une tâche humaine pour laquelle des critères de performance sont spécifiés, qui n'est pas causée par un manque de présentation d'informations et de possibilités de commandes adéquates.

3.9 processus de revue: Processus qui permet de vérifier la façon dont les moyens de la salle de commande (informations, commandes, etc.) permettent aux opérateurs d'accomplir leur tâche, c'est-à-dire d'atteindre leurs buts fonctionnels.

3.10 charge de travail opérateur: Ensemble des aptitudes professionnelles demandées à l'opérateur dans un temps donné. Les actions requises peuvent être physiques, cognitives, perceptibles sensoriellement, verbales, concrètes ou symboliques, ou encore une combinaison de celles-ci.

4 Vérification et validation d'une nouvelle conception de salle de commande

4.1 *Processus de conception d'ensemble*

Conformément à la CEI 964, la conception de la salle de commande des centrales nucléaires comprend deux étapes principales, la conception fonctionnelle et la conception détaillée:

- la conception fonctionnelle (article 3 de la CEI 964) définit les fonctions devant être attribuées à l'homme ou à la machine. C'est un processus à multiples étapes. Les quatre principales étapes sont l'analyse fonctionnelle (pour définir toutes les fonctions nécessaires pour conduire une centrale), l'affectation des fonctions à l'homme ou à la machine, la vérification et enfin la validation de l'affectation des fonctions.

Pendant le développement de la conception d'une nouvelle salle de commande, il convient que des analyses soient menées dans un effort d'optimisation de l'affectation des fonctions et des tâches qui mettent en oeuvre les fonctions.

- la conception détaillée (article 4 de la CEI 964) qui définit la configuration, l'environnement et les spécifications fonctionnelles de la salle de commande. C'est un processus à multiples étapes qui définit les spécifications fonctionnelles de la salle de commande, les spécifications fonctionnelles des procédures, de la formation du personnel et la documentation de la conception de la salle de commande. Elle se termine par la vérification et enfin la validation du système intégré de salle de commande.

4.2 *Activités de V&V*

Le résultat de chacune des deux phases de la conception d'ensemble est vérifié par des activités de V&V. Le but de ces activités est d'évaluer l'adéquation des interfaces entre l'opérateur et la centrale telles que trouvées dans la salle de commande.

Il n'est pas de la responsabilité de l'équipe de V&V de reconcevoir la salle de commande.

Dans ce contexte, la V&V est comprise comme ceci (CEI 964):

- la vérification est définie comme le processus qui détermine si les composants respectent les exigences spécifiées. Dans ce contexte, elle implique une série de contrôles analytiques de l'instrumentation, des commandes, des afficheurs et de tous les autres équipements, basés sur des critères techniques spécifiques et d'ingénierie des facteurs humains, et des objectifs fonctionnels et de conduite;
- la validation, qu'il convient de conduire après avoir terminé la vérification, est généralement définie comme le test et l'évaluation pour déterminer si la solution à un problème est en accord avec les exigences fonctionnelles, de performance et d'interface. Il s'agit plus précisément du processus permettant de définir si la conception physique et organisationnelle de la conduite est adaptée aux performances réelles intégrées des fonctions de l'équipe de conduite de la salle de commande.

3.8 human error (of operator): Omission of a task, or improper, incomplete or out of tolerance performance of a human task in which performance criteria are specified, not caused by lack of adequate information presentation and control capabilities.

3.9 review process: Process of verifying the way that the control-room facilities (information, controls, etc.) enable the operators to carry out their task of achieving their functional goals.

3.10 operator workload: Aggregate of occupational demands placed on the operator in a given time. The actions required may be physical, cognitive, sensory-perceptual, verbal, concrete or symbolic or some combination of these.

4 Verification and validation of a new control-room design

4.1 Overall design process

As explained in IEC 964, the design of the control-room of nuclear power plants comprises two main phases, the functional design and the detailed design:

- the functional design (clause 3 of IEC 964) defines the functions to be assigned to the man or to the machine. It is a multiple-step process. The four main steps are function analysis (to define all the functions required to operate the plant), function assignment to the man or the machine, verification and then validation of the function assignment.

In the development of a new control-room design, analysis should be performed in an effort to optimize the assignment of functions and the tasks that implement the functions.

- the detailed design (clause 4 of IEC 964) which defines the layout, the environment and the functional specifications of the control-room. It is a multiple-step process defining the functional specifications of the control-room, the functional specifications for procedures, staff training and the control-room design documentation. It is concluded by the verification and, finally, the validation of the integrated control-room system.

4.2 V&V activities

The result of each of the two phases of the overall design is checked by V&V activities. The purpose of these activities is to assess the adequacy of the interfaces between operator and plant processes as found in the control-room.

It is not the responsibility of the V&V team to redesign the control-room.

In this context V&V is understood as follows (IEC 964):

- verification is defined as the process of determining whether individual components meet the specified requirements. In this context, it implies a series of analytical checks of instrumentation, controls, displays and other equipment against specific technical and human factor engineering criteria and operating and functional goals;
- validation, which should be carried out after completing the verification, is generally defined as the test and evaluation to determine that a problem solution complies with functional, performance and interface requirements. More specifically, it is the process of determining whether the physical and organizational design for operations is adequate to support effective integrated performance of the functions of the control-room operating staff.

Les étapes de V&V de la conception fonctionnelle permettent d'évaluer les fonctions et les relations du personnel et des automatismes contrôlant le processus et de contrôler l'allocation des responsabilités des opérateurs dans la salle de commande. Les interfaces de la salle de commande, telles qu'elles sont définies lors de la conception de la salle de commande, sont évaluées par la V&V en termes de support des fonctions et des tâches des opérateurs.

Les étapes de V&V de la conception détaillée assurent que les exigences fonctionnelles, vérifiées et validées lors du processus de conception fonctionnelle de la salle de commande, ont bien été intégrées en tant qu'entrées dans la phase de conception et ont permis d'établir des spécifications de fabrication et de construction détaillées de la salle de commande souhaitée.

Un des objectifs de V&V est de vérifier les spécifications avant le début de fabrication. En effet, s'il est nécessaire d'exécuter la vérification sur site, il y a un risque de retard potentiel du projet.

Il convient de noter que cette activité de V&V peut être effectuée à différentes étapes de la conception de la salle de commande. En particulier pour une conception nouvelle, elle peut être vue comme un processus itératif appliqué très tôt, et répété régulièrement. Cela permet aux modifications de conception résultant de revues d'être intégrées plus tôt dans les systèmes. Cela conduit à une amélioration significative du processus général de conception.

La V&V de la conception de la salle de commande est une entreprise majeure: elle peut constituer un élément pour obtenir la licence de la centrale. Il convient de faire les efforts pour s'assurer, que la revue soit conforme aux objectifs de ces recommandations, que les résultats de la revue soient exploitables et que la documentation et les rapports de la revue apportent la preuve que l'ingénierie des facteurs humains a fait l'objet d'une étude appropriée et a été appliquée dans la revue de processus de conception de salle de commande.

Chaque étape du processus de V&V doit comprendre les activités ci-après: ¹⁾

- la préparation, qui comprend les actions essentielles suivantes:
 - . développement de critères d'évaluation (de manière à préparer l'évaluation et la résolution),
 - . définition de la méthodologie de V&V,
 - . identification des documents sources; il convient de confirmer que la documentation de conception de la centrale qui a un impact direct sur la conception de la salle de commande a suivi un processus de V&V,
 - . organisation de l'équipe d'évaluation pour la vérification,
 - . définition de l'espace de travail et des moyens nécessaires pour l'équipe d'évaluation,
 - . définition de la planification de la revue;
- l'évaluation;
- la résolution.

Un grand soin doit être apporté notamment dans la préparation afin d'assurer de bons résultats à la revue. Il convient que la préparation prenne en compte les besoins en données et informations relatifs aux facteurs humains en salle de commande, de telle façon qu'une base de données puisse être mise au point pour satisfaire aux besoins communs.

¹⁾ Le texte encadré indique les exigences de la présente norme.

The V&V steps of the functional design assess the functions and relationships of personnel and automated equipment in controlling plant processes and check the allocation of the task responsibilities of control-room operators. Control-room interfaces, as found in the control-room design, are assessed by V&V in terms of how well they support the operators' functions and tasks.

The V&V steps of the detailed design assure that the functional requirements, verified and validated in the functional control-room design process, have been used as inputs for a design effort, resulting in detailed specifications for the manufacturing and construction of the desired control-room.

One of the V&V objectives is to check these detailed specifications before the manufacturing process is started. In fact, if it is necessary to perform the check on the site installation, there is a potential risk of delay to the project.

It should be noted that this V&V activity may be carried out at different stages of control-room design. Particularly for a new design, it can be seen as an iterative process, starting at a very early stage and being repeated periodically. This allows for design changes that result from the reviews to be incorporated earlier in the systems. This results in a significant improvement of the overall design process.

The V&V of the control-room design is a major undertaking: it may constitute an element of the plant licensing. Every effort should be made to ensure that the review meets the objectives of these guidelines, that the review results are usable, and that review documentation and reporting provide the necessary assurance that human factor engineering has been appropriately considered and applied in the control-room design review process.

Each step of the V&V process shall include the following activities: ¹⁾

- preparation, which includes the following essential actions:
 - . development of evaluation criteria (in order to prepare the evaluation and resolution),
 - . definition of V&V methodology,
 - . identification of source documents. It should be confirmed that the plant design documentation which directly impacts upon the control-room design has followed a V&V process,
 - . organization of the evaluation team for the verification,
 - . definition of workspace and equipment for the evaluation team,
 - . schedule definition for the review;
- evaluation;
- resolution.

Great care shall be taken notably in the preparation in order to ensure good review results. Preparation should take into account the data and information needs of control-room human factors, so that a database can be developed to meet common needs.

¹⁾ The framed text shows the requirements of this standard.

La norme est organisée de façon à traiter chaque étape et activité de la V&V dans un paragraphe séparé. Pour chaque étape et phase, après indication des exigences fondamentales, les méthodes et les procédures détaillées seront suggérées comme moyens possibles d'exécution de cette partie de revue. Néanmoins, si les exigences de base sont satisfaites, d'autres approches pourraient également convenir. Quelle que soit l'approche adoptée, elle doit être clairement documentée.

Le processus et les critères généraux d'évaluation de la vérification et de la validation sont spécifiés pour l'interface homme-machine et l'environnement. Pour les autres composants du système de salle de commande, c'est-à-dire la structure du personnel en salle de commande, les procédures de conduite et le programme de formation, il convient de développer séparément le processus et les critères d'évaluation en utilisant les normes nationales appropriées et les recommandations internationales disponibles (voir article 2).

4.3 Vérification de l'affectation des fonctions

L'exhaustivité de la répartition proposée des fonctions de salle de commande, entre l'homme et la machine, doit être vérifiée.

L'affectation est basée sur les performances de l'opérateur ou de la machine dans la mise en oeuvre de la fonction. La décision d'affectation est basée sur des actions dans lesquelles l'être humain excelle, comme la capacité de porter un jugement quand les événements ne peuvent pas être complètement définis, et sur des actions dans lesquelles la machine excelle, comme l'exécution simultanée de nombreuses tâches. Les critères de base pour l'affectation des fonctions à l'homme ou à la machine, comme la charge, la précision, les marges de temps, la complexité de la logique d'action, les types et les complexités de prise de décision sont présentés dans le tableau A.3 de la CEI 964.

Les fonctions peuvent être affectées:

- à l'homme ou à la machine;
- aux commandes manuelles télécommandées ou aux commandes manuelles locales;
- aux systèmes d'aide opérateur.

Une combinaison des points ci-dessus peut également être considérée pour réaliser une fonction donnée.

Il doit être démontré que l'affectation proposée des fonctions exploite de manière optimale les aptitudes de l'homme et de la machine sans imposer de contraintes indésirables à l'un ou à l'autre.

4.3.1 Développement de critères d'évaluation

Avant de tenter de vérifier l'affectation proposée des fonctions, il doit être confirmé que les critères utilisés pour l'affectation sont suffisants et cohérents.

Le but de la vérification est de confirmer que:

- Toutes les fonctions nécessaires pour atteindre les objectifs opérationnels et de sûreté de la centrale sont identifiées.

NOTE – Il est nécessaire de procéder à une approche «du haut vers le bas» en commençant par une revue des objectifs fonctionnels de la centrale, des systèmes support, des sous-systèmes et de leurs fonctions de manière à vérifier que toutes les fonctions et tâches opérateur sont prises en compte. Une fois cette analyse «du haut vers le bas» terminée, il est possible de « remonter » la chaîne afin d'évaluer les effets des possibles erreurs de conception de performance sur la sûreté des systèmes.

The standard is organized in order to treat each V&V step and activity in a separate subclause. For each step and activity, after the indication of the basic requirements, methods and detailed procedures are suggested as possible means for accomplishing that portion of the review. However, if the basic requirements are satisfied, other approaches could also be satisfactory. Whatever the specific approach used, it shall be clearly documented.

The process and general evaluation criteria of verification and validation are specified for the man-machine interface and the environment. For other control-room system constituents, i.e. the control-room staff structure, the operating procedures and the training programme, the evaluation process and criteria should be developed separately using appropriate national standards and available internationally agreed guidelines (see clause 2).

4.3 *Verification of the function assignment*

The completeness of the proposed control-room functions assigned to man and to machine shall be verified.

The basis for the assignment are the expected performances of the operator or the machine in the implementation of the function. The assignment decision is based on actions in which a human excels, such as the ability to exercise judgement where events cannot be completely defined and on actions in which a machine excels such as carrying out many tasks simultaneously. The basic criteria for function assignment to man or machine such as load, accuracy, time margins, complexity of action logic, types and complexities of decision-making are presented in IEC 964, table A.3.

Function assignment can be:

- to man or machine;
- to remote manual control or local manual control;
- to operator support systems.

A combination of the above can also be considered to perform a given function.

Evidence shall be presented that a proposed function assignment takes the maximum advantage of the capabilities of man and machine without imposing undesirable requirements on either of them.

4.3.1 *Development of evaluation criteria*

Before attempting to verify the proposed function assignment, the detailed criteria used for the assignment shall be confirmed consistent.

The goal of the verification is to confirm that:

- All the functions necessary for the achievement of the plant operational and safety goals are identified.

NOTE – A top-down approach, starting with a review of plant functional goals, supporting systems, sub-systems, and their functions, is necessary to assure that all operator functions and tasks are considered. When the top-down analysis is completed, it is possible to trace back along the chain to assess the effects of any potential design-related performance errors on systems safety.

- L'affectation proposée des fonctions est en accord avec les critères définis pour cette répartition (par exemple: commande automatique si le temps requis d'intervention opérateur est inférieur à quelques minutes).
- Toutes les exigences relatives à la répartition des fonctions sont identifiées. Il convient d'inclure dans ces exigences:
 - . toutes les règles applicables obligatoires éventuelles;
 - . les aspects de performances (par exemple, précision du temps de réponse);
 - . les principes de sûreté;
 - . les exigences de disponibilité et de fiabilité;
 - . les principes de maintenance (aptitude à la maintenance);
 - . les pratiques des exploitants pour l'organisation du travail;
 - . le retour d'expérience provenant de conceptions précédentes;
 - . les principes d'interface opérateurs et les principes d'affichage;
 - . les exigences spécifiées dans la CEI 964;
 - . les exigences prescrites à partir d'autres normes, les réglementations (voir article 2).

Les exigences et leurs fondements doivent être documentées pour chaque fonction.

- Les postes opérateurs sont conçus de manière à permettre aux personnels de la salle de commande d'exécuter leurs tâches. La vérification consiste à comparer la conception en termes d'instruments, d'affichages, de commandes et autres équipements aux exigences définies à partir de l'analyse des fonctions. Le but est d'établir la présence sur le poste opérateur des éléments nécessaires (ou non appropriés).
- Les exigences liées aux objectifs fonctionnels de niveau supérieur deviennent celles du niveau fonctionnel inférieur sans affecter l'ensemble des modes de conduite.

4.3.2 Identification des documents source

Tous les documents applicables doivent être fournis à l'équipe d'évaluation pour utilisation avant le début de la vérification de l'affectation des fonctions (CEI 964, figure 2).

Parmi ces documents applicables, on trouve les documents suivants:

- documents normatifs;
- information sur les principes d'affectation des fonctions à l'homme ou à la machine (rapports ou documents traitant des résultats de l'affectation homme-machine);
- retour d'expérience provenant de conceptions précédentes (le cas échéant);
- exigences contractuelles et des autorités;
- rapports sur les événements des titulaires de licence, provenant des conceptions précédentes (le cas échéant);
- rapports d'analyse sur les incidents et accidents, provenant des conceptions précédentes (le cas échéant);
- arborescences des défaillances, analyses du mode de défaillance et des effets (le cas échéant);
- rapport d'analyse de sûreté;
- descriptions des systèmes;
- spécifications des systèmes;
- documents d'analyse des tâches;
- documents sur l'affectation des fonctions.

NOTE – Pour les modifications de conceptions existantes, il convient d'utiliser un sous-ensemble approprié de la liste ci-dessus.

- The proposed function assignment is in accordance with criteria established for the assignment (e.g. automatic operation if the required operator intervention time is less than a few minutes).
- All the relevant requirements to assign the functions are identified. These requirements should include:
 - . any applicable mandatory regulatory assignments;
 - . performance aspects (e.g. response time accuracy);
 - . safety principles;
 - . availability and reliability requirements;
 - . maintenance principles (maintainability);
 - . utility practices for shift manning;
 - . feedback of experience from previous designs;
 - . operator interface and display principles;
 - . the requirements specified in IEC 964;
 - . the requirements derived from other standards, regulation guidelines (see clause 2).

The requirements and the bases of each shall be documented for each function.

- The workstation configurations are adequate to support execution of control-room personnel tasks. The verification consists in comparing the design in terms of instrumentation, displays, controls and other equipment to the requirements derived from the function analysis. The goal is to establish the presence on the workstation of the necessary (or irrelevant) items.
- Requirements from higher level functional goals merge at a lower functional level without conflict under all operational modes.

4.3.2 Identification of source documents

All of the applicable documents shall be provided for consultation by the evaluation team prior to beginning the function assignment verification (IEC 964, figure 2).

These documents include the following:

- normative documents;
- information on man-machine assignment principles (reports or documents dealing with results of man-machine assignment);
- feedback of experience from predecessor designs (where applicable);
- contract and authority requirements;
- licensee event reports from predecessor designs (where applicable);
- incident and accident analysis reports from predecessor designs (where applicable);
- fault trees and failure mode and effects analyses (where applicable);
- safety analysis report;
- systems descriptions;
- system specifications;
- task analysis documents;
- function assignment documentation.

NOTE – For the modifications of existing designs, an appropriate subset of the above list should be used.

4.3.3 Organisation de l'équipe d'évaluation pour la vérification

Il convient que la vérification soit conduite par des membres du personnel indépendants des concepteurs impliqués dans l'affectation initiale des fonctions. (Un exemple d'équipe indépendante pourrait être une équipe d'experts avec un chef d'équipe indépendant du service concepteur, par exemple un service chargé de la mise en service).

L'équipe doit réaliser la revue en se basant essentiellement sur la documentation source. Toutefois, cela ne doit pas interdire la communication avec les concepteurs de la salle de commande et des systèmes de la centrale. Il convient que ceux-ci soient disponibles pour des discussions et des explications.

Il n'est pas possible de définir précisément le nombre de personnes requises pour évaluer la conception de la salle de commande. La taille et la composition de l'équipe peuvent toutes deux varier en fonction du type de la centrale, du type de la salle de commande et de l'état de la salle de commande ou de la centrale. De manière générale, il convient qu'une équipe technique de base chargée de la vérification de l'affectation des fonctions couvre les domaines d'expertise suivants:

- ingénierie nucléaire et non nucléaire;
- conception en architecture et génie civil;
- analyse des systèmes;
- systèmes de contrôle-commande;
- systèmes d'information et informatique;
- ingénierie des facteurs humains;
- expérience en conduite (des opérateurs peuvent être choisis) et en formation des opérateurs.

4.3.4 Définition de l'espace de travail et des moyens nécessaires pour l'équipe d'évaluation

Les exigences liées à l'espace de travail et les besoins en moyens de l'équipe d'évaluation doivent être considérés pendant la préparation. Les bureaux, les zones de stockage et les salles de réunion nécessaires doivent être mis à la disposition de l'équipe d'évaluation et de tous les consultants et spécialistes travaillant à temps partiel.

4.3.5 Définition de la planification de la revue

Il convient de développer pendant la préparation une planification détaillée des activités de l'équipe d'évaluation. Il convient d'accorder un intérêt tout particulier à la dépendance des tâches par rapport aux résultats d'autres tâches et au temps évalué requis pour accomplir chaque tâche. Il convient de planifier les tâches, de manière à permettre à l'équipe chargée de la revue un effort de travail ininterrompu. Il convient que la planification s'étende de la préparation jusqu'à l'achèvement du rapport de revue de conception de salle de commande. Il convient de définir à ce stade les responsabilités et les fonctions de tous les membres de l'équipe et d'intégrer les activités de ces membres dans la revue de conception d'ensemble.

4.3.6 Processus de revue

L'évaluation de la complétude de la répartition proposée entre l'homme et la machine des fonctions de salle de commande doit être systématique et le processus correspondant doit être documenté de manière traçable.

4.3.3 *Organization of the evaluation team for the verification*

The verification should be conducted by personnel independent of designers involved in the initial function assignment. (An example of an independent team could be a team of experts with a team leader independent of the design department, e.g. the commissioning department).

The team shall perform the review essentially on the basis of the source documentation. However, this does not need to inhibit communication with the designers of the control-room and the plant systems. They should be available for discussions and explanations.

The number of people needed to conduct the control-room design evaluation cannot be defined precisely. Both team size and team make-up can be expected to vary according to plant type, the kind of control-room, and control-room or plant status. In general, a basic technical team for the verification of function assignment should include the following areas of expertise:

- nuclear and non-nuclear systems engineering;
- architectural design and civil engineering;
- systems analysis;
- instrumentation and control (I&C) systems;
- information and computer systems;
- human factor engineering;
- plant operation (maybe operators) and operator training.

4.3.4 *Definition of workspace and equipment for the evaluation team*

Workspace requirements and equipment needs for the evaluation team shall be considered during the preparation. Suitable office, storage, and meeting space shall be provided for the evaluation team and for any part-time consultants and specialists.

4.3.5 *Schedule definition for the review*

A detailed schedule should be developed, during the preparation, for the evaluation team activities. Particular attention should be given to task dependency on the output of other tasks, and to the estimated time required to accomplish each task. These tasks should be scheduled to permit an uninterrupted work effort by the review team. The schedule should extend from the preparation through to the completion of the design review report. The responsibilities and functions of individual team members should be assigned at this time, and team member activities should be integrated into the overall review process.

4.3.6 *Review process*

The evaluation of the completeness of the proposed control-room function assignment to man and machine shall be systematic and its process shall be documented in a traceable manner.

4.3.7 *Rapports*

Les résultats de la revue doivent être enregistrés. De préférence, il convient d'utiliser des formulaires standard; ceux-ci doivent toutefois procurer de la flexibilité et laisser place à la discussion.

Les déviations par rapport aux critères d'évaluation, provenant des exigences fonctionnelles et/ou d'autres documents en entrée, doivent être documentées et leur sévérité évaluée, en termes d'effet potentiel sur la performance du système homme-machine.

4.3.8 *Résolution*

Toutes les déviations ou erreurs identifiées au cours de l'évaluation doivent être corrigées (par correction des erreurs ou nouvelle affectation des fonctions), jusqu'à ce que la répartition des fonctions respecte tous les critères d'évaluation.

En cas d'identification de carences, la résolution doit être développée et enregistrée très soigneusement. S'il s'agit de carences fondamentales, on doit veiller à ce qu'aucun effet secondaire néfaste ne puisse affecter les paramètres de conception considérés comme satisfaisants lors de l'évaluation initiale.

4.4 *Validation de l'affectation des fonctions*

L'exactitude de l'affectation proposée des fonctions dans la salle de commande doit être validée de manière à démontrer que le système remplit tous les objectifs fonctionnels. En particulier, la performance des séquences de fonctions doit être évaluée dans toutes les conditions normales de conduite (y compris les états d'arrêt) et en fonction de plusieurs événements représentatifs dont des événements significatifs identifiés dans la conception de base ou en dehors de cette conception.

La validation doit également démontrer que, si cela est exigé, en cas de perte de fonctions automatiques spécifiques, des systèmes de secours manuels sont disponibles.

Les structures hiérarchiques orientées vers un objectif et développées lors de l'analyse des fonctions sont essentiellement des bases de données statiques. Le concepteur sait comment il est possible d'exécuter ou non chacune des fonctions en se référant aux mesures des performances définies à cet effet. Néanmoins, il n'est pas forcément évident de savoir comment une série de fonctions est exécutée dynamiquement en cas d'événement spécifique. Quand un événement arrive, la vitesse à laquelle son influence peut se propager dans la hiérarchie, et le niveau supérieur de fonction susceptible d'être affecté, dépendent du type d'événement et de son étendue. Les principaux objectifs de la validation consistent à analyser les caractéristiques temporelles des hiérarchies et à vérifier la bonne affectation des fonctions.

4.4.1 *Développement de critères d'évaluation*

Les critères généraux de validation à satisfaire sont les suivants:

- le nombre d'objectifs fonctionnels et la charge de travail exigés de l'équipe de conduite ne doivent pas excéder leurs possibilités;
- l'affectation des fonctions à l'équipe de conduite et aux opérateurs en local est acceptable. En particulier, il convient de ne pas exiger d'eux qu'ils exécutent des tâches de coopération, mutuellement dépendantes pour la réalisation d'une fonction qui est soit critique temporellement ou importante pour la sûreté ou la disponibilité de la centrale.

4.3.7 *Report documents*

The results of the review shall be recorded. Preferably standard forms should be used but they shall provide flexibility and space for discussion.

Deviations from the evaluation criteria, derived from functional requirements and/or other input documents, shall be documented and rated for severity in terms of their potential effect on performance of the man-machine system.

4.3.8 *Resolution*

Any deviation or mistake identified in the evaluation shall be corrected (by correction of mistakes or reassignment of functions), until the function assignment meets all the evaluation criteria.

If deficiencies are identified, the resolution shall be carefully developed and recorded. If these are major deficiencies, care shall be taken to ensure that no unfavourable side-effects are imposed on the design concepts which have previously been found to be satisfactory.

4.4 *Validation of the function assignment*

The correctness of the proposed control-room functions assignment shall be validated to demonstrate that the system can achieve all the functional goals. In particular, the performance of sequences of functions under all the normal operations (including shutdown states) and several representative events including relevant design basis events and non-design basis events shall be assessed.

The validation shall also demonstrate that, if required, in case of loss of specific automated functions, manual back-ups are available.

The goal-oriented hierarchical structures developed in the function analysis are basically static data bases. The designer knows how each of the functions can or cannot be accomplished by referring to performance measures defined for them. However, it is not necessarily evident how a series of functions are required to be accomplished dynamically following a specific event. When an event occurs, how fast its influence may propagate along the hierarchy and which higher-level functions may be influenced depends on the kind of event and its scale. The main purposes of the validation are to analyse these time-dependent characteristics of the hierarchies and to assure the adequacy of the function assignment.

4.4.1 *Development of evaluation criteria*

The general validation criteria to be satisfied are:

- the number of functional goals and the workload rate required of the control-room staff shall not exceed their capability;
- the assignment of functions to the control-room staff and local operators is acceptable. In particular, it should not require them to perform cooperative, mutually dependent tasks for the achievement of a function which is either time-critical or important for safety or for plant availability.

La validation sera réalisée essentiellement sur la base de la documentation source et si possible pour des cas isolés avec l'aide d'essais expérimentaux réalisés avec des opérateurs (voir l'annexe A pour la description d'approches qu'il est possible d'utiliser pour évaluer et quantifier la performance des fonctions et la charge de l'opérateur).

Des critères de sélection doivent être développés pour assurer que les événements choisis pour l'évaluation sont représentatifs. En plus de toutes les conditions normales, incidentelles ou accidentelles, il convient de prendre en compte les événements générés par une combinaison représentative de défaillances multiples conduisant à une charge de travail maximale de l'opérateur, en vue de l'évaluation des fonctions affectées à l'homme.

Une fois tous ces événements sélectionnés, les fonctions requises pour chaque événement doivent être identifiées et synthétisées par ordre séquentiel.

4.4.2 Identification des documents source

Les documents qui doivent être fournis à l'équipe d'évaluation avant de commencer la validation de l'affectation des fonctions sont ceux indiqués en 4.3.2.

La mise à jour de certains documents peut être effectuée à la suite des résolutions prises à la fin de l'étape précédente de vérification, et il convient de veiller à utiliser la dernière version.

Il convient d'ajouter les autres documents suivants:

- plan du niveau de la salle de commande;
- agencement préliminaire de la salle de commande (si disponible);
- stéréotypes de population.

4.4.3 Organisation de l'équipe d'évaluation pour la validation

Les exigences indiquées en 4.3.3 s'appliquent.

4.4.4 Définition de l'espace de travail et des moyens nécessaires à l'équipe d'évaluation

Les exigences indiquées en 4.3.4 s'appliquent.

En outre, les moyens requis pour cette étape peuvent comprendre des maquettes et/ou des simulateurs partiels.

4.4.5 Définition de la planification de la revue

Les exigences indiquées en 4.3.5 s'appliquent.

4.4.6 Processus de revue

L'évaluation de l'affectation des fonctions consiste à considérer une série appropriée d'événements dynamiques représentatifs. Elle doit être systématique et le processus correspondant documenté de manière traçable.

4.4.7 Rapports

Les exigences indiquées en 4.3.7 s'appliquent.

The validation will be done essentially on the basis of the source documentation and, if possible for isolated questions, with the aid of experimental tests performed with operators (see annex A for the description of possible approaches to be used for evaluating and quantifying the performance of the functions and the operator's workload).

Selection criteria shall be developed to ensure that the events to be chosen for assessment are representative. In addition to all normal, incident and emergency conditions, events caused by a representative combination of multiple failures leading to maximum operator workload, should be considered for the assessment of functions assigned to man.

After the completion of the selection of these events, the functions required for each event shall be identified and synthesised in time-sequential order.

4.4.2 *Identification of source documents*

The documents to be provided for consultation by the evaluation team prior to the beginning of the function assignment validation are those indicated in 4.3.2.

Some documents may have been updated as a consequence of the resolutions taken at the end of the previous verification step, and care should be taken to use the most up to date.

Other documents should include:

- control-room floor plan;
- control-room preliminary layout (when available);
- population stereotypes.

4.4.3 *Organization of the evaluation team for the validation*

Requirements indicated in 4.3.3 apply.

4.4.4 *Definition of workspace and equipment for the evaluation team*

Requirements indicated in 4.3.4 apply.

In addition, the required facilities for this step can include mock-ups and/or part-task simulators.

4.4.5 *Schedule definition for the review*

Requirements indicated in 4.3.5 apply.

4.4.6 *Review process*

The assessment of the function assignment consists of considering a suitable series of representative dynamic events. It shall be systematic and its process shall be documented in a traceable manner.

4.4.7 *Report documents*

Requirements indicated in 4.3.7 apply.

4.4.8 Résolution

Les exigences indiquées en 4.3.8 s'appliquent.

Des actions correctives peuvent être identifiées en terme d'un ou plusieurs des points suivants:

- sélection d'alternatives de conception;
- amélioration des exigences fonctionnelles;
- amélioration des critères de conception;
- revue de l'impact des changements sur l'affectation précédente des fonctions.

4.5 Vérification du système intégré de salle de commande

La vérification de la salle de commande doit être réalisée en évaluant les spécifications de conception proposées par rapport aux exigences fonctionnelles applicables et aux exigences et critères de conception.

A ce stade de développement,

- d'une part, la salle de commande existe en tant que concept et est décrite par un ensemble d'exigences fonctionnelles (fournies par la première étape) qui incluent:
 - . l'ensemble de la configuration de l'interface homme-machine;
 - . le concept de présentation des procédures de conduite;
 - . le traitement d'alarme (par exemple, stratégie de suppression des alarmes);
 - . les prototypes d'images;
 - . le concept pour les commandes manuelles;
 - . l'environnement.
- d'autre part, la salle de commande est décrite en détail par les spécifications de conception:
 - . un ensemble de plans, comme les plans d'agencement de la salle de commande et des panneaux;
 - . les diagrammes fonctionnels qui définissent le fonctionnement des systèmes et le traitement des alarmes;
 - . les esquisses d'images;
 - . les esquisses de procédures de conduite;
 - . l'esquisse du programme de formation.

Dans le processus de vérification, les spécifications de conception mentionnées ci-dessus sont évaluées par rapport aux exigences.

4.5.1 Développement de critères d'évaluation

Les critères qui sont développés doivent couvrir à la fois les aspects techniques et les aspects liés aux facteurs humains. En particulier, la vérification du système intégré de salle de commande doit vérifier les critères d'évaluation suivants:

- les spécifications fonctionnelles de l'interface homme-machine respectent les critères de conception, ainsi que les normes, règlements et directives s'y rapportant, et sont correctement incorporées dans la conception des commandes, des afficheurs et autres appareils et composants de salle de commande;
- la formation donne aux opérateurs les moyens d'acquérir la compréhension correcte des fonctions de l'interface homme-machine et des procédures de conduite;
- le programme de formation tient compte correctement des procédures de conduite.

4.4.8 Resolution

Requirements indicated in 4.3.8 apply.

Corrective actions may be identified in terms of one or more of the following:

- selection of design alternatives;
- refinements of functional requirements;
- refinements of design criteria;
- review of impact of changes on previous function assignment.

4.5 Verification of the integrated control-room system

The verification of the control-room shall be performed by evaluating the proposed design specifications against the applicable functional requirements, design requirements and criteria.

At this stage of development,

- on the one hand, the control-room exists as a concept and is described by a set of functional requirements (provided by the first step), that include:
 - . overall man-machine interface configuration;
 - . operating procedures presentation concept;
 - . alarm processing rules (e.g. alarm suppression policy);
 - . display format prototypes;
 - . concept for manual controls;
 - . environment.
- on the other hand, the control-room is described in detail by design specifications:
 - . a set of drawings, such as control-room layout and panel layout;
 - . the functional diagrams which define the systems operation and the alarm processing;
 - . the drafts of the display formats;
 - . the drafts of the operating procedures;
 - . the draft of the training programme.

In the verification process, the above-mentioned design specifications are evaluated against the requirements.

4.5.1 Development of evaluation criteria

The criteria that are developed shall cover both technical aspects and human factors aspects. In particular, the verification of the integrated control-room system shall check the following evaluation criteria:

- the functional specifications of the man-machine interface meet design criteria as well as relevant regulations, standards and guidelines, and are correctly incorporated into controls, displays and other control-room devices and component design;
- the training enables operators to acquire the correct understanding of the functions of the man-machine interface and the operating procedures;
- the training programme incorporates correctly the operating procedures.

Les vérifications relatives au premier critère ci-dessus sont conduites surtout pour montrer que les inventaires de l'instrumentation et des équipements spécifiés sont cohérents par rapport aux exigences données dans les spécifications du système, la revue du système et l'analyse des tâches par:

- Un inventaire détaillé des instruments et des équipements de la salle de commande. Cet inventaire permet de détailler et de décrire les composants existants dans la salle de commande à des fins de comparaison avec les exigences liées aux instruments, aux commandes, aux équipements et aux matériaux. Cet inventaire est aussi utilisé pour établir la présence sur le poste opérateur des éléments nécessaires (ou non appropriés).

Des exemples de critères plus détaillés dans ce domaine sont:

- . des instruments et des affichages défaillants doivent être aisément reconnaissables comme étant en défaut;
- . différents instruments indiquant les mêmes paramètres doivent afficher des valeurs cohérentes;
- . les commandes doivent être situées de façon que les affichages associés puissent être utilisés pour fournir le retour d'information du procédé (voir la CEI 1227).
- Un inventaire des alarmes incluant un résumé du traitement d'alarme (par exemple création et suppression d'alarme).
- Un inventaire des images et des procédures pour vérifier qu'elles sont adaptées à la tâche de l'opérateur et représentées comme un ensemble cohérent.
- Un inventaire de l'agencement de la salle de commande et du poste opérateur, afin de vérifier le libre accès aux postes (ou aux panneaux de commande), aux commandes et aux afficheurs.
- L'étude de l'acceptabilité ergonomique des composants de la salle de commande et des conditions telles que l'éclairage, l'environnement sonore (voir A.4.1.3 de la CEI 964). Cette étude permet de déterminer si les composants et l'environnement sont conçus pour prendre en compte les caractéristiques humaines de base, telles que les aptitudes de perception et de motricité.
- La vérification de l'adéquation des commandes fournies pour régler la température de l'air, l'humidité, la ventilation et l'éclairage.

4.5.2 Identification des documents source

Tous les documents applicables doivent être fournis à l'équipe d'évaluation avant de commencer la vérification du système intégré de salle de commande (CEI 964, figure 2).

Parmi ces documents applicables, on trouve les documents suivants:

- évaluation préliminaire de la salle de commande (si disponible);
- rapport de revue générique de conception de la salle de commande (si disponible);
- plans d'agencement des panneaux ou des postes opérateurs;
- esquisses ou photographies des panneaux ou des images de conduite;
- listes des acronymes et abréviations employés dans la salle de commande;
- description des conventions de codage employées dans la salle de commande et guides des styles d'interface homme-machine;
- spécifications des traitements informatiques (traitement d'alarme, procédures logiciel, affichages);
- procédures (accidentelles et normales de conduite);
- documents de formation des opérateurs.

The verifications related to the first criterion above are basically carried out to show that the inventories of the specified instrumentation and equipment are consistent with the requirements given in the system specifications, system review and task analysis by:

- A detailed inventory of control-room instrumentation and equipment. This is to itemize and describe the existing control-room components for comparison with the instrumentation, controls, equipment and material requirements. This inventory is also used to establish the presence on the workstation of the necessary (or irrelevant) items.

Examples of more detailed evaluation criteria in this area are:

- . failed instruments and displays shall be easily recognizable as failed;
- . different instruments indicating the same parameter shall display consistent values;
- . controls shall be located so that the related displays can be used to provide feedback (see IEC 1227).
- An inventory of the alarms, including a summary of the alarm processing (e.g. alarm conditioning and suppression).
- An inventory of the display formats and procedures to check that they are adapted to the operator task and are represented as a consistent whole.
- An inventory of the control-room and workstation layout to check that access to the workstations (or to the control panels) controls and displays is not impeded.
- A survey of the human engineering acceptability of control-room components and conditions such as illumination and auditory environment (see A.4.1.3 of IEC 964). This is to determine whether components and environment are designed to accommodate basic human characteristics such as perceptual-motor capabilities.
- A verification of the adequacy of controls provided for air temperature, humidity, ventilation and lighting.

4.5.2 Identification of source documents

All of the applicable documents shall be provided for consultation by the evaluation team prior to beginning the verification of the integrated control-room system (IEC 964, figure 2).

These documents include the following:

- control-room preliminary assessment (when available);
- generic control-room design review report (when available);
- panel layout or workstation drawings;
- panel or format drafts or photographs;
- list of acronyms and abbreviations used in the control-room;
- descriptions of coding conventions used in the control-room and man-machine interface style guides;
- computer-processing specifications (alarm processing, software procedures, displays);
- procedures (emergency and operating);
- operator training materials.

En outre, les études des facteurs humains dans la salle de commande et les évaluations préliminaires ou les conclusions d'audits sur les salles de commande d'autres centrales peuvent être utiles afin de clarifier les problèmes liés aux facteurs humains, les objectifs ergonomiques et les exigences relatives aux tâches de la revue.

NOTE – Pour les modifications des conceptions existantes, il convient d'utiliser un sous-ensemble approprié de la liste ci-dessus.

4.5.3 Organisation de l'équipe d'évaluation pour la vérification

Les exigences indiquées en 4.3.3 s'appliquent.

Il convient d'adapter l'équipe chargée de la revue en fonction des contrôles spécifiques à effectuer, par exemple:

- le contrôle du traitement d'alarme nécessite principalement des conseillers techniques de conduite et des ingénieurs systèmes;
- le contrôle des critères d'environnement nécessite essentiellement l'intervention d'ingénieurs en facteurs humains.

4.5.4 Définition de l'espace de travail et des moyens nécessaires à l'équipe d'évaluation

Les exigences de 4.3.4 s'appliquent.

D'autres moyens spécifiques peuvent être utilisés dans cette étape (par exemple détecteur de niveau sonore, de niveau d'éclairage).

4.5.5 Définition de la planification de la revue

Les exigences de 4.3.5 s'appliquent.

4.5.6 Processus de revue

L'évaluation à cette étape de la conception du système de salle de commande, est une revue normale de conception qui fait partie de la procédure d'assurance qualité. La revue doit inclure les procédures de conduite et le programme de formation.

La vérification du système de salle de commande doit être systématique et le processus correspondant documenté de manière traçable.

4.5.7 Rapports

Les exigences de 4.3.7 s'appliquent.

4.5.8 Résolution

Des actions correctives peuvent être identifiées en terme d'un ou plusieurs des points suivants:

- sélection d'alternatives de conception;
- amélioration des exigences fonctionnelles;
- amélioration des critères de conception;
- modifications de la version préliminaire des procédures et/ou des programmes de formation.

In addition, control-room human factor studies and preliminary assessments or audit findings for the control-rooms of other plants may be useful in clarifying human factors concerns, human engineering objectives and review task requirements.

NOTE – For modifications of existing designs, an appropriate subset of the above list should be used.

4.5.3 *Organization of the evaluation team for the verification*

The requirements of 4.3.3 apply.

The review team membership should be adapted to suit the particular check to be performed, for instance:

- the check of the alarm processing needs mainly technical operation advisers and systems engineers;
- the check of the environment criteria needs mainly human factor engineers.

4.5.4 *Definition of workspace and equipment for the evaluation team*

Requirements of 4.3.4 apply.

Other specific equipment can be used in this step (e.g. sound level meters, light meters).

4.5.5 *Schedule definition for the review*

Requirements of 4.3.5 apply.

4.5.6 *Review process*

The evaluation at this stage of the control-room system design is a normal design review and forms part of the quality assurance procedure. The review shall include the operating procedures and the training programme.

The verification of the control-room system shall be systematic and its process shall be documented in a traceable manner.

4.5.7 *Report documents*

Requirements of 4.3.7 apply.

4.5.8 *Resolution*

Corrective actions can be identified in terms of one or more of the following:

- selection of design alternatives;
- refinements of functional requirements;
- refinements of design criteria;
- draft procedures and/or training programme modifications.

En cas d'identification de carences, la résolution doit être développée et enregistrée très soigneusement. S'il s'agit de carences fondamentales, on doit veiller à ce qu'aucun effet secondaire néfaste ne puisse affecter les paramètres de conception considérés comme satisfaisants lors de l'évaluation initiale.

4.6 Validation du système intégré de salle de commande

Avant et pendant la conception détaillée du système de salle de commande, l'intégration globale du système de salle de commande doit être validée afin de montrer qu'elle peut atteindre les performances attendues. En particulier, une attention spéciale doit être accordée aux caractéristiques dynamiques, liées au temps, du système intégré proposé.

L'objectif de la validation est de déterminer que les interactions entre les composants du système de salle de commande sont telles que le système intégré réagit conformément aux exigences pour obtenir une conduite sûre et fiable de la centrale. L'étendue de la validation est de vérifier l'adaptation de la conception de la salle de commande aux interactions suivantes:

- la salle de commande et l'opérateur;
- la salle de commande et les procédures de conduite;
- la salle de commande et les procédures de formation;
- l'opérateur et les autres membres de l'équipe de conduite à l'intérieur et à l'extérieur de la salle de commande.

L'extension de cette validation est fonction des supports d'évaluation dont l'équipe chargée de la revue dispose. Il y a plusieurs méthodes et supports qui sont discutés dans l'annexe B, à savoir:

- revue détaillée de la conception de la salle de commande et analyse de la documentation;
- maquette;
- prototype avec simulateur de centrale;
- application sur site (on peut considérer que la première application sur site fait partie de la phase de conception).

On peut noter que différentes parties de la validation du système intégré de salle de commande avec différentes hypothèses et étendues peuvent être réalisées pendant les différentes étapes de la conception. Pour chaque étape de la validation, différents supports ou encore les mêmes supports avec des caractéristiques différentes, peuvent être utilisés (voir 4.6.9 et l'annexe B).

La direction doit être impliquée dans le processus de revue.

L'attention de la direction portée sur tout le processus est importante. Les tâches de la direction sont entre autres d'apporter un support global lors du processus de revue de conception de salle de commande et d'intégrer la revue de conception dans d'autres études et analyses traitant les problèmes de facteurs humains. Il s'agit, par exemple, d'évaluer la composition de l'équipe, l'organisation du travail, la formation et les qualifications du personnel ou les mises à jour des procédures. Il est recommandé que la direction veille à coordonner toutes les tâches ayant trait à l'ingénierie des facteurs humains.

If deficiencies are identified, resolution shall be carefully developed and recorded. If these are major deficiencies, care shall be taken to ensure that no unfavourable side-effects have an impact on the design concepts which have previously been found to be satisfactory.

4.6 *Validation of the integrated control-room*

Prior to and during detailed control-room system design, the overall control-room system integration shall be validated to show that it can achieve the performance intended. In particular, special attention shall be given to time-dependent dynamic characteristics of the proposed integrated system.

The objective of validation is to determine that the interactions between the components of the control-room system are such that the integrated system behaves in the manner demanded by requirements for safe and reliable operation of the plant. The scope of the validation is to assess the suitability of the control-room design to support the following interactions:

- the control-room and the operator;
- the control-room and the operating procedures;
- the control-room and the training programme;
- the operator and the other staff inside and outside the control-room.

The extent of the validation is a function of the evaluation aids available for the review team. There are several evaluation methods and aids which are discussed in annex B, these being:

- detailed review of control-room design and documentation analysis;
- mock-up;
- prototype with plant simulator;
- on-site application (it can be considered that the first site application belongs to the design phase).

It is noted that different parts of the integrated control-room system validation with different assumptions and extents can be performed during different stages of the design. For each part of the validation different aids can be used, or the same aids with different features (see 4.6.9 as well as annex B).

The management shall be involved in the review process.

Management attention to the whole process is important. Management tasks include overall support of the control-room design review process and integration of the design review with other studies and analyses involving human factor concerns. Examples include assessment of shift manning, work organization, training and qualifications of personnel and procedure improvement. Management attention to the coordination of all these tasks within the human factor engineering framework is recommended.

4.6.1 Développement de critères généraux d'évaluation

L'évaluation doit aborder les objectifs spécifiques suivants:

- déterminer si la salle de commande fournit les informations d'états du système, les capacités de commande, les retours du procédé et les aides à la performance nécessaires pour que les opérateurs accomplissent leurs fonctions et leurs tâches efficacement dans des conditions normales (y compris les états d'arrêt), incidentelles ou accidentelles;
- identifier les caractéristiques des instruments, des commandes, des affichages, des autres équipements existants dans la salle de commande et des configurations physiques susceptibles de nuire aux performances de l'opérateur.

Les critères généraux d'évaluation sont définis ci-après, avec référence aux interactions mentionnées ci-dessus. On notera que l'interface la mieux définie à évaluer est celle qui existe entre la salle de commande et l'opérateur individuel. Les points relatifs principaux à considérer sont les aspects physiques et ceux concernant l'environnement de la salle de commande et des postes opérateurs, les capacités humaines, physiques et mentales, l'interface homme-machine et les aspects cognitifs (performance humaine globale).

4.6.2 Critères d'évaluation pour les interactions salle de commande / opérateur

Les séquences composées de fonctions affectées à l'équipe de conduite et aux automatismes doivent être mutuellement cohérentes et complètes.

La philosophie de conduite exprimée dans les exigences fonctionnelles doit être appliquée de façon cohérente à toutes les fonctions de commande, de telle sorte que les sous-systèmes ayant des caractéristiques de fonctionnement semblables puissent être conduits de façon identiques.

Les tâches assignées à l'équipe de conduite doivent rester dans les limites des capacités humaines. Les tâches exigeant des traitements rapides, lents ou complexes, de commande ou de traitement de l'information, ne doivent pas être laissées aux opérateurs.

Il convient de laisser en principe des marges importantes (par exemple pour les contraintes de temps) aux opérateurs pour couvrir les variations humaines naturelles.

Les performances des perceptions des opérateurs doivent respecter les capacités humaines reconnues de sensibilité, dans les domaines de la vision, de l'audition, du toucher, des vibrations, etc.

Les performances motrices des opérateurs doivent respecter les capacités humaines de motricité reconnues, caractérisées par les mouvements, les manipulations, la force physique et l'endurance.

Les performances mentales des opérateurs doivent respecter les variations de leur capacité dues aux différents niveaux de vigilance et de fatigue dans les domaines:

- du traitement d'informations;
- de la perception;
- de la mémorisation (à court et long terme);
- de la capacité de se souvenir (à court et long terme).

L'étude des aspects visuels ne doit pas être négligée, en particulier avec l'introduction de calculateurs et d'écrans d'affichage dans la salle de commande.

4.6.1 *Development of general evaluation criteria*

The evaluation shall address the following specific objectives:

- to determine whether the control-room provides the system status information, control capabilities, feedback, and performance aids necessary for control-room operators to accomplish their functions and tasks effectively in normal (including shutdown states), abnormal or emergency conditions;
- to identify characteristics of the existing control-room instrumentation, controls, displays, other equipment and physical arrangements that may detract from operator performance.

General evaluation criteria are as follows, with reference to the above interactions. It is noted that the most defined interface to be evaluated is that of the control-room and individual operator. The main related items to be considered are the physical and environmental aspects of the control-room and workstations, the human physical and mental capabilities, the man-machine interface and the cognitive aspects (global human performance).

4.6.2 *Evaluation criteria for control-room / operator interactions*

Sequences composed of functions assigned to the control-room staff and to automation shall be mutually consistent and complete.

The philosophy of operation expressed in the functional requirements shall be applied to all the control functions consistently, so that subsystems with similar characteristics of operation can be operated similarly.

Tasks assigned to the control-room staff shall be within the limitations of human capabilities. Tasks requiring quick, slow or complex controlling and information processing shall not be left to operators.

Ample margins, e.g. time constraints, should be left to operators to allow for natural human variability.

Operators' perception performance shall be within recognized limits of the human sensory capabilities in the areas of vision, audition, touch and vibration, etc.

Operators' motor performance shall be within recognized human motor capabilities characterized by moving, manipulating, physical strength and endurance.

Operators' mental performance shall be within the variation of their capabilities due to different levels of vigilance and fatigue in the areas of:

- information processing;
- perception;
- information retention (short term/long term);
- memory volume capacity (short term/long term).

Study of visual aspects shall not be neglected, regarding the introduction of computers and display screens in the control-room.

Ce mode de présentation de l'information soulève un certain nombre de questions, en particulier en ce qui concerne la capacité visuelle des opérateurs (fatigue visuelle, lisibilité, effets de contraste, effets de réflexion) qu'il est très important de prendre en compte dans ce type d'évaluation.

Les performances des opérateurs doivent respecter leur capacité à travailler dans un environnement physique défavorable, caractérisé par:

- une pression, température et humidité inconfortables;
- un éclairage inapproprié (niveau, contraste, éblouissement, etc.);
- des bruits et des propriétés acoustiques de salle de commande irritants;
- la présence de produits toxiques et de rayonnements.

La validation doit inclure une évaluation de l'amélioration de la performance globale de l'opérateur.

Les modèles de performance humaine peuvent être utilisés pour caractériser les aspects cognitifs. L'utilisation de tels modèles est recommandée. Dans l'annexe C, un de ces modèles de prise de décision est utilisé pour illustrer, avec certains détails, les évaluations nécessaires dans ce domaine.

Il convient de prendre en compte les classes principales des activités de l'opérateur c'est-à-dire, suivant le modèle:

- la détection et l'observation des changements dans l'état de la centrale;
- les diagnostics de changement et de planification pour les actions correctives;
- la sélection et l'exécution des commandes (sous forme ou non d'une procédure),

et d'exécuter des essais adéquats pour évaluer les améliorations dans les performances globales des opérateurs.

Les tâches assignées aux opérateurs individuels ne doivent pas créer des charges de travail dépassant les limites reconnues des capacités de l'opérateur normal.

La validation doit inclure une évaluation de l'implantation du poste opérateur et de son environnement, c'est-à-dire qu'il convient d'installer le poste et les dispositifs de dialogue de telle manière que les caractéristiques de l'environnement (température, bruit, lumière) permettent à l'opérateur de travailler avec un maximum de confort et d'efficacité.

Toutes les informations dont un opérateur a besoin pour effectuer les tâches assignées pendant les différentes phases de conduite, ainsi que les phases transitoires, doivent être accessibles d'une façon simple. Les commandes nécessaires doivent être fournies. Dans le cas d'une commande manuelle, les informations adéquates concernant le comportement du système réel, en retour vers les opérateurs, doivent être prévues.

Les informations doivent être accessibles avec le minimum de recherche si des écrans de visualisation sont spécifiés.

Il convient que les informations sur différentes variables dont on a besoin en même temps soient affichées simultanément sur le même écran, pourvu que cette démarche soit en conformité avec les exigences de diversité. Il convient que le système d'affichage ait une surface d'affichage et une résolution suffisantes pour donner des images stables et faciles à déchiffrer. Il convient que les claviers et autres périphériques de commande permettent une exploitation simple et fiable du système d'information. Il convient que la conception des images soit conforme aux normes reconnues. Il convient que la conception des images assure la lisibilité et la compréhension des informations présentées aux opérateurs.

This mode of presenting information raises a certain number of questions, notably about the visual capability of the operators (visual fatigue, readability, contrast effects, reflection effects...) which is very important to take into consideration in this type of evaluation.

The operators' required performance shall be within his ability to work under an adverse environment characterized by:

- abnormal temperature, humidity, pressure;
- abnormal illumination (contrast, level, glare, etc.);
- abnormal noise and acoustic properties of the control-room;
- toxins and radiation.

The validation shall include an evaluation of improvement in global operator performance.

Human performance models can be used for characterizing cognitive aspects. Use of such models is recommended. In annex C, one of such decision-making models is utilised to illustrate in some detail the evaluations required in this area.

The major classes of operators' activities, i.e., according to the model:

- detection and observation of changes in plant state;
- diagnosis of change and planning for corrective actions;
- selection and execution of control actions (in form of procedures or not),

should be considered and suitable tests performed, to assess the improvement in operators' global performance.

The tasks assigned to the individual operators shall not create workloads exceeding recognized limits of the capabilities of the normal operator.

The validation shall include an evaluation of the layout of the workstation and of its environment, i.e. the station and dialogue devices should be installed in such a way and the environment characteristics (temperature, noise, light) should be such that the operator can work with a maximum of comfort and efficiency.

All the information an operator needs to perform the assigned tasks during the different operational states and state transitions shall be accessible in a simple way. The necessary controls shall be provided. In case of manual control, adequate feedback information to the operators concerning the behaviour of the actual system shall be provided.

Information shall be accessible with the minimum of searching if VDUs are specified.

Information on different variables needed at the same time should, if consistent with diversity requirements, be displayed simultaneously on the same VDU. The display system should have sufficient display area and resolution to allow for stable and easily legible images. Keyboards and other operation devices should support simple and reliable operation of the information system. The design of the display formats should conform to recognized standards and should support the operators to read and understand the information.

Une évaluation de l'interface homme-machine doit être assurée dans le but de vérifier, d'une part, que les modes de présentation des dialogues et des informations sont cohérents et compatibles entre eux en ce qui concerne leur logique interne, le choix des moyens d'interaction et les performances et, d'autre part, que les moyens d'action et les informations disponibles en parallèle sur le poste sont adéquats et utilisés.

Les points suivants sont des exemples de critères d'évaluation spécifiques:

- Les verrines d'alarme, les instruments, les afficheurs spécifiés sont-ils adéquats pour indiquer à l'opérateur qu'il doit accomplir une action requise?
- Les commandes sont-elles faciles à atteindre et les afficheurs lisibles sur le panneau de commande faisant l'objet de la revue?
- Les repères d'identification sur l'instrumentation et les commandes sont-ils suffisamment lisibles, précis et complets pour permettre à l'opérateur de localiser le panneau et la commande particulière sans avoir à recourir à une autre documentation?
- Les indications permettant à l'opérateur de déterminer qu'une étape a été franchie ou qu'une condition est remplie ont-elles été prévues? Cette indication fournit-elle une information de manière satisfaisante?
- Si les moyens primaires de commande ou les indicateurs ne sont pas disponibles, existe-t-il encore un moyen pour terminer l'étape commencée?
- S'il est entendu que l'opérateur exécute une action lorsqu'un paramètre du processus atteint une certaine valeur, l'instrument concernant ce paramètre est-il lisible pour cette valeur?
- Les échelles et les domaines de mesures de tous les instruments sont-ils appropriés à la précision de lecture requise en terme d'échelle et de résolution temporelle?

Dans le cas de l'évaluation d'une salle de commande informatisée, l'aspect de gestion du poste doit être pris en compte.

Cela recouvre les actions qu'un opérateur doit prendre pour accéder aux informations et passer les commandes.

On doit démontrer que les systèmes support de l'opérateur peuvent renforcer ses capacités potentielles sans générer d'effets secondaires imprévus pouvant présenter des obstacles implicites aux décisions prises par l'opérateur, par exemple la surveillance et le traitement à haut niveau mental.

Le système d'interface homme-machine doit être capable de fournir les informations suffisantes requises à partir des installations extérieures à la salle de commande.

4.6.3 Critères d'évaluation pour les interactions salle de commande / procédures de conduite

Les procédures de conduite doivent être compatibles avec les exigences concernant les interfaces homme-machine et les réponses attendues de la centrale. Ces procédures doivent couvrir toutes les tâches et les séquences de fonctionnement prévues à partir de la salle de commande.

Les descriptions des procédures doivent être correctes, complètes, cohérentes, et faciles à interpréter.

Les activités cognitives exigent l'utilisation de procédures qui peuvent soulever des questions d'évaluation. Les activités de suivi de la procédure exige une prise en compte spéciale dans le développement des essais (voir annexe C).

A man-machine interface evaluation shall be performed, with the aim of verifying, on the one hand, that the dialogues and information presentation modes are coherent and compatible with one another as far as their internal logic, choice of interaction means and performances are concerned, and, on the other hand, that the information and action means available in parallel on the station are adequate and used.

The following are examples of specific evaluation criteria:

- Are the alarms, instruments or plant displays adequate to alert the operator to perform a required action?
- Are controls reachable and displays readable on the reviewed control-room panel?
- Are the identification labels on instrumentation and controls sufficiently legible, precise and complete to permit the operator to locate the panel and the particular control without resorting to other documentation?
- Are indications provided to allow the operator to determine that a step has been completed or that a condition has cleared? Does this indication convey the information satisfactorily?
- If the primary cues, controls or indicators are not available, is there still some way to complete a given step?
- If the operator is expected to take some action when a process parameter reaches a certain value, is the instrument for that parameter readable to that value?
- Are all instrument scales and ranges appropriate to the required reading precision in terms of scale and time resolution ?

In the case of a computerized control-room evaluation, the management aspect of the workstation shall be taken into account.

This covers the actions that an operator has to undertake to get access to information and pass orders.

It shall be demonstrated that operator support systems can enhance the operator's potential capabilities without generating unforeseen side-effects which might bring about implicit obstacles to operator's decision-making activities, e.g. monitoring and high-level mental processing.

The man-machine interface system shall be able to provide sufficient information required from facilities outside the control-room.

4.6.3 *Evaluation criteria for control-room / operating procedures interactions*

Operating procedures shall be compatible with the requirements for man-machine interfaces and the expected plant responses. The operating procedures shall cover all the anticipated tasks and functional sequences performed in the control-room.

The descriptions of the procedures shall be correct, complete, consistent and easily interpreted.

The cognitive activities require the use of procedures that may raise evaluation issues. The procedure-following activity requires special consideration in the development of the tests (see annex C).

Les critères d'évaluation spécifiques peuvent être les suivants:

- Les actions spécifiées dans les procédures de conduite peuvent-elles être remplies dans les séquences désignées?
- Existe-t-il d'autres voies de réussite qui ne sont pas incluses dans les procédures analysées?
- L'action à partir d'une procédure peut-elle être remplie en salle de commande et dans un laps de temps spécifié?
- L'opérateur peut-il obtenir l'information nécessaire telle que requise dans la procédure, depuis l'instrumentation spécifiée dans la salle de commande?
- Les afficheurs et les instruments spécifiés fournissent-ils la redondance et la diversité suffisantes pour permettre à l'opérateur de choisir la procédure à appliquer?
- Est-il nécessaire pour l'opérateur d'utiliser une information ou un matériel non spécifiés dans les procédures pour accomplir sa tâche?
- Est-ce que la présentation des conditions de la centrale en salle de commande est compatible avec les descriptions de ces mêmes conditions dans les procédures?
- L'opérateur peut-il utiliser le repérage, les abréviations, les symboles et les informations de localisation prévus dans les procédures pour trouver le bon matériel?
- Les domaines de mesure des instruments sont-ils cohérents avec les valeurs des instruments indiquées dans les procédures?
- L'utilisation des procédures ne constitue-t-elle pas une charge excessive de mémorisation pour les opérateurs?
- Les procédures de conduite en situation accidentelle sont-elles aisées à distinguer des autres procédures en salle de commande (couleur, taille, emplacement, organisation et présentation)?
- Les procédures et la salle de commande sont-elles physiquement compatibles?
- Existe-t-il de la place disponible en différents endroits de la salle de commande pour poser les documents décrivant les procédures (procédures papier), et la reliure de ces derniers permet-elle de les étaler sur l'espace de travail?
- Les documents papier décrivant les procédures sont-ils trop volumineux ou trop lourds pour une manipulation aisée?

4.6.4 Critères d'évaluation pour les interactions salle de commande / programme de formation

| |
|---|
| <p>Le programme de formation doit être compatible avec les exigences concernant les procédures et l'interface homme-machine. Il doit fournir aux opérateurs les compétences et les connaissances nécessaires pour une exploitation fiable et en toute sécurité de la centrale, y compris la possibilité de traiter des événements imprévus.</p> |
| <p>Le personnel de la salle de commande doit être parfaitement familiarisé avec une exploitation fiable et en toute sécurité, et compatible avec l'ensemble des procédures d'exploitation et du programme de formation.</p> |

Les critères d'évaluation spécifiques peuvent être les suivants:

- Tous les systèmes et matériels peuvent-ils être commandés de façon sûre et correcte avec l'instrumentation et les commandes disponibles?
- Est-ce qu'un système de la centrale ou un matériel peut être commandé de façon incorrecte à cause d'un manque de compréhension concernant ces moyens?
- Est-ce qu'une action appropriée peut être déclenchée suite à l'apparition d'une alarme?

Specific evaluation criteria can be the following:

- Can the actions specified in the procedures be performed in the designated sequence?
- Are there alternative success paths that are not included in the reviewed procedure?
- Can the procedure action be performed in the control-room and within a specified time?
- Can the operator obtain the necessary information as required in the procedures from the specified instrumentation in the control-room?
- Will the specified instruments and displays provide sufficient redundancy and diversity for the operator to select the applicable procedure?
- Is it necessary for the operator to use information or equipment not specified in the procedures to accomplish his task?
- Is the presentation of plant conditions in the control-room compatible with the description of the same conditions in the procedures?
- Can the operator find the correct equipment with the labelling, abbreviations, symbols and location information provided?
- Are instrument ranges consistent with instrument values stated in the procedures?
- Will the use of the procedures place excessive burdens on the memory of the operator?
- Are the emergency operating procedures easy to distinguish from other procedures in the control-room (colour, shape, location, organization and presentation)?
- Are the procedures and the control-room physically compatible?
- Is there space available in different parts of the control-room to lay the procedures (paper procedures) down and will the binding allow them to lay flat on the work space?
- Are the paper procedures too bulky or too heavy for convenient handling?

4.6.4 *Evaluation criteria for control-room / training programme interactions*

| |
|--|
| The training programme shall be compatible with the requirements for procedures and man-machine interface. It shall provide the operators with the skills and knowledge necessary for safe and reliable operation of the plant including the handling of unplanned events. |
|--|

| |
|--|
| The control-room staff shall be totally accustomed to requirements for safe and reliable operation and compatible with both the operation procedures and the training programme. |
|--|

Specific evaluation criteria can be the following:

- Can all plant systems and equipment be safely and correctly operated with the available controls and instrumentation?
- Is a plant system or equipment likely to be incorrectly operated due to lack of understanding of these devices?
- Can due action be taken in response to alarms?

- Est-ce que l'information provenant des commandes et de l'instrumentation peut être mal interprétée?
- Est-ce que des conclusions erronées peuvent être déduites des commandes et de l'instrumentation?
- Convient-il d'utiliser la formation pour compenser une conception déficiente de la salle de commande ou des procédures?

Le niveau minimal de qualification des sujets requis pour les essais de validation (compétence, spécialisation) doit être spécifié pour chaque test.

Les analyses des résultats obtenus peuvent également mettre en évidence le besoin de modification du programme de formation (interaction de retour avec le programme).

4.6.5 *Critères d'évaluation pour les interactions opérateur / personnel à l'intérieur et à l'extérieur de la salle de commande*

Ce thème traite des activités de conduite du point de vue du travail collectif en salle de commande.

L'adaptation de la conception de la salle de commande à répondre aux exigences et aux besoins en matière de travail collectif et d'organisation doit être vérifiée, avec une attention particulière pour l'organisation des postes opérateur.

En ce qui concerne les aspects collectifs, l'évaluation est faite en deux parties:

- l'organisation des activités spécifiques des opérateurs dans la salle de commande (répartition de leurs tâches, leur coordination);
- les caractéristiques des rapports entre les opérateurs et les personnes à l'extérieur de la salle de commande (opérateurs auxiliaires, équipe de maintenance, direction). Pour cet aspect, l'adaptation du système de communication entre le personnel en salle de commande, les opérateurs locaux et le personnel situé à l'extérieur de la salle de commande fait partie de la vérification.

Quant aux aspects organisationnels, l'évaluation prend en compte des éléments liés à la façon de mener les activités dans la centrale, c'est-à-dire organisation des équipes, durée des quarts, changement d'équipe, formation, etc.

Les biais inhérents à chaque évaluation concernant une situation de travail qui est éloignée du travail réel (maquette, prototypes), conduisent à ce que certains aspects de la conduite réelle ne peuvent pas être entièrement reconstitués. Ainsi, il convient d'évaluer les aspects organisationnels en se livrant à une étude complémentaire complètement indépendante.

4.6.6 *Méthodologie*

Des moyens typiques d'évaluation (voir annexe B) sont disponibles; il convient de les appliquer au fur et à mesure du développement de la conception:

- la méthode de la « table ronde », qui inclut une discussion approfondie des étapes de procédures concernant le scénario proposé;
- la méthode du « maquettage », où des personnes jouant le rôle d'opérateurs appliquent pas à pas les actions de la procédure, selon un scénario proposé par une équipe d'observateurs, sans agir sur des fonctions de commande réelles. Un préalable à cette méthode est une maquette, qu'il est possible de réaliser simplement au moyen de dessins sur des panneaux de commande fixés aux murs;

- Can information from controls and instrumentation be misinterpreted?
- Can erroneous conclusions be drawn from controls and instrumentation?
- Should training be provided to compensate for poor control-room design or poor procedures?

The minimum qualification level of operators needed for the validation tests (skill, expertise) shall be specified for each test.

The analyses of test results can also indicate the need to modify the training programme (feedback interaction with training programme).

4.6.5 *Evaluation criteria for operator / inside and outside control-room staff interactions*

This theme deals with the operating activity from the viewpoint of the control-room's collective use.

The suitability of the control-room design to achieve the collective team work and organizational requirements and needs shall be verified, with specific attention to the organization of the workstations.

Dealing with the collective aspects, the evaluation consists of the following two parts:

- the organization of the individual activities of the operators in the control-room (the assignment of their tasks, their coordination);
- the features of the relationships between the operators and the personnel outside the control-room (auxiliary operators, maintenance staff, management). For this aspect, the suitability of the communication system between the control-room staff and both local operators and plant personnel stationed outside the control-room facilities is part of the verification.

For organizational aspects, the evaluation takes into account items related to the development of activities in the plant, i.e. organization of teams, duration of shifts, team rotation, training, etc.

The inherent biases in any evaluation concerning a work situation which is distant from the work reality (mock-up, prototypes) means that certain aspects of the real operation cannot be entirely reconstituted. Thus the evaluation of the organizational aspects should be carried out by a completely separate complementary study of the real work situation.

4.6.6 *Methodology*

Typical evaluation means (see annex B) are available and should be applied as the design is developed:

- the table-top method which includes a thorough discussion of the procedural steps of the proposed operating scenario;
- the walk-through method whereby persons acting as operators conduct a step-by-step enactment of the procedural actions during a proposed scenario for an observer team without carrying out actual control functions. A prerequisite for a walk-through is a mock-up, the simplest thing being a room with the drawings for the control panels mounted on the walls;

- la méthode du « simulateur », méthode dans laquelle des personnes jouant le rôle d'opérateurs agissent sur les fonctions de commandes réelles sur des matériels simulés, selon un scénario prédéfini en présence d'une équipe d'observateurs;
- la simulation de l'opérateur, de l'interface homme-machine et de la centrale.

L'utilisation d'une maquette permet une approche expérimentale pour les essais et l'évaluation des fonctions spécifiques. Les réponses obtenues sont pertinentes mais localisées, c'est-à-dire centrées sur les fonctions testées. Elles ne mettent les interactions que partiellement en évidence.

L'usage d'un prototype couplé à un simulateur est une méthode d'évaluation plus astreignante mais qui permet de tester l'intégration dynamique des fonctions des futures applications.

L'application de l'évaluation sur le site permet d'accéder à toutes les interactions mais elle complique le problème d'affectation du résultat de l'observation à une fonction particulière. Par ailleurs, à ce stade de la réalisation, une nouvelle évaluation de conception s'avère presque impossible (pour ce qui est du matériel).

La méthode d'évaluation, qui est indépendante des moyens, est basée sur un découpage *a priori* de l'activité des opérateurs:

- l'évaluation de la salle de commande est envisagée en termes d'activité de conduite globale. Cette activité complexe est réalisée par un opérateur avec ses propres caractéristiques (physiologiques, cognitives, etc.);
- l'observation et l'analyse de cette activité nécessitent une décomposition en thèmes d'évaluation (facteurs ergonomiques et cognitifs).

L'évaluation peut également être centrée autour des caractéristiques techniques sur lesquelles les concepteurs peuvent agir, à condition qu'il soit effectivement possible de les définir *a priori*.

Une description générale d'une méthode typique d'évaluation, avec des exemples et une présentation de ses avantages et de ses inconvénients, est faite dans l'annexe D.

4.6.7 Identification des documents source

L'équipe d'évaluation a besoin d'une quantité importante de documentation de référence. Typiquement pour les modifications de conception de salle de commande, seul un sous-ensemble approprié de la documentation est requis.

La liste des documents qui doit être fournie à l'équipe d'évaluation avant de commencer la validation du système intégré de salle de commande est la même que celle identifiée en 4.5.2.

4.6.8 Organisation de l'équipe d'évaluation pour la validation

Il convient que l'équipe soit composée de personnel indépendant des concepteurs impliqués dans le développement de l'intégration de la salle de commande (un exemple d'équipe indépendante pourrait être une équipe d'experts avec un chef d'équipe indépendant du service concepteur, par exemple un service chargé de la mise en service).

L'équipe doit réaliser la revue en se basant essentiellement sur la documentation source et sur des essais spécifiques.

En complément aux exigences de 4.3.3, la participation des opérateurs est requise soit pour essayer une tâche proposée, soit pour consultation.

- the simulator method whereby persons acting as operators perform actual control functions on simulated equipment during a proposed scenario in front of an observer team;
- simulation of operator, man-machine interface and plant.

The use of a mock-up allows for an experimental approach for the test and evaluation of specific functions. The answers obtained are pertinent but localized; that is to say they are centred on the tested functions. They only partially reveal the interactions.

The use of a prototype coupled with a plant simulator is a more demanding evaluation method but makes it possible to test the dynamic integration of the future application functions.

The on-site application evaluation gives access to all the interactions, but this increases the difficulty of assigning the result of the observation to a particular function. Further, at this stage of the realization, a reassessment of the design may be virtually impossible (as far as hardware is concerned).

The evaluation method, which is independent from the means, is based on an *a priori* cutting out of the operators' activity:

- the evaluation of the control-room is envisaged in terms of the overall operating activity. This complex activity is carried out by an operator with his own characteristics (physiological, cognitive, etc.);
- the observation and analysis of this activity requires a split into evaluation themes (ergonomic and cognitive factors).

The evaluation can also be centred around technical characteristics on which the designers can act providing that it is effectively possible to define them *a priori*.

A general description of a typical evaluation method, together with some examples and a discussion of its advantages and disadvantages, is given in annex D.

4.6.7 Identification of source documents

The evaluation team needs a substantial amount of reference material. Typically only a subset of this material is required for control-room design modification.

The list of documents to be provided for consultation by the evaluation team prior to the start of the control-room system validation is the same as the one identified in 4.5.2.

4.6.8 Organization of the evaluation team for validation

The review should be conducted by personnel independent of designers involved in the development of control-room integration (an example for an independent team could be a team of experts with a team leader independent of the design department, e.g. the commissioning department).

The team shall perform the review essentially on the basis of the source documentation and on the basis of specific tests.

In addition to the requirements of 4.3.3, operator participation is required to try out proposed tasks as well as for consultation.

Quant à un besoin en expertise non prévu dans l'équipe de base, il est possible de faire appel à des spécialistes ou consultants – par exemple pour réaliser une évaluation spécifique des fonctions de systèmes et l'analyse des tâches opérateur de conduite pour préparer et/ou gérer le questionnaire et l'entretien des opérateurs, pour effectuer des mesures d'environnement dans la salle de commande, ou encore pour identifier et proposer d'autres modifications de conception afin de corriger toutes anomalies de conception de la salle de commande identifiées par l'équipe.

L'équipe technique doit être dirigée et encadrée. Il convient d'affecter un chef de projet chargé de coordonner l'équipe, de diriger et de supporter les activités journalières de l'équipe, de faire appel à des consultants ou des spécialistes si nécessaire, et de diriger le processus d'évaluation, de réalisation et d'enregistrement. Il convient aussi que le chef de projet ait en charge la planification et la direction de toutes les activités dans la salle de commande, y compris l'affectation et l'implication d'opérateurs pour aider l'équipe d'évaluation.

Pour cette étape également, l'équipe chargée de la revue doit être adaptée. Le besoin et les modalités de la participation des opérateurs varient en fonction du support d'évaluation sélectionné:

- Pour les phases préliminaires de conception, notamment au stade de l'évaluation de la documentation de conception et au stade de l'évaluation de la maquette, on peut également recourir à d'autres participants que les opérateurs mentionnés ci-dessus, par exemple à des conseillers techniques de conduite. Idéalement, il convient que ce ne soit pas les personnes chargées de la tâche en temps normal: ils seront alors sans aucun doute moins gênés par les inévitables biais introduits par la maquette (insuffisances ou manques de fidélité par rapport à la tâche réelle) et pourront prendre facilement du recul afin d'évaluer les aspects pouvant être définis à ce stade.
- Dès que l'outil est utilisé dans des conditions relativement proches d'une situation réelle (prototype), la participation des opérateurs est indispensable. Si les opérateurs ont déjà été associés d'une manière ou d'une autre aux précédentes phases de conception, la précaution sera prise de ne pas faire appel aux mêmes opérateurs lors des essais du prototype, afin d'éviter de les mettre en position de juge et de jury.

4.6.9 Définition de l'espace de travail et des moyens de l'équipe d'évaluation

Les exigences de 4.4.4 s'appliquent.

Les installations nécessaires pour cette étape peuvent inclure des maquettes et/ou des simulateurs. Dans ces cas, lors de la préparation, une spécification détaillée est également donnée en fonction des exigences relatives à ces installations (concernant l'étape de conception et l'objectif des essais à réaliser).

Les exigences liées à de telles installations comprennent:

- la représentativité des parties testées;
- la fidélité physique (de la représentation abstraite (plans) jusqu'aux maquettes et prototypes);
- la fidélité fonctionnelle, à savoir:
 - . le contenu des informations (par exemple, utilisation de données aléatoires, d'échantillons ou d'informations complètes, d'informations précises),
 - . la dynamique (de la statique, au temps réel dynamique).

D'autres équipements spécifiques peuvent être utilisés dans cette étape (par exemple, instruments de mesure du niveau sonore et de l'intensité lumineuse, magnétoscope ou équipement photographique).

A need for expertise not provided by the basic team could be met by bringing in specialists or consultants – for example, to directly perform some specific evaluation of system functions and analysis of control-room operator tasks, to prepare and/or manage the operator questionnaire or interview, to conduct environmental measurements in the control-room, or to identify and propose alternative design modifications to correct control-room design discrepancies identified by the team.

Technical team direction and support will be needed. A project director should be assigned to provide team management coordination, conduct and support day-to-day team activities, arrange for consultant or specialist support when needed, and direct the evaluation, implementation and reporting process. The project director should also be responsible for scheduling and controlling all activities concerning the control-room, including assignment and involvement of operators to assist the evaluation team.

Also for this step, the review team has to be adapted. The need and modalities of the operators' participation vary according to the evaluation support selected:

- For the earliest design steps, namely during the review of design documentation and at the mock-up evaluation stage, participants other than the operators mentioned above, for example technical operation advisers, may also be called on. Ideally, they should not be those who normally carry out the task: so they will probably be less troubled by the inevitable biases introduced by the mock-up (insufficiencies or lack of fidelity in relation to the real task) and will be able to more easily detach themselves in order to evaluate the aspects which can be determined at this stage.
- From the moment the tool is used under conditions relatively close to a real situation (prototype), operator participation is indispensable. Where operators have already been associated in one way or another in the previous design process steps, the same operators should not be used when the prototype test takes place, to avoid putting them in the position of judge and jury.

4.6.9 *Definition of workspace and equipment for the evaluation team*

| |
|------------------------------|
| Requirements of 4.4.4 apply. |
|------------------------------|

The facilities needed for this step can include mock-ups and/or simulators. In these cases, in the preparation, a detailed specification is also given with respect to requirements for these facilities (related to the stage of the design and to the purpose of the tests to be performed).

Requirements for these facilities include:

- representativity of the areas under test;
- physical fidelity (from abstract representation (drawings) to mock-ups and prototypes);
- functional fidelity. This includes:
 - . information content (e.g. use of random data, sample data or complete, accurate data),
 - . dynamics (from static to dynamic real-time).

Other specific equipment can be used in this step (e.g. sound level meters, light meters, and video cassette recorder or photographic equipment).

4.6.10 *Définition de la planification de la revue*

Il convient de développer pendant la préparation une planification détaillée pour l'ensemble des items requis pour l'évaluation et la mise en oeuvre ultérieures des tâches. Il convient d'accorder un intérêt tout particulier à la dépendance des tâches par rapport aux résultats d'autres tâches et au temps évalué requis pour accomplir chaque tâche. Il convient de planifier les tâches, de manière à permettre à l'équipe chargée de la revue un effort de travail ininterrompu. Lorsque des données génériques de revue de conception de salle de commande sont disponibles, il convient d'étudier leur utilisation lors de la préparation et d'adapter les programmes de revue en fonction de ces données. Il convient que la planification tienne compte de toutes les autres activités liées aux facteurs humains (par exemple, revue des procédures), incluant les relations nécessaires d'entrée/sortie de ces activités.

Dans le cas de modification d'une salle de commande existante, il convient de planifier les activités de l'équipe de revue dans la salle de commande afin de réduire toute interférence avec la conduite en salle de commande, en particulier pour les installations en service. Des maquettes ou des simulateurs précis de la salle de commande peuvent être utilisés pour accomplir certaines tâches d'évaluation et d'autres tâches peuvent être menées pendant les périodes d'arrêt de la centrale. Néanmoins, certaines tâches (par exemple, la mesure des conditions ambiantes comme les niveaux sonores) doivent être effectuées dans la salle de commande lorsque la centrale est en service afin d'obtenir des données pertinentes.

Il convient que le programme de planification s'étende de la préparation jusqu'à l'élaboration du rapport de revue de conception de salle de commande. Il convient de définir à ce stade, les responsabilités et les fonctions de tous les membres de l'équipe et d'intégrer les activités de ces membres dans les planifications de revue d'ensemble, d'évaluation et de réalisation.

4.6.11 *Processus de revue*

L'évaluation doit être systématique et le processus correspondant documenté de manière traçable.

De plus, il convient qu'elle comprenne autant que possible des mesures quantitatives des caractéristiques/performances requises.

Pour chaque test ou série de tests prévus, il convient de définir des critères quantitatifs d'acceptabilité.

4.6.12 *Rapports*

Les résultats de chaque tâche de la revue de conception de salle de commande doivent être enregistrés.

Dans la mesure du possible, il est recommandé d'utiliser des formulaires standard afin de systématiser cet effort. Il convient de prévoir un certain laps de temps pendant la préparation pour la mise au point des formulaires devant être utilisés et le développement d'un système approprié pour leur gestion.

Les types de formulaires susceptibles d'être utilisés sont les suivants:

- listes de contrôle pour enregistrer les composants de la salle de commande ou les caractéristiques de conception non conformes aux recommandations ergonomiques de la CEI 964, annexe D et à la CEI 1227;
- formulaires d'anomalies ergonomiques pour identifier la localisation des discordances et décrire leur nature de manière suffisamment détaillée pour que les actions correctives puissent être déterminées;

4.6.10 *Schedule definition for the review*

A detailed schedule for each of the items needed for the evaluation, and for the subsequent assessment and implementation of the operator's tasks should be developed during the preparation. Particular attention should be given to task dependency on the output of other tasks, and to the estimated time required to accomplish each task. These tasks should be scheduled to permit an uninterrupted work effort by the review team. Where generic control-room design review data are available, their utilization should be considered during the preparation, and the review schedules adjusted to account for this input. The schedule should take into account all other human factor-related activities (e.g. procedure review), including necessary input-output relations among these activities.

For modification of an existing control-room, review team activities within the control-room should be programmed to minimize interference with control-room operations, particularly with respect to operating plants. Accurate control-room mock-ups or simulators may be used to accomplish some of the evaluation tasks, and others may be accomplished during plant shut-down periods. However, some tasks (e.g. measurement of ambient conditions such as noise levels) need to be carried out in the control-room during plant operation in order to establish relevant data.

The programme should extend from the preparation to the completion of the control-room design review report. The responsibilities and functions of individual team members should be assigned at this time, and team member activities should be integrated into the overall review, assessment, and implementation schedules.

4.6.11 *Review process*

The evaluation shall be systematic and its process shall be documented in a traceable manner.

Furthermore, it should include, as far as possible, quantitative measures of the required features and performances.

For each test or series of tests planned, quantitative acceptance criteria should be defined.

4.6.12 *Report documents*

The results of each control-room design review task shall be recorded.

Where possible, use of standard forms is recommended to systematize this effort. Time should be provided during the preparation to develop the forms that will be used and to set up a system for their management.

The types of forms that may be needed include:

- check-lists to record control-room components or design features that do not conform with IEC 964, annex D and IEC 1227;
- human engineering discrepancy forms to identify the locations of discrepancies and describe their nature in sufficient detail so that corrective action requirements can be determined;

- formulaires d'inventaire destinés à l'enregistrement des composants présents dans la salle de commande;
- formulaires de mesures spécifiques, par exemple pour niveau sonore, éclairage ambiant, éclairage des écrans et mesures climatiques;
- fiches de contrôle de la documentation telles que cahiers de photographies;
- questionnaire opérateur ou fiches d'entretien;
- fiches d'enregistrement de la réponse de l'opérateur à des essais spécifiques (par exemple, au moyen d'un simulateur);
- formulaires comportant les moyens de vérifier si et comment les remarques ont été notées (pour des raisons de suivi de l'assurance qualité).

Il serait très utile d'enregistrer les données concernant la revue (comme les informations sur l'analyse des tâches et les résultats de l'inventaire et du contrôle de la salle de commande) dans un système automatisé de gestion de bases de données. Les spécifications des inventaires et des tâches pourraient, par exemple, être comparées beaucoup plus facilement à l'aide d'un ordinateur que par tri manuel.

4.6.13 Résolution

Pendant l'étape de validation, les anomalies ergonomiques doivent être évaluées. Les actions correctives doivent être engagées lors de la résolution.

Les implications des résultats de l'évaluation sont identifiées en terme d'un ou de plusieurs des points suivants:

- clarification des critères d'évaluation;
- modifications de conception;
- modifications des procédures;
- amélioration de la formation.

Pour une modification de conception de salle de commande existante, la résolution consiste à définir les priorités et les échéanciers des actions correctives en déterminant l'étendue des modifications à apporter et en justifiant toutes recommandations ou décisions visant à ne pas corriger totalement les discordances.

Une fois ces actions sélectionnées, il convient de les mettre en oeuvre rapidement. Il convient de commencer, dès que l'évaluation est terminée, les améliorations de conception susceptibles d'être apportées sans affecter le fonctionnement normal de la salle de commande (par exemple, modification des caractéristiques de surface, comme les supports d'étiquetage et de localisation). Il convient de planifier suivant un échéancier compatible avec les problèmes de sûreté et d'exploitation de la centrale d'autres améliorations impliquant des modifications à apporter au niveau des équipements ou de la conception de la salle de commande ou nécessitant une nouvelle formation de l'opérateur.

Pour une nouvelle salle de commande, toutes les erreurs identifiées au cours de la phase d'évaluation doivent être corrigées jusqu'à ce que les critères d'évaluation soient respectés.

En cas d'identification de défaillances fondamentales, il convient de développer et d'enregistrer très soigneusement la résolution afin qu'aucun effet secondaire néfaste ne puisse affecter les paramètres de conception considérés comme appropriés au cours de l'évaluation initiale.

Dans tous les cas, la validation doit être répétée pour les parties affectées au fur et à mesure que les modifications proposées sont mises en oeuvre.

- inventory forms to record the components present in the control-room;
- special measurement forms, e.g. for sound, ambient lighting, display lighting, and climate measurements;
- documentation control forms such as photographic logs;
- operator questionnaire or interview forms;
- forms to record operator response to specific tests (e.g. using a simulator);
- forms including means for checking whether or how the comments have been adhered to (for quality assurance follow-up reasons).

Entry of review data (such as the task analysis data and the control-room inventory and survey results) into an automated database management system would be extremely helpful. Comparisons of the inventory and the task specifications, for example, may be made much more readily with computer assistance than by manual sorting.

4.6.13 Resolution

In the validation step the human engineering discrepancy shall be assessed. In the resolution the process of correcting them shall be initiated.

The implications of the evaluation results are identified in terms of one or more of the following:

- clarification of the evaluation criteria;
- design modifications;
- procedure modifications;
- training improvements.

For design modification of an existing control-room, the resolution involves establishing priorities and schedules for corrective action, determining the extent of corrections and justifying any recommendations or decisions that do not fully correct discrepancies.

Once selected, corrective actions should be implemented promptly. Design improvements that can be executed without interfering with normal control-room operation (e.g. changes in surface features such as labelling and location aids) should be initiated as soon as the assessment is completed. Other improvements that involve changes to control-room equipment or design or that require operator retraining should be scheduled for introduction on a schedule consistent with their significance to plant safety and with operational considerations.

For a new control-room, any mistakes identified in the evaluation shall be corrected until the evaluation criteria are met.

If fundamental deficiencies are identified, resolution should be carefully developed and recorded, so that no unfavourable side-effects are imposed on related design concepts which have been found adequate in the original evaluation.

In any case, the validation shall be repeated for the affected parts as the proposed changes are implemented.

5 Vérification et validation des conceptions évolutives et des rénovations

5.1 Généralités

Le jeu complet des exigences de vérification et validation (V&V), décrites à l'article 4, est applicable à la conception totalement nouvelle d'une salle de commande principale d'un type avancé; le terme « avancé » correspond ici à une salle de commande qui est très différente ou novatrice, quand on la compare à des modèles précédents sous des aspects tels que l'interface homme-machine de l'affichage et de la commande (par exemple, à base d'écran de visualisation); la présentation des alarmes, les méthodes de conduite et la réponse générale de l'interface homme-machine (IHM) de la salle de commande aux incidents de la centrale. Par contre, les conceptions évolutives sont celles qui introduisent des changements modestes par rapport aux conceptions des salles de commande précédentes, par exemple dans les aspects décrits ci-dessus.

Dans le cas de conceptions évolutives, il existe typiquement une base de données opérationnelle validée d'informations de conception, de procédures de conduite, de documents de formation, d'expérience d'exploitation et d'informations concernant la revue de conception de la salle de commande, qui peuvent être adéquates et applicables à différents aspects de la dite conception. De tels documents, déjà existants, peuvent servir de remplaçants acceptables pour certaines parties des activités de V&V qui seraient nécessaires pour une conception totalement nouvelle. L'applicabilité de tels documents dépend de leur qualité, de leur étendue, ainsi que de la nature des différences entre la nouvelle conception et la précédente.

En ce qui concerne les rénovations des salles de commande existantes, la nature et l'étendue de la rénovation détermine si elle est le résultat d'une salle de commande évolutive ou avancée. Généralement, les rénovations introduisent des modifications modestes et sont évolutives; cependant une rénovation importante d'une salle de commande avec, par exemple, le remplacement extensif de dispositifs de panneaux conventionnels par des systèmes d'écrans de visualisation, pourrait constituer une conception avancée de salle de commande.

Il convient que les activités V&V pour une conception évolutive soient, comme indiqué ci-dessus, adaptées, suivant les exigences de la présente norme, aux besoins spécifiques et aux circonstances du projet. Pendant cette adaptation, la préparation, l'évaluation et la résolution doivent être représentées. Les activités doivent être documentées de façon appropriée au début d'un projet, si possible dans un programme prenant en compte les facteurs humains.

Il convient que cette documentation contienne également les éléments justificatifs pour l'adaptation (c'est-à-dire identification et justification des carences et des exceptions affectant le processus intégral de V&V).

5.1.1 Degré d'innovation

Comme indiqué ci-avant en 5.1, il convient que les activités V&V soient adaptées aux besoins du projet spécifique, en fonction du degré d'innovation. Plus spécifiquement, cette innovation peut concerner la conception IHM de la salle de commande, ou la structure du personnel qui l'exploite, ou les deux à la fois. Par exemple, un exploitant spécifique peut choisir de placer, dans la nouvelle salle de commande évolutive par rapport aux centrales précédentes en fonctionnement, un nombre plus ou moins grand d'opérateurs.

Le degré d'innovation peut varier, selon un continuum, d'une réplique d'une conception existante exigeant très peu de V&V, en passant par une conception évolutive avec des activités sélectionnées, vers une conception avancée, exigeant toute la gamme des activités V&V. Il convient pour les conceptions évolutives, de sélectionner les activités V&V de telle façon qu'elles concentrent leurs efforts sur les zones de changement et sur leur intégration dans les caractéristiques existantes et éprouvées de la conception.

5 Verification and validation of evolutionary designs and backfits

5.1 General

The full set of verification and validation (V&V) requirements described in clause 4 is applicable to a completely new main control-room design of an advanced type; “advanced” meaning a control-room that is very different or innovative when compared to previous designs in such aspects as: display and control man-machine interface (e.g. VDU-based), alarm presentation, operational methods and general response of the control-room man-machine interface (MMI) to plant upsets. In contrast, evolutionary designs are those which introduce modest changes when compared to predecessor control-rooms in, for example, the aspects described above.

In the case of evolutionary designs, there is typically an operationally validated database of design information, operating procedures, training materials, operating experience and control-room design review information, which may be relevant and applicable to various aspects of the design. Such pre-existing materials can serve as an acceptable substitute for portions of the V&V activities that would be required for a completely new design. The applicability of such materials depends upon their quality, and on the extent and nature of the differences between the new design and its predecessor.

For the case of backfits to existing control-rooms, the nature and extent of the backfit determines whether or not it results in an evolutionary or advanced control-room. Generally backfits introduce modest changes, and therefore are evolutionary; however, an extensive backfit of a control-room with, for example, an extensive replacement of conventional panel devices with VDUs could produce an advanced control-room design.

The V&V activities for an evolutionary design should, as discussed above, be tailored from the requirements in this standard to the specific needs and circumstances of the project. In tailoring, preparation, evaluation and resolution shall be represented. The activities shall be appropriately documented at the beginning of a project, possibly in a human factors engineering programme plan.

This documentation should also contain the rationale for the tailoring (i.e. identification and justification of deficiencies from and exceptions to the full V&V process).

5.1.1 Degree of innovation

As discussed above in 5.1, V&V activities should be tailored in accordance with specific project needs, based upon the degree of innovation. More specifically this innovation may be with the control-room man-machine interface (MMI) design, or with the staff structure that operates the control-room or both. For example, a specific utility may choose to staff the new evolutionary control-room with more or fewer personnel than in operating predecessor plants.

The degree of innovation varies along a continuum from a replica of an existing design, which would require very little V&V, to an evolutionary design requiring selected activities, to an advanced design requiring the full scope of V&V activities. For evolutionary designs, V&V activities should be selected so that they concentrate their effort on the areas of change and their integration with existing, proven features of the design.

5.1.2 *Qualification par similarité*

Lorsque des conceptions déjà appliquées avec succès sont employées de nouveau, il y a une économie dans l'effort de conception, permettant du même coup de produire une conception avec un faible risque d'échec. L'économie résulte du niveau réduit de travail nécessaire pour développer, vérifier et valider les aspects d'une reproduction d'une conception déjà éprouvée. Pour placer une structure autour du processus d'adaptation des efforts de V&V, on peut appliquer la méthode de « qualification par similarité ».

La méthode de qualification par similarité est un argument que les concepteurs peuvent choisir pour les zones de conception qui sont répliquées, permettant de réduire le prix de la conception. Cet argument concerne les aspects de vérification et de validation qui ont été regroupés en conséquence, et s'appellent maintenant « qualification ».

La qualification par la similarité s'applique aux systèmes ou équipements qui sont identiques ou qui diffèrent selon un ou plusieurs paramètres des systèmes ou équipements précédemment qualifiés ou fonctionnant correctement, mais qui peuvent respecter ou dépasser les performances spécifiées. Cela peut se faire en montrant que les différences entre les anciens et les nouveaux systèmes ou équipements n'affectent pas la performance, qui peut même être meilleure. Parmi les exemples de nouvelles caractéristiques pour les systèmes de salles de commande où de tels arguments peuvent être applicables, figurent des systèmes expérimentés substantiellement dans une salle de commande de même conception, ou avec les mêmes éléments suivants:

- niveau d'automatisation;
- affectation des fonctions et des tâches;
- accès aux sources d'informations;
- procédures de maintenance.

Il convient de souligner qu'un fonctionnement autonome sans accident d'un système existant n'est pas suffisant pour obtenir la qualification faisant l'objet d'une expérience globalement satisfaisante par similarité. Il convient de conduire une revue du fonctionnement du système, prouvant l'absence de problèmes significatifs de fonctionnement.

5.2 *Vérification de l'affectation des fonctions*

Pour les conceptions évolutives, une analyse fonctionnelle extensive descendante peut ne pas se révéler nécessaire. La fonctionnalité de la conception peut être démontrée à partir de la documentation existante de la conception, à condition qu'une qualification agréée basée sur des arguments de similarité soit disponible pour les parties de conception reproduites. Il est nécessaire, cependant, d'identifier au niveau macroscopique les fonctions de base de l'installation, même pour les parties dupliquées de la conception. Cette identification de la fonction n'a pas besoin d'inclure des fonctions au niveau des composants, mais elle inclut des fonctions du système de base. Pour les zones novatrices de la conception, de plus grands détails (c'est-à-dire allant jusqu'aux fonctions au niveau du composant) sont nécessaires.

Il convient que les affectations de fonctions associées à des parties dupliquées de la conception soient traitées par la qualification avec des arguments basés sur la similarité.

| |
|--|
| <p>Tous les changements dans l'affectation des fonctions à l'homme ou à la machine et leur intégration à d'autres fonctions doivent être vérifiés pour montrer qu'ils sont en accord avec les possibilités physiques humaines et cognitives de base (par exemple l'anthropométrie et les vitesses de traitement des informations).</p> |
|--|

5.1.2 *Qualification by similarity*

When previous successful designs are repeated there is an economy of design effort in addition to producing a low risk design. This economy results from the reduced level of design effort needed to develop, verify and validate repeated aspects of a design that are proven. In order to place a structure around the process of tailoring V&V efforts, the process of “qualification by similarity” can be followed.

Qualification by similarity is an argument that designers may choose to make for areas of design that are repeated in order to economize design effort. This argument contains both verification and validation aspects and has thus been given the name qualification rather than either verification or validation.

Qualification by similarity is applicable to those systems or equipment which are identical or differ from previously qualified or successfully operating systems and equipment in one or more parameters, but which can be shown to meet or exceed the specified performance. This can be accomplished by showing that the differences between the old and the new systems or equipment do not affect performance or that performance is superior. Examples of new control-room system features where such arguments may be applicable include systems where there is substantial successful operating experience with a control-room of the same design, or the same:

- level of automation;
- assignment of functions and tasks;
- access to information sources;
- maintenance procedures.

It should be emphasized that more than accident-free operation of an existing system is required for a successful qualification by similarity argument. A review of system operation should be conducted that shows the absence of significant operational problems.

5.2 *Verification of the function assignment*

For evolutionary designs extensive top-down function analysis may not be necessary. Functionality of the design can be shown from existing design documentation providing successful qualification by similarity arguments is available for those repeated portions of the design. It is necessary however, to identify at a macroscopic level basic plant functions, even for repeated portions of the design. This function identification does not need to include component-level functions, but needs to include basic system functions. For areas of design innovation, greater detail (i.e. down to component level functions) is necessary.

Function assignments associated with repeated portions of the design should be addressed by qualification by similarity arguments.

Any changes in human-machine function assignment and their integration with other functions shall be verified to show that they are in accordance with basic human physical and cognitive abilities (e.g. anthropometry and information-processing rates).

5.3 Validation de l'affectation des fonctions

Pour les zones où l'attribution des fonctions a changé, et pour l'intégration de ces changements avec des affectations répétées, on doit montrer que les caractéristiques des éléments en fonction du temps, ainsi que leurs affectations, sont en accord avec les capacités cognitives physiques humaines.

Il convient que les séquences types d'événements et la charge de travail de l'opérateur prévues soient complétées de façon à identifier les conditions de surcharge potentielles. Le jugement d'un expert, basé sur les données opérationnelles à partir de conceptions précédentes, peut être utilisé pour évaluer les conditions de surcharge potentielle, par opposition aux analyses formellement détaillées de la charge de travail. Le degré auquel les données opérationnelles adéquates sont disponibles détermine le niveau où les analyses plus formelles de l'ingénierie du facteur humain sont nécessaires.

5.4 Vérification du système intégré de salle de commande

La vérification du système intégré de salle de commande doit se concentrer sur les zones de changement et leur intégration dans la salle de commande.

Il doit être démontré que toutes les exigences adéquates concernant la conception ont été satisfaites (voir 4.5). Il doit être démontré que toutes les commandes, les affichages et les alarmes spécifiées sont bien présents. On doit démontrer que les caractéristiques IHM des zones modifiées sont cohérentes avec celles de la conception existante. En termes de facteurs humains, l'impact de chaque différence doit être expliqué et justifié (par exemple en termes de probabilité d'erreur humaine). Il doit être également démontré que les informations mises à disposition par les nouveaux systèmes sont cohérentes avec celles fournies par les systèmes existants.

5.5 Validation du système intégré de salle de commande

Il convient de concentrer les efforts de validation sur les zones de la salle de commande qui font l'objet de la nouvelle conception, et sur leur intégration. Un soin particulier est nécessaire pour s'assurer que les interactions entre la nouvelle conception et celle déjà existante sont explorées de façon adéquate. Le jugement d'un spécialiste assurera une couverture idoine.

Une validation du système intégré de la salle de commande exige généralement une représentation assez fidèle, capable de reproduire beaucoup des aspects dynamiques de la salle de commande réelle. Pour les conceptions évolutives, des maquettes et/ou des simulateurs des conceptions précédentes peuvent être modifié(e)s et utilisé(e)s pour les validations. Cette approche est économique, pourvu que les différences soient de nature limitée. En plus, les procédures de conduite et les documents de formation concernant les conceptions précédentes peuvent être utilisés quand c'est possible.

Pour les nouveaux projets de construction de centrale, il convient que l'exécution de toutes les procédures de la centrale soit effectuée sur un simulateur d'entraînement de salle de commande afin de former des opérateurs avant la mise en exploitation réelle de la centrale. De telles activités fournissent une assurance supplémentaire que l'adaptation de la procédure de V&V pour une conception évolutive n'a pas négligé certains aspects de l'ensemble intégré. Il convient qu'il existe un mécanisme officiel pour la prise en compte des résultats de ces activités dans la conception de la salle de commande.

5.3 *Validation of the function assignment*

For the areas of function assignment change and the integration of those changes with repeated assignments, it shall be shown that the time-dependent characteristics of functions and their assignments are in accordance with human physical and cognitive capabilities.

Postulating typical event sequences and operator workload should be completed in order to identify potential overload conditions. Expert judgement based on operational data from predecessor designs may be used to assess potential overload conditions, as opposed to detailed formal workload analyses. The degree to which relevant operational data is available determines the degree to which more formal human factors engineering analyses are necessary.

5.4 *Verification of the integrated control-room system*

Verification of the integrated control-room system shall concentrate on the areas of change and their integration in the control-room.

All the relevant design requirements shall be shown to have been satisfied (see 4.5). It shall be shown that all specified controls, displays and alarms are present. It shall be shown that the MMI features of the changed areas are consistent with those of the existing design. The impact in human factors terms of any differences shall be explained and justified (e.g. in terms of human error probability). It shall also be shown that information available through new systems is consistent with that available from existing systems.

5.5 *Validation of the integrated control-room system*

Validation efforts should concentrate on the control-room new design areas and their integration. Careful attention is needed in order to ensure that the interactions between new and existing design are adequately explored. Specialist judgement will ensure adequate coverage.

Validation of the integrated control-room system generally requires a moderately high fidelity representation of the control-room that is capable of reproducing many of the dynamic aspects of the actual control-room. For evolutionary designs, mock-ups and/or simulators from predecessor designs can be modified and used for validation activities. This approach is economical providing the differences are of a limited nature. In addition, operating procedures and training materials from predecessor designs can be used where applicable.

For new plant construction projects, the execution of all plant procedures should take place in a control-room training simulator as part of staff training prior to the plant going into service. Such activities provide further assurance that tailoring of the V&V process for an evolutionary design has not overlooked some aspect of the integrated whole. Results of these activities should have a formal mechanism for their inclusion in the control-room design.

5.5.1 Interactions exigeant un examen

Les interactions exigeant un examen sont celles décrites en 4.6. En bref, ce sont les suivantes:

- la salle de commande et l'opérateur;
- la salle de commande et les procédures de conduite;
- la salle de commande et le programme de formation;
- l'opérateur et le personnel à l'intérieur et à l'extérieur de la salle de commande.

Ces interactions doivent être examinées, car elles ont trait aux zones objet du changement et à leur intégration.

Même les conceptions évolutives soulèvent des questions liées à chacune des interactions mentionnées ci-dessus. Le degré auquel chaque interaction exige un examen dépend de la nature et de l'importance du changement.

Pour les conceptions évolutives, l'accent doit être mis sur les procédures accidentelles et des procédures de conduite normale sélectionnées.

Dans le cadre des conceptions évolutives, l'application des données opérationnelles pour les IHM traditionnels de commande et de surveillance peuvent réduire l'effort de validation. Cependant, en raison de leur caractère de sûreté, il convient que les procédures accidentelles soient examinées de plus près. Il convient que l'effort de validation se concentre sur les zones où une conception novatrice a été appliquée. Par exemple, seules les procédures accidentelles incluant des zones novatrices peuvent exiger un essai. En sélectionnant les procédures ou les sections de procédures à tester en détail, il convient que l'équipe effectuant la validation tienne compte non seulement de ces zones d'innovation, mais également de l'interaction possible entre conceptions nouvelles et existantes, particulièrement celles concernant les procédures accidentelles. Il sera fait appel au jugement d'un spécialiste pour s'assurer qu'une couverture adéquate est obtenue pour ces interactions.

5.5.2 Essais de validation

Il existe de nombreuses voies possibles pour valider la conception. Il convient de les choisir soigneusement en fonction de l'élément en cours d'étude, et la capacité du simulateur à créer la situation de la centrale requise. Cela peut avoir une importance particulière si un simulateur de conception existante est modifié. Il convient que l'expertise des facteurs humains soit impliquée dans le choix des exercices. Les exercices types comprennent les éléments suivants: table ronde, maquettage, simulations avec des scénarios très proches du temps réel, et des simulations en temps réel. Il convient d'employer au moins deux de ces méthodes dans tout programme de validation (voir annexe B pour plus de détails).

5.5.1 *Interactions requiring examination*

Interactions requiring examination are those described in 4.6. Briefly, these are:

- the control-room and the operator;
- the control-room and the operating procedures;
- the control-room and the training programme;
- the operator and the other staff inside and outside the control-room.

These interactions shall be examined as they relate to areas of change and their integration.

Even evolutionary designs usually have issues related to each of the above interactions. The degree to which each interaction requires examination depends upon the nature and extent of the change.

For evolutionary designs, the emphasis shall be on emergency operating procedures and selected normal operating procedures.

With evolutionary designs, the application of operational data for traditional control and monitoring MMI's can reduce the validation effort. However, due to the safety nature of the emergency operating procedures, they should be more fully examined. The validation effort should concentrate on those areas where design innovation was applied. For example, only those emergency operating procedures incorporating areas of innovation may need to be tested. In selecting the procedures or sections of procedures to test in detail, the validation team should consider not only those areas of innovation, but the possible interaction of new and existing designs, particularly where they relate to emergency operating procedures. Specialist judgement will ensure that adequate coverage of these interactions is achieved.

5.5.2 *Validation tests*

There are many possible ways of validating the design. These should be carefully chosen in accordance with the issue under study, and the ability of the simulator to create the required plant situation. This may be of particular importance if a simulator for an existing design is modified. Human factors expertise should be involved in selecting exercises. Typical exercises include: table top, walk-through, quasi real-time simulations of scenarios and real-time simulations. At least two methods should be employed in any validation programme (see annex B for more details).

Annexe A (informative)

Exemple d'approches pour évaluer les performances fonctionnelles

Pour évaluer les performances des fonctions dans des conditions normales (y compris les états d'arrêt), incidentelles ou accidentelles, ainsi que lors des événements représentatifs, plusieurs approches peuvent être appliquées. La description des approches typiques est la suivante:

A.1 Approche analytique

Cette approche peut comprendre:

A.1.1 L'analyse de la séquence de conduite

Elle permet de valider:

- l'aptitude de la salle de commande, en tenant compte des interactions entre les membres de l'équipe de conduite, les postes opérateurs et les systèmes, en vue de réaliser avec succès les fonctions de conception prévues, dans le domaine temporel et spatial;
- l'affectation des fonctions entre l'équipe de conduite et les opérateurs locaux. En particulier, il ne convient pas de contraindre ces derniers à exécuter des tâches de coopération, mutuellement dépendantes, pour mener à bien une fonction qui est soit critique en termes temporels, soit essentielle pour la sûreté de la centrale ou la disponibilité de la centrale.

Si des limitations d'aptitude du personnel de conduite en salle de commande apparaissent, des modifications de conception telles qu'une autre affectation des fonctions, une nouvelle répartition de tâches opérateur ou une modification de l'équipe sont réalisées.

A.1.2 L'analyse de la charge de travail de l'opérateur (avec référence aux données d'aptitude humaine disponibles et suivant toute méthodologie établie)

Il convient que le nombre d'objectifs fonctionnels et le taux de charge de travail demandés au personnel de l'équipe de conduite ne dépassent pas leurs possibilités. La « mesure » de l'aptitude humaine et l'analyse de la charge de travail de l'opérateur détermineront si des conditions de surcharge existent.

Plusieurs facteurs ont une influence sur la charge de travail de l'opérateur. Quelques-uns de ces facteurs sont la conception de la salle de commande, le programme de formation de l'opérateur, les procédures normales et accidentelles, et les relations humaines au sein de l'équipe de conduite. Par exemple, un opérateur peu entraîné peut ressentir une charge de travail élevée en réponse à un arrêt d'urgence de la centrale alors qu'un opérateur bien entraîné peut ne ressentir qu'une charge modérée.

Un objectif consiste à vérifier que les opérateurs sont en mesure d'exécuter, de manière acceptable, toutes les tâches qui leur ont été affectées. Dans des conditions de stress, telles que la conduite de la centrale en condition anormale et accidentelle, l'opérateur, et éventuellement l'équipe, peuvent être surchargés par des demandes, surtout si l'événement dévie par rapport aux exercices de formation.

Une analyse détaillée de la charge de travail mettant l'accent sur les activités cognitives peut être utile pour les situations exposées, lorsque l'opérateur est surchargé.

Annex A (informative)

Example of approaches for evaluating function performance

In order to evaluate the performance of functions for all the normal (including shutdown states), abnormal and emergency conditions as well as the representative events, different approaches can be used. The description of typical approaches follows:

A.1 Analytic approach

This can include the following:

A.1.1 *Analysis of the operation sequence*

This is used to validate:

- the control-room capability, taking into account the interactions among operating staff members, workstations and systems, to successfully complete the intended functions of the design in both the time and space domain;
- the assignment of functions to the control-room staff and local operators. In particular, it should not require them to perform cooperative, mutually dependent tasks for the achievement of a function which is either time-critical or important to plant safety or plant availability.

If control-room operating staff capability limitations are exposed, design modifications such as alternate function assignment, new operator task assignment or modification of the staff are made.

A.1.2 *Assessment of the operator workload (with reference to available human capability data and using any established methodology)*

The number of functional goals and the workload rate required of the control-room staff should not exceed their capability. The “measure” within the human capability and analysis of operator's workload will determine if operator overload conditions exist.

Several factors impact operator workload. Some of these factors are the control-room design, the operator training programme, the normal and emergency procedures, and the human relationships among the members of the operating staff. For example, a poorly trained operator may experience a high workload in response to a plant trip, where a well-trained operator may experience a moderate workload.

An objective is to ensure that operators can acceptably perform all of the tasks assigned to them. Under conditions of stress, such as abnormal and emergency plant operation, the individual operator and possibly the operating staff may become overloaded by demands, especially if the event deviates from training exercises.

A detailed operator workload analysis with emphasis on cognitive activities can be useful for uncovering situations where the operator is overloaded.

Si les conditions de surcharge existent, il convient alors de reconsidérer l'affectation des fonctions en apportant des modifications de conception au niveau d'automatisme, aux panneaux de commande, aux procédures et/ou aux postes opérateurs.

A.1.3 *Analyse de la bibliographie concernant l'erreur humaine*

L'objectif de l'analyse des erreurs humaines est d'étudier la probabilité d'erreurs en conditions de stress ou de charge de travail importante, et d'évaluer les conséquences liées à de telles erreurs. Il convient d'apporter des modifications en prévoyant un nombre supplémentaire de machines et de personnel, une formation supplémentaire ou des modifications de procédures pour réduire la charge de travail de l'opérateur dans toutes les conditions où existe une probabilité élevée d'erreurs humaines en liaison avec des conséquences inacceptables sur le plan de la sûreté.

A.1.4 *Analyse des interactions dans la salle de commande*

Il convient de définir pour cette analyse la fréquence et la criticité associées à toutes les interactions entre l'opérateur et les équipements et/ou entre les opérateurs. Les résultats de l'analyse permettent alors d'évaluer si la conception de la configuration du poste opérateur est appropriée en termes de temps et d'espace utilisés. Une nouvelle conception du poste opérateur peut être nécessaire pour optimiser les facteurs temps et espace, pour que l'opérateur exécute des tâches critiques de manière satisfaisante. Correctement appliquée, cette analyse devrait permettre de concevoir un poste opérateur presque optimal, par exemple la corrélation spatiale des afficheurs et des commandes permettant à l'opérateur de disposer des informations de retour du procédé.

A.2 Approche macroscopique

Cette approche est valable seulement pour la validation de la conception détaillée.

L'application stricte des différents critères définis ci-dessus pourrait entraîner une certaine fragmentation des activités de l'opérateur et des résultats trop théoriques. Il est donc essentiel de considérer l'activité de l'opérateur comme un tout cohérent.

Cela peut être obtenu par une série d'essais expérimentaux concernant les événements les plus critiques, utilisant l'équipe de conduite dans une salle de commande réelle ou simulée.

If overload conditions do exist, then a re-examination of function assignment with design modifications to the automation level, the control panels, the procedures, and/or workstations should be considered.

A.1.3 *Analysis of the reports of past human errors*

The purpose of the human error analysis is to investigate the probability of error during stress conditions or high workload conditions and to evaluate the consequences resulting from these errors. Changes such as additional machines, additional staff, additional training, or modification to procedures to lower the operator's workload should be made for conditions where a high probability of human error exists in conjunction with unacceptable safety consequences.

A.1.4 *Control-room interactions analysis*

The analysis should define the frequency and criticality associated with each of the interactions occurring between operator and equipment and/or between one operator and another operator. The results of the analysis are then used to evaluate the design adequacy of the workstation layout in terms of time and space utilized. A redesign of the workstation may be needed to optimize the use of time and space for the operator to successfully perform critical tasks. Properly applied, this analysis should achieve a near-optimal design for the workstation, for example concerning the spatial correlation of displays with controls to provide the operator with feedback information.

A.2 Macroscopic approach

This approach is only suitable for validation of detailed design.

The strict application of the different criteria defined above could lead to a certain parcelling out of the operator's activity and over-theoretical results. It is thus important to consider the operator's activity as a consistent whole.

This can be achieved by a series of experimental tests related to the more critical events, utilizing the operating staff in a control-room mock-up or simulated environment.

Annexe B
(informative)

Supports d'évaluation

Une exigence générale concernant les maquettes et les prototypes est que, étant donné le but des tests planifiés, les fonctions et/ou l'environnement simulés soient correctement représentés, c'est-à-dire que leurs caractéristiques (complétude, fidélité physique, fidélité fonctionnelle) sont adéquates.

Il est à noter également que dans les tests utilisant des maquettes presque complètes et à grande fiabilité et des prototypes avec simulateurs, l'activité des opérateurs est susceptible d'être biaisée (équipes de conduite incomplètes, absence d'environnement normal d'exploitation sur les plans technique et humain, etc.), à moins qu'une réplique complète de salle de commande existe et que les tests soient conduits avec l'implication de l'équipe de conduite au complet.

Les avantages et les inconvénients de chacun des supports d'évaluation sont résumés dans le tableau B.1.

Tableau B.1 – Avantages et inconvénients de chacun des supports d'évaluation

| Méthodes et support d'évaluation | Avantages | Inconvénients |
|--|--|--|
| Table ronde: revue détaillée de la salle de commande Documentation d'analyse et de conception | Faible délai pour la fourniture des résultats Faible investissement | Incertitude sur l'exhaustivité et sur la pertinence |
| Maquettage et maquette | Résultats fiables pour des fonctions particulières | Absence d'interactions entre fonctions |
| Prototype avec simulateur de centrale | Intégration dynamique des fonctions | Lourdeur de mise en oeuvre spécialement si pleine échelle et temps réel Délai important d'obtention des résultats |
| Application sur site | Analyse du cas réel dans toutes ses dimensions | Difficultés pour modifier la conception à cette étape tardive |

Il convient de noter que:

- La complexité de l'évaluation va en grandissant au fur et à mesure de l'accroissement de la sophistication des supports d'évaluation (de l'analyse de la documentation (spécifications) à l'étude de l'application sur site).
- La marge de manoeuvre suivant l'évaluation, c'est-à-dire la possibilité de retour sur l'évaluation de la conception de l'application, va en diminuant au fur et à mesure que le niveau de sophistication des supports d'évaluation augmente car leur utilisation est généralement plus tardive dans le processus de conception.

Les supports d'évaluation ne sont pas toujours disponibles à tout moment, lors du processus de conception.

Les cahiers des charges et les autres documents de conception sont disponibles tôt dans le processus de conception et gagnent en précision avec le temps. En conséquence, la revue détaillée de la conception de la salle de commande et l'analyse des spécifications est un support d'évaluation, disponible tout au long des phases de conception.

Annex B (informative)

Evaluation aids

A general requirement concerning the mock-up and prototype is that the functions and/or the simulated environment are adequately represented, with respect to the goal of the planned test, i.e. that their characteristics (completeness, physical fidelity, functional fidelity) are adequate.

Note also that in tests utilizing almost complete, high-fidelity mock-ups and prototypes with simulators, the operators' activity is likely to be biased (due to incomplete operating teams, absence of a normal operating environment from both a technical and human viewpoint, etc.), unless a complete replica of the control-room is available and tests are conducted with the involvement of the complete operating staff.

The advantages and disadvantages of each evaluation support are summarized in table B.1.

Table B.1 – Advantages and disadvantages of each evaluation support

| Evaluation aid method and aid | Advantages | Disadvantages |
|---|--|---|
| Table top: detailed review of control-room Design and analysis documentation | Short time delay in giving results Low investment | Uncertainty about exhaustivity and pertinence |
| Walk through and mock-up | Reliable results for particular functions | Absence of interactions between functions |
| Prototype with plant simulator | Dynamic integration of functions | Awkward to implement, especially if full scope – real time Long time delay in giving results |
| On-site application | Real-case analysis in all its dimensions | Difficulties in changing the design at a late stage |

It should be remembered that:

- The complexity of the evaluation increases proportionally as the sophistication of the evaluation aids increases (from the analysis of the documentation (specifications) to the study of the on-site applications).
- The margin of manoeuvre following the evaluation, that is to say the opportunity of reassessing the design concept of the application, will decrease proportionally as the sophistication of the evaluation supports increases, because their use comes generally later in the design process.

The evaluation aids are not always available at every moment throughout the design process.

The specifications and the other design documentation are available early in the design process and become more accurate with time. Consequently, the detailed review of control-room design and analysis documentation is an evaluation aid available throughout all the design steps.

L'utilisation de la maquette complète n'est envisageable que dans une phase tardive. Il en est de même pour un prototype complet qui peut être utilisé durant la phase de prototypage.

Cependant, l'utilisation de maquettes incomplètes ou de prototypes incomplets avec des simulateurs à échelle partielle est recommandée pour anticiper l'évaluation des éléments de base dans une phase plus précoce. Enfin, l'étude de l'application sur site n'est possible qu'en fin du processus de conception.

Les niveaux d'interaction et d'exhaustivité augmentent avec le développement des supports d'évaluation.

The use of a complete mock-up is only envisaged at a later phase. It is the same for a complete prototype which can be utilized during the prototyping phase.

However, the use of non-complete mock-ups or non-complete prototypes with partial-scope simulators is recommended to anticipate the evaluation of basic items in an earlier design step. Finally, the on-site application study is only possible at the end of the design process.

The levels of interaction and completeness increase with the development of the evaluation aids.

Annexe C (informative)

Aspects cognitifs

De manière générale, l'étude des aspects cognitifs correspond à l'étude de toutes les fonctions qui participent au traitement de l'information par l'individu. Dans le cadre de la présente norme, ces fonctions ont été divisées en trois principales catégories d'activités de l'opérateur:

- détection et observation des changements d'état de la centrale;
- diagnostic des modifications et planifications des actions correctives;
- sélection et exécution de commandes.

Des modèles de performances humaines peuvent être utilisés pour caractériser les aspects cognitifs. L'utilisation de tels modèles est recommandée. Dans la figure C.1, un tel modèle de prise de décision est décrit. Ce modèle identifie les trois étapes cognitives différentes définies ci-dessus.

La validation inclut typiquement une phase d'évaluation de l'amélioration des performances de l'opérateur et de l'amélioration des performances de l'équipe de conduite, obtenue grâce aux modifications spécifiques de la conception de la salle de commande. Ces améliorations peuvent être référencées par rapport à la conception de salles de commande existantes/modifiées soit pour des caractéristiques de modification, soit pour une nouvelle conception de salle de commande. Les exigences d'évaluation des améliorations de performance sont répertoriées ci-après.

C.1 Détection et observation

Cette catégorie comprend toutes les activités permettant d'obtenir des informations sur l'état de la centrale, y compris la surveillance par les opérateurs pour déterminer l'état courant de la centrale, la surveillance périodique en vue de la détection de mauvais fonctionnements y compris les évolutions trop faibles pour déclencher des alarmes, et la surveillance décrite par des procédures telles que celles associées au changement de quart.

Les activités cognitives primaires consistent à:

- observer ce qui n'est pas normal ou les tendances qui s'écartent du fonctionnement normal;
- identifier l'état.

L'évaluation comprend une analyse de l'adéquation des performances pour les erreurs potentielles suivantes:

- défaut ou temps excessif de détection et/ou observation des paramètres pertinents de la centrale;
- mauvaise lecture des paramètres pertinents de la centrale;
- défaut ou temps excessif d'identification de l'état de la centrale ou des implications de l'état de la centrale;
- mauvaise communication, à d'autres membres du personnel, de l'état de la centrale ou implication de l'état de la centrale en termes spécifiques à des systèmes particuliers impliqués quand cela s'applique. Cette communication comprend le changement de quart.

Annex C (informative)

Cognitive aspects

Broadly speaking, the study of cognitive aspects corresponds to the study of all functions which make up the processing of information by the individual. For the purpose of this standard, these functions have been split into three major classes of operator activities:

- detection and observation of changes in plant state;
- diagnosis of change and planning for corrective actions;
- selection and execution of control actions.

Human performance models can be used for characterizing cognitive aspects. Use of such models is recommended. In figure C.1 such a decision-making model is described. This model identifies the three different cognitive stages defined above.

The validation typically includes an evaluation of improvement in operator performance and improvement in operating staff performance obtained from the specific control-room design modifications. These improvements may be referenced to existing versus modified control-room designs for either backfit features or a new control-room design. The requirements for the evaluation of performance improvements are given below.

C.1 Detection and observation

This class includes activities concerned with obtaining information about plant status including monitoring by operators to determine current plant status, periodic monitoring to detect malfunctions including trends that are too small to activate alarms and monitoring described by procedures such as those associated with shift turnover.

The primary relative cognitive activities are:

- to observe what is not normal or trends deviating from normal;
- to identify state.

The evaluation includes an assessment of performance adequacy against the following potential types of errors:

- failure or excessive delay in detection and/or observe relevant plant parameter values;
- misreading relevant plant parameter values;
- failure or excessive delay in identifying plant state or implications of plant state;
- failure to communicate to other personnel plant state or implication of plant state in terms specific to individual systems involved where applicable. This communication includes shift turnover.

Il convient que les essais d'évaluation incluent les facteurs répertoriés ci-après, qui contribuent à la complexité de ces activités:

- les nombreuses indications de la centrale à différents niveaux d'abstraction concernant l'état des équipements, l'état du procédé, l'état des fonctions et l'état de l'objectif;
- les variations des paramètres de la centrale qui sont normaux pour le changement d'état de la centrale;
- les changements et/ou manque de changements des paramètres de la centrale en raison d'un mauvais fonctionnement des capteurs de la centrale;
- les changements séquentiels de l'état de la centrale.

C.2 Diagnostic des changements et planification des actions correctives

Cette catégorie inclut toutes les activités relatives aux réactions en cas d'alarme et de perturbation de la centrale. L'accent est mis sur l'identification et l'évaluation de l'implication des défaillances de la centrale par rapport aux fonctions de la centrale et aux objectifs et sur la sélection ou la formulation d'une stratégie de réponse.

Les principales activités cognitives consistent à:

- identifier la défaillance;
- évaluer l'implication de l'état de la centrale;
- sélectionner une réponse ou choisir un objectif;
- formuler un plan d'action.

L'évaluation inclut l'analyse des améliorations des performances applicables aux éventuels types d'erreurs ci-après:

- mauvaise observation ou mauvaise identification d'un état anormal de la centrale ou d'un mauvais fonctionnement du système ou d'une tendance de la centrale à dévier de son état normal;
- mauvais développement d'une bonne compréhension des relations, au niveau des systèmes de la centrale;
- erreurs de fixation (non-prise en compte de signaux qui ne sont pas conformes à l'objectif formulé);
- confiance excessive en certains indices ou stratégie de réponse familière (par exemple, raccourcis dans le modèle de la figure C.1);
- mauvaise prise en compte des effets secondaires négatifs associés à la stratégie de réponse (éventuels conflits d'objectifs);
- compromis inadaptés au niveau des objectifs.

Il convient que les essais d'évaluation incluent les facteurs ci-après qui contribuent à la complexité de ces activités:

- défaillances multiples déclenchant un nombre important d'alarmes (surcharge d'alarmes);
- preuves confuses ou manquantes concernant la défaillance de la centrale;
- changements d'états de la centrale rendant les indices habituels non adaptés;
- défaillances multiples entraînant des situations de conflit d'objectifs et/ou des contraintes pour certaines stratégies de réponse spécifiées.

Tests for this assessment should include the following factors that contribute to the complexity of the activity:

- many plant indications at different levels of abstraction concerning equipment status, process status, function status and goal status;
- variations in plant parameters that are normal for the change in plant state;
- changes and/or lack of change in plant parameters because of malfunctions in plant sensors;
- sequential changes in plant state.

C.2 Diagnosis of change and planning for corrective action

This class includes all activities related to responding to alarms and plant disturbances. The emphasis is on identifying and assessing the implication of plant disturbances with respect to plant functions and goals and on selecting or formulating a response plan.

The primary relevant cognitive activities are:

- identify disturbance;
- assess implication of plant state;
- select response or select goal;
- formulate action plan.

The evaluation includes an assessment of performance improvements for the following potential types of errors:

- failure to observe or recognize an abnormal plant state or system malfunction or a tendency of the plant to deviate from normal state;
- failure to develop a correct understanding of implications at the plant systems level;
- fixation errors (ignoring evidence that is inconsistent with goal formed);
- over-reliance on familiar clues or response plans (e.g. short-cuts in figure C.1);
- failure to account for negative side-effects associated with response plan (potential goal conflicts);
- making inappropriate goal trade-offs.

Tests for this assessment should include the following factors which contribute to the complexity of these activities:

- multiple faults that produce a large number of alarms (alarm overload);
- missing or obscured evidence regarding plant disturbance;
- changes in plant states that make familiar clues inappropriate;
- multiple faults that create goal conflict situations and/or place constraints on specified response plans.

C.3 Sélection et exécution d'actions spécifiques

Cette catégorie comprend les activités relatives aux changements d'état ou de mode de conduite de la centrale (arrêt, réduction de puissance, démarrage), à la mise en service et/ou hors service des systèmes ou équipements.

Alors que l'objectif essentiel de cette catégorie d'activités s'articule autour de la planification et de l'exécution de réponses, les principales activités cognitives consistent à :

- observer l'état de la centrale;
- sélectionner et formuler une stratégie de réponse basée sur le diagnostic et incluant la sélection d'objectifs, la planification du bon chemin et le choix et/ou la formulation des actions;
- exécuter des actions;
- obtenir un retour du procédé sur les effets des actions.

Ce retour comprend la vérification de la mise en oeuvre, la surveillance des changements d'état de la centrale et la réalisation des objectifs prévus.

Ces activités cognitives sont décrites à la figure C.1.

L'évaluation inclut une analyse des améliorations de performance pour les éventuels types d'erreurs ci-après :

- mauvaise surveillance des systèmes automatiques et de passage en mode manuel si nécessaire;
- mauvais contrôle des conditions préalables, d'anticipation des effets secondaires et des conditions résultantes;
- mauvaise exécution par omission ou délégation de pouvoirs (action erronée ou en dehors des séquences);
- mauvais retour procédé sur des actions afin de vérifier la mise en oeuvre et de valider l'effet de l'action sur l'état de la centrale et l'objectif voulu;
- mauvaise synchronisation avec les éléments dynamiques du processus pour toutes activités de commande synchronisée;
- mauvaise coordination et/ou communication avec d'autres membres de l'équipe de conduite.

Il convient que les essais d'évaluation incluent les facteurs ci-après qui contribuent à la complexité de ces activités :

- dynamique du procédé complexe, notamment changements d'état du procédé rapides ou à longue échéance;
- paramètres manquants ou confus;
- actions prises par plusieurs opérateurs, à la fois manuelles et automatiques;
- effet secondaire négatif des actions nécessitant une nouvelle évaluation des états de la centrale et modifications apportées aux actions planifiées.

C.4 Utilisation des procédures

Comme les trois catégories d'activités cognitives décrites ci-dessus nécessitent toutes l'utilisation de procédures, cela est susceptible de poser des problèmes d'évaluation indépendants du contenu de la procédure. L'activité qui suit ladite procédure requiert une prise en considération spéciale pendant le développement des essais.

C.3 Selection and execution of specific actions

This class includes activities concerned with making changes in plant states or plant modes of operation (shut-down, power reduction, start-up) putting systems or equipment into operation and/or taking systems or equipment out of operation.

While the emphasis for this class of activities is in planning and execution of responses, the primary relevant cognitive activities are:

- observing plant state;
- selecting and formulating a response plan based on the diagnosis and including goal selection, planning success path and selecting and/or formulating actions;
- executing actions;
- obtaining feedback on effects of actions.

This feedback includes verification of implementation, monitoring change in plant state and achievement of intended goals.

These cognitive activities are described in figure C.1.

The evaluation includes an assessment of performance improvements for the following potential types of errors:

- failure to monitor automatic systems and take manual intervention when required;
- failure to check preconditions, anticipate side-effects and post-conditions;
- failure of execution through errors of omission or commission (wrong action or out of sequence);
- failure to obtain feedback on actions to verify implementation and validate that action had proper effect on plant state and desired goal;
- failure to keep pace with process dynamics for event-paced control activities;
- failure to coordinate and/or communicate with other members of operations staff.

Tests for this assessment should include the following factors which contribute to the complexity of these activities:

- complex process dynamics including rapid or long time-delay process changes;
- missing or obscured parameter values;
- actions taken by multiple operators – both manual and automatic;
- negative side-effects of actions requiring reassessment of plant states and modifications to planned actions.

C.4 Use of procedures

Since the three classes of cognitive activities described above all require the use of procedures, this may raise evaluation issues independent of the procedure content. The activity following the procedure requires special consideration in the development of the tests.

Il convient que le système prototype comprenne à la fois une sortie papier et une présentation de la procédure informatisée et il convient de représenter, au cours des essais, les procédures et les activités suivantes:

- événements nécessitant l'exécution linéaire d'une seule procédure;
- événements nécessitant des quarts pendant et entre les procédures;
- événements impliquant l'usage simultané de plusieurs procédures;
- événements nécessitant une déviation par rapport aux procédures ou événements qui génèrent un conflit au niveau de la sélection de procédures.

Les analyses des résultats des essais pourront également mettre en évidence le besoin de modification des procédures adoptées.

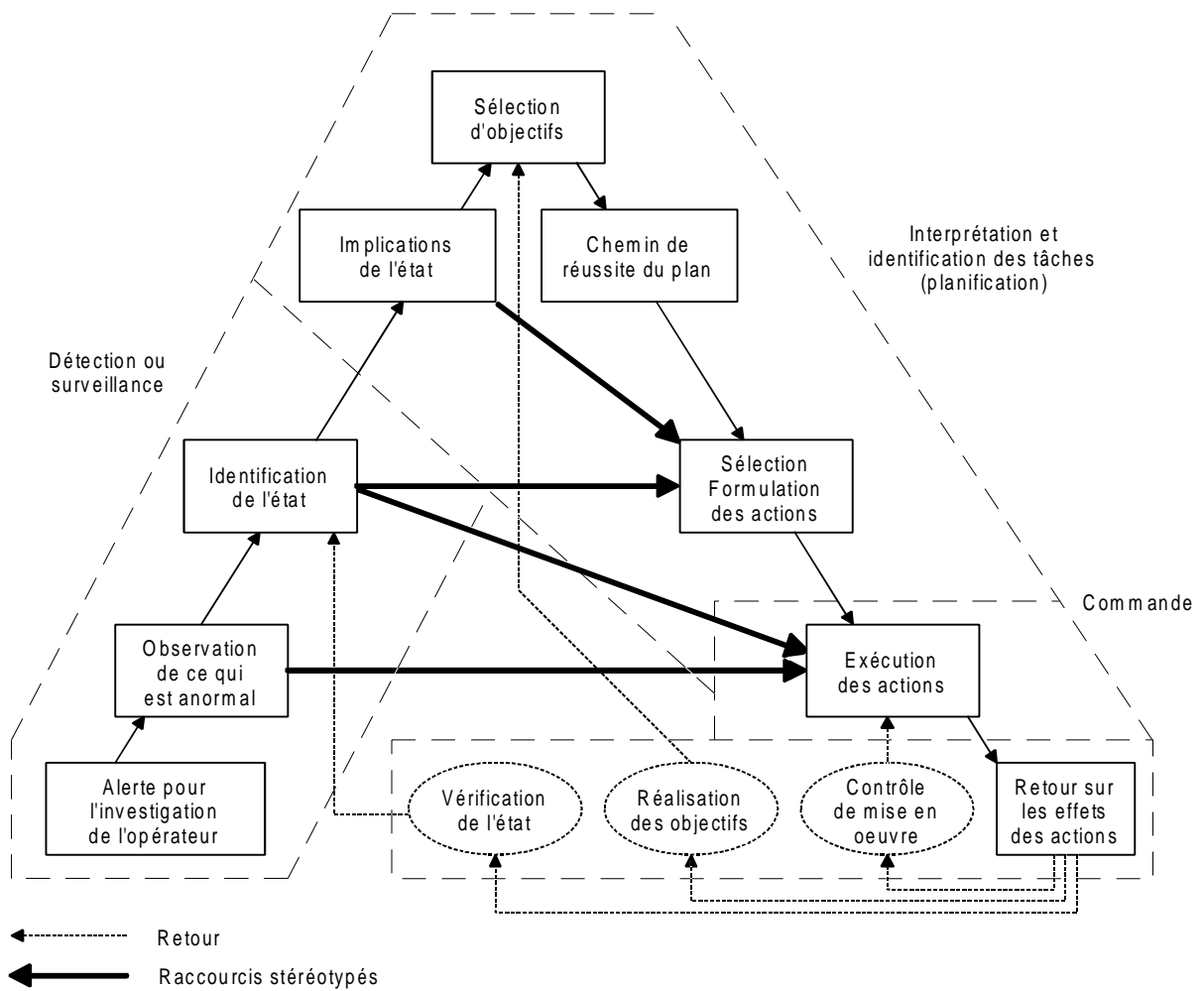


Figure C.1 – Modèle de prise de décision de l'opérateur

Annexe D (informative)

Méthode d'évaluation typique

Cette annexe donne une description générale d'une méthode d'évaluation proposée, avec quelques exemples et une discussion concernant les avantages et les inconvénients.

D.1 Etapes de la méthode

La figure D.1 ci-après représente le schéma général des principes de formulation de la méthode d'évaluation:

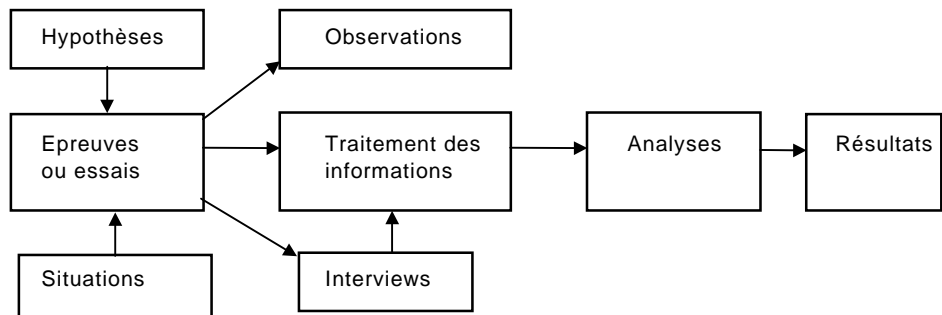


Figure D.1 – Organisation typique pour une évaluation

Pour chaque thème d'évaluation, on définit un ensemble d'hypothèses. Les hypothèses couvrent les points à analyser de manière à évaluer l'utilisation de la salle de commande (commandes, alarmes) par les opérateurs pour la conduite. En fonction des thèmes, l'hypothèse peut être plus ou moins détaillée. Des exemples d'hypothèses sont:

- les opérateurs sont capables de conduire correctement la centrale quelle qu'en soit la situation;
- les opérateurs sont capables d'interpréter rapidement et correctement les messages d'alarme (test vérifiant comment les perturbations sont détectées et comprises au moyen du système d'alarme);
- l'équipe de conduite est capable d'appliquer efficacement et effectivement des procédures indépendantes et simultanées (test sur la commande de la centrale à partir de plusieurs procédures simultanées).

Pour chaque hypothèse, il y a une définition d'une liste de résultats de mesure (observables):

- les observables sont les éléments de l'activité des opérateurs (utilisation du dialogue, poste opérateur, communications verbales et direction du regard) ou l'état du processus (occurrence des alarmes, changement d'état);
- les observables sont choisis en fonction de leur « sensibilité » à l'hypothèse. Il s'agit des éléments les mieux adaptés pour la validation (théorique) de l'hypothèse considérée.

En même temps, pour chaque hypothèse, les premières étapes de traitement des observables sont définies. La définition des observables et du traitement sont les premiers éléments pouvant être utilisés en vue de la constitution d'une base de données utile permettant de réaliser, si cela est souhaité, des analyses statistiques des résultats.

Annex D (informative)

Typical evaluation method

This annex gives a general description of a suggested evaluation method, together with some examples and a discussion about its advantages and disadvantages.

D.1 The stages of the method

The diagram of the more general formulation principle of the evaluation method is shown in figure D.1:

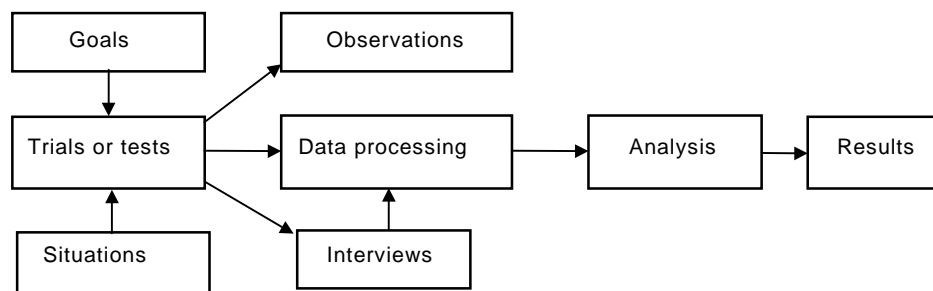


Figure D.1 – Typical organization of an evaluation

For each evaluation theme, a set of goals is defined. The goals cover the points for analysis in order to evaluate the use of the control-room systems (controls, alarms) by the operators for the operation. Depending on the themes, the goal can be more or less detailed. Examples of goals are:

- the operators are able to correctly operate the plant, whatever the plant situation;
- the operators are able to interpret alarm messages promptly and correctly (test verifying how disturbances are detected and understood using the alarm system);
- the operating staff is able to efficiently and effectively use independent, concurrent procedures (test about plant control using multiple, simultaneous procedures).

For every goal, there is a definition of a result measurement list:

- the result measurements are the activity elements of the operators (use of dialogue, workstation, verbal communications, and eye direction), or the process state (alarm occurrence, change of state);
- the result measurements are chosen as a function of their sensitivity to the goal. These are activity elements which are the most able (theoretically) to validate the goal considered.

At the same time, and for each goal, the initial processing to be carried out on the result measurements are defined. The definition of result measurements and processing are the first elements of consideration which can constitute a useful database to enable the results to be statistically analysed if so desired.

Les situations sont définies comme une fonction des hypothèses. Dans le cas d'un prototype, elles correspondent à des scénarios de conduite plus ou moins réalistes:

- le test d'une hypothèse peut nécessiter le passage et l'observation de certaines phases de conduite (par exemple, phase de conduite où le nombre d'alarmes est important en vue du test du nombre d'écrans d'alarmes);
- dans des situations spécifiques, certains besoins peuvent être formulés de manière qu'on puisse les utiliser pour tester plusieurs hypothèses.

Du temps réservé pour les entretiens permet de compléter les phases d'observation:

- ces entretiens peuvent avoir lieu pendant ou après l'observation;
- dans tous les cas, les outils à utiliser lors de ces entretiens sont définis (questionnaires, guides d'entretien par thème, données d'observations utilisées comme support pour l'entretien).

Ces entretiens ont un triple rôle:

- obtenir des explications des opérateurs sur les résultats obtenus afin d'aider à l'analyse;
- obtenir des données plus détaillées sur des problèmes spécifiques rencontrés au cours des observations;
- obtenir une opinion globale sur la salle de commande (en recueillant des points de vue en termes d'avantages ou d'inconvénients, de forces ou de faiblesses).

D.2 Scénarios de validation

Les scénarios sont des descriptions écrites de situations de fonctionnement sélectionnées, adaptées à la méthode de validation choisie. Ces scénarios sont représentatifs de l'installation et couvrent:

- la conduite normale (par exemple démarrage, pleine puissance et arrêt) et les transitoires (par exemple déclenchement de turbine, perte des sources externes, des sources internes);
- la défaillance de l'instrumentation (par exemple unité de commande logique, systèmes à tolérance de fautes, unités d'acquisition décentralisée pour les systèmes multiplexés, automate);
- les défaillances multiples des équipements et du traitement (par exemple perte d'écrans de visualisation, perte de traitement de données, perte d'un affichage général grande dimension);
- les conditions accidentelles (par exemple rupture de la tuyauterie principale vapeur, apport de réactivité, insertion d'une grappe de commande en puissance, éjection de grappe de commande, ATWS, et APRP de taille variable).

Les scénarios décrivent les conditions initiales, la séquence adaptée des réponses prévues et des symptômes applicables. Les procédures à suivre lors de la conduite de la centrale sont communiquées de manière à permettre une prise en compte des critères d'évaluation.

L'évaluation caractérise la manière d'utiliser l'outil et les difficultés rencontrées. Il convient que l'échantillonnage de situations à observer couvre des situations différentes. En accord avec les supports d'évaluation concernés, tels que définis en 4.6.6, ces situations auront une définition différente; mais dans tous les cas, elles représenteront la tâche. Maîtriser les caractéristiques des situations de référence est important. Ainsi, il est possible d'établir à l'intérieur de chaque thème d'évaluation des liaisons bien identifiés entre la mise en oeuvre d'une activité et le contexte représentatif de la tâche à exécuter.

The situations are defined as a function of the goal. In the case of a prototype, they correspond to more or less realistic operating scenarios:

- the test of a goal can require the passage and observation of specific operating phases (e.g. an operating phase in which the number of alarms is important in order to test the number of alarm screens);
- in specific situations, certain needs can be formulated in such a way that they can be used to test several goals.

Time reserved for interviews makes it possible to complete the observation phases:

- these interviews can take place during or after the observation;
- in all cases, the tools to be used during these interviews are defined (questionnaires, interview guides by theme, observation data used as an aid for the interview).

These interviews have a triple role:

- to obtain explanations from the operators on the results obtained, in order to help in the analysis;
- to obtain more detailed data on specific problems encountered during the observation;
- to obtain an overall opinion on the control-room (collecting opinions in terms of advantages or disadvantages, strengths or weaknesses).

D.2 Validation scenarios

The scenarios are written descriptions of selected operational situations adapted to the chosen validation method. These scenarios are representative of the actual plant and cover:

- normal operation (e.g. start-up, full power, and shutdown operations) and transients (e.g. turbine trip, loss of off-site power, station blackout);
- instrumentation failure (e.g. logic and control units, fault-tolerant controllers, local field units for multiplex system, controller);
- equipment and processing multiple failures (e.g. loss of VDUs, loss of data processing, loss of large overview display);
- emergency conditions (e.g. main steam line break, positive reactivity addition, control rod insertion at power, control rod ejection, ATWS, and various-sized LOCAs).

The scenarios describe the initial conditions, the proper sequence of plant responses and applicable symptoms. The expected paths to be followed when operating the plant are given in order to allow for the evaluation criteria to be addressed.

The evaluation assesses the ways of using the tool and the difficulties met. Sampling of situations to be observed should therefore cover different situations. In accordance with the evaluation aids concerned, such as defined in 4.6.6, these situations will have a different definition, but in all cases they will represent the task. Controlling the characteristics of the reference situations is important as it is then possible to establish within each evaluation theme well identified links between the implementation of an activity and the representative context of the task to be carried out.

Dans le cas d'essais sur prototype couplé à un simulateur, les situations testées sont échantillonnées non seulement sur le plan de l'état du procédé, mais surtout de son incidence sur les activités des opérateurs. La définition des scénarios représentatifs de toutes les situations de fonctionnement sera établie en tenant compte des différentes parties de l'activité des opérateurs.

C'est pourquoi il pourrait être préférable de séparer l'évaluation ergonomique d'une éventuelle évaluation strictement fonctionnelle, pour laquelle les exigences de scénario seront vraisemblablement différentes.

En effet, l'évaluation fonctionnelle ayant pour but de s'assurer que les moyens prévus par l'outil permettent de gérer « techniquement » toutes les situations, il est nécessaire d'étudier l'éventail le plus large possible de situations de fonctionnement, afin de vérifier si le système permet de répondre à des cas de figure très variés.

Cette recherche d'exhaustivité des situations de fonctionnement est difficilement compatible avec la sélection de scénarios représentatifs de situations pertinentes vis-à-vis des thèmes d'évaluation ergonomique. Il est aussi difficile d'être sûr d'une certaine validité statistique des résultats et de tenir compte des possibilités de variation des comportements d'un individu à l'autre.

Cette incompatibilité pourrait augmenter le nombre de situations nécessaires et donc le nombre d'essais à tester.

D.3 Données et traitement

L'évaluation des divers paramètres repose sur l'acquisition et le traitement des données de test.

Ces données concernent d'abord l'utilisation de l'interface homme-machine, mais aussi les éléments pouvant servir de référence, tels que les normes et les recommandations applicables.

D'une manière générale, les données appropriées varient en fonction du support évalué (spécifications, maquette, prototype, salle de commande réelle). Le détail dans les résultats ainsi que l'objectif d'évaluation et les données accessibles à l'opérateur varient en fonction de l'état d'avancement du processus de conception.

Si les spécifications de l'interface homme-machine sont évaluées à un stade préliminaire, il n'est pas possible d'observer le comportement des utilisateurs. L'évaluation ne peut être réalisée qu'à partir de normes de références ergonomiques, d'analyses spécialisées faites par des ergonomes et d'une liste de contrôle des paramètres essentiels à évaluer. A ce stade, les données restent très qualitatives et l'évaluation est basée sur le jugement des spécialistes. Le résultat est une fonction de l'aptitude du spécialiste à mettre en évidence d'éventuels problèmes à partir de l'analyse des spécifications. Il convient que le spécialiste identifie les anomalies et propose, le cas échéant, des recommandations.

Aux stades ultérieurs de la conception, l'évaluation est basée sur l'utilisation des outils par les opérateurs, sur les objectifs de l'évaluation et sur le recueil des données d'observation concernant les comportements, le suivi d'activité, les opinions et les commentaires explicatifs fournis par les opérateurs au cours des entretiens.

En fait, il est nécessaire de recueillir cinq types de données:

- données sur le contexte d'évaluation (paramètres caractérisant la situation simulée, les opérateurs);
- données sur les effets de l'utilisation sur le procédé (efficacité de conduite, erreurs);

In the case of prototype trials coupled to a simulator, the situations tested are sampled not only from the process state viewpoint, but especially from its effect on the operators' activities. The definition of scenarios representative of the plant situations will be made taking into account the different parts of the operators' activity.

This is why it might be preferable to separate the ergonomic evaluation from a possible strictly functional evaluation for which the scenario requirements will probably be different.

In effect, as the aim of the functional evaluation is to assure that proper use of the tool makes it possible to technically handle all situations, it is necessary to undergo the widest possible spread of operating situations in order to see if the system makes it possible to respond to cases in very varied forms.

This complete research into operating situations is difficult to match with the selection of scenarios representative of pertinent situations in regard to the ergonomic evaluation themes. It is also difficult to be sure of a certain statistical validity of the results and to take into account the individual variability of behaviour.

This incompatibility could increase the number of situations necessary and thus the number of samples to be tested.

D.3 Data and processing

The evaluation of the various parameters relies on the gathering and processing of test data.

These data primarily concern the use of the man-machine interface, but also elements which can serve as reference, such as applicable standards and recommendations.

Generally speaking, the appropriate data varies according to the evaluated support (specifications, mock-up, prototype, real control-room). The detail in the results as well as the evaluation objective and data accessible to the operator differ, as the design is developed.

If the evaluation of the man-machine interface specifications takes place at a preliminary stage, it is not possible to observe the users' behaviour. The evaluation can only be made from ergonomic reference standards, expert evaluation by ergonomists and a check-list of important parameters to be evaluated. At this stage the data remain very qualitative and the evaluation is based on expert judgement. The result is a function of the expert's ability to reveal the potential problems from the analysis of the specifications. He should identify the anomalies and, if required, give recommendations.

At the final stages of the design, the evaluation is based on the operators' use of the tools, evaluation objectives and the collection of observation data of behaviour, activity tracking, opinions and explanatory comments given by the operators during interviews.

In fact it is necessary to collect five kinds of data:

- data on the evaluation context (parameters characterizing the simulated situation, the operators);
- data on the utilization effects on the process (operating efficiency, errors);

- données sur l'utilisation de l'interface (manipulations d'interface de désignation, enregistrement des informations);
- données sur le comportement observé (échanges verbaux, direction du regard, déplacements, postures, commentaires);
- données sur la perception de l'utilisateur, enregistrements des avis exprimés au cours des entretiens.

Les données recueillies peuvent être détaillées ou structurées. Au cours de l'évaluation, les données enregistrées peuvent devenir de plus en plus structurées à mesure que les problèmes posés par l'utilisation de l'interface se précisent.

Il pourrait être nécessaire de compléter ces données avec les résultats obtenus au cours de divers essais d'utilisation partielle, d'estimer certains paramètres auxquels il est difficile d'accéder dans le cadre d'une utilisation globale (par exemple, test de mémorisation, test de codage).

Les données recueillies peuvent être classées en termes de données objectives (par exemple, délai pour réaliser une tâche) et subjectives (par exemple jugements faits par les membres de l'équipe). Ces deux catégories sont complémentaires et constituent deux points de vue différents, correspondant à une même réalité.

Les données objectives (ou d'observation) permettent d'intégrer les informations obtenues par d'autres moyens (opinions des opérateurs, impressions des spécialistes), de révéler certains phénomènes non détectés par ailleurs, ou de valider l'hypothèse. Inversement, les données subjectives fournissent des éléments explicatifs sur des comportements observés au cours des essais ou permettent de résoudre des problèmes complexes et d'en détecter d'autres. Par exemple, l'usage excessif d'une fonction de dialogue n'est pas nécessairement caractéristique d'une conception satisfaisante, notamment si l'usage d'une telle fonction est rendu obligatoire en raison du manque d'alternatives. C'est le cas pour l'évaluation de certains paramètres cognitifs, pour lesquels il est difficile de trouver des objectifs pertinents à observer: on peut donc prendre comme base les données recueillies lors de l'entretien.

Les mesures choisies sont sélectionnées en accord avec les résultats en cours d'étude, la fidélité de la plate-forme et la position de l'équipe en cours d'étude. De manière générale, il convient que la validation repose à la fois sur des données subjectives et sur des mesures objectives choisies de manière à aider l'évaluation subjective de la performance du système. Pour les mesures subjectives, il est important d'établir leur fiabilité et validité avant de les utiliser dans des exercices de validation. Il convient d'utiliser des méthodes psychométriques standard pour cet objectif (par exemple corrélations entre observateurs).

L'utilisation d'un traitement scientifique et de méthodes d'analyse de données est recommandée. Le besoin d'une base de données et d'analyse se fait encore plus pressant lorsque les quantités de données à traiter sont volumineuses, faute de quoi de telles informations ne seraient pas exploitables.

Les données quantitatives seront effectivement stockées dans une base de données permettant un traitement informatique ultérieur au moyen d'outils statistiques.

Il est recommandé que la définition des données à collecter et le traitement à effectuer sur ces données fassent partie d'un ensemble cohérent, incluant *a priori*:

- la définition des objectifs d'évaluation;
- les hypothèses à valider ou les paramètres à évaluer;
- les données à acquérir;
- le traitement de ces données;

- data on interface utilization (tracking interface manipulations, information registering);
- data on observed behaviour (verbal exchanges, eye direction, displacements, postures, comments);
- data on user perception, recording of opinions expressed during interviews.

Data gathered can be detailed or structured. During the evaluation, recorded data can progressively become more and more structured as the problems posed by the interface usage become more precise.

It might be necessary to complete this data with the results of various partial use tests, to appraise certain parameters difficult to separate out in a global utilization (e.g. memorization test, coding test).

The data to be gathered can be classified in terms of objective data (e.g. time to perform a task) and subjective data (e.g. judgements made by staff members). These two categories are complementary and constitute two different viewpoints of the same reality.

Objective data (or observation), make it possible to integrate information obtained through other means (operators' opinions, experts' impressions), to bring out certain otherwise undetected phenomena, or to validate the goal. Inversely, subjective data give explanatory elements to the types of behaviour observed during the tests or make it possible to investigate difficult problems and detect others. For example, the excessive use of a dialogue function is not necessarily characteristic of a well balanced design, particularly if the use of this function becomes obligatory due to lack of alternatives. This is the case for the evaluation of certain cognitive parameters, for which it is difficult to find pertinent objective data to observe: one can therefore take as a basis the data obtained during the interview.

The measures chosen are selected in accordance with the issues under study, platform fidelity and staff position under study. In general, validation will rely both on subjective data and on objective measures that should be chosen in order to support subjective assessments of system performance. For subjective measures, it is important to establish their reliability and validity before applying them in actual validation exercises. Standard psychometric methods should be used for this purpose (e.g. inter-observer correlation).

The use of scientific processing and data analysis methods is recommended. The need for a data and analysis base is even greater when there is a large quantity of data to be processed, and may not be exploitable without it.

The quantitative data collected will be effectively stored in a database permitting subsequent computer processing with statistical tools.

It is recommended that the definition of the data to be collected and the processing to be carried out on these data form part of a coherent step, *a priori* including:

- the definition of evaluation objectives;
- the goal to be validated, or parameters to be evaluated;
- the data to be gathered;
- the processing of these data;

- la saisie réelle;
- le traitement et l'interprétation des résultats.

Toutes les données doivent être structurées de manière à permettre une comparaison et une vérification croisée entre les informations requises pour les évaluations ergonomiques par thèmes définis dans les chapitres précédents.

Il est recommandé de faire en sorte que les ergonomes consultent les statisticiens tout au début de cette étape, de manière à faciliter le choix des données et la structure des tables de données en fonction de l'analyse envisagée, puis le traitement de ces données.

Les analyses qui pourraient être réalisées sur ces données sont les suivantes:

- simple tri et présentation des données pertinentes pour l'analyse d'un événement spécifique;
- approche statistique permettant une analyse macroscopique du phénomène à étudier;
- approche heuristique permettant de rechercher la présence de phénomènes ou d'éléments d'information sur un paramètre à évaluer;
- approche ciblée pour une meilleure compréhension d'un phénomène spécifique.

D.4 Exemple d'application

Un exemple simple peut être donné: on désire vérifier que le tableau synoptique mural de contrôle général est utile et même nécessaire pour l'équipe.

Les situations et les scénarios sont définis en accord avec le but du tableau synoptique. Les différentes situations sont par exemple des conditions de palier, des conditions d'urgence, la perte de stations de travail informatisées.

Les données objectives à traiter sont définies, par exemple, comme le nombre de coups d'oeil des opérateurs au tableau synoptique mural, et les échanges entre opérateurs.

Pendant le déroulement du scénario, ces données sont acquises (manuellement ou automatiquement, si possible) et traitées dans une base de données.

Au cours des réunions suivant le déroulement des scénarios, les données subjectives sont acquises et, si possible, comparées aux données objectives. Par exemple, un opérateur peut soutenir que le tableau synoptique mural est totalement inutile, bien qu'il lui jette un coup d'oeil toutes les minutes et qu'il ait constaté de cette manière le changement affectant un circuit particulier.

D.5 Avantages et inconvénients de la méthode d'évaluation

La méthode décrite présente des avantages sur un certain nombre de points:

- L'organisation des ressources humaines et techniques mises en oeuvre pour l'évaluation:
 - . cette organisation permet de faire converger les moyens pour effectuer une analyse ergonomique du travail;
 - . un certain nombre d'investissements préalables peuvent être justifiés (nombre d'essais, nombre d'équipes de conduite, type d'outils de saisie).
- La coordination des observateurs:
 - . cette étape permet à des personnes (ergonomes, techniciens, concepteurs) dont les vues, méthodes et attentes sont différentes, de travailler en collaboration, et de coordonner leurs activités;

- the actual collection;
- the processing and interpretation of the results.

All data have to be structured to permit comparison and cross-checking between data required for the ergonomic evaluations by themes defined in the preceding chapters.

It is recommended to have ergonomists consult with statisticians at a very early stage in this step, in order to help in the choice of data and the structuring of data tables as a function of the envisaged analysis, and then the processing of this data.

The analyses which could be done on this data are:

- simple sorting and presentation of data pertinent to the analysis of a specific event;
- statistical approach enabling a macroscopic analysis of the phenomena to be carried out;
- heuristic approach, which makes it possible to search for the presence of phenomena, or information elements on a parameter to be evaluated;
- targeted approach to better understand a specific phenomena.

D.4 Application example

A simple example can be given: the goal might be to check that the overview wall mimic is useful and even necessary for the team.

The situations and the scenarios are defined in accordance with the goal of the mimic. The different situations are, for instance, steady conditions, emergency conditions, loss of computerized workstations.

The objective data to be processed are defined, for instance the number of glances of the operators to the mimic, the exchanges between the operators.

During the scenarios, these data are gathered (either by people or automatically if possible) and processed in a data base.

During the interview after the scenarios, the subjective data are gathered and if possible compared to the objective ones. For instance, an operator can claim the wall mimic is not useful at all, though he had a look at it each minute and saw the change of state of a particular circuit.

D.5 Advantages and disadvantages of the evaluation method

The method described gives advantages on a certain number of points:

- Organization of human and technical resources used for the evaluation:
 - . this organization makes it possible to converge the means in order to carry out an ergonomic analysis of the works;
 - . a certain number of prior investments can be justified (number of trials, number of operating teams, type of acquisition tools).
- Coordination of observers:
 - . this step enables ergonomists, technicians and designers whose methods and expectations are different to be brought together to coordinate their activities;

- . chacun peut avoir un suivi global de l'ensemble des thèmes de l'évaluation;
- . cette approche commune donne à chacun la possibilité de trouver les éléments dont il a besoin pour les analyses spécifiques à son pôle d'intérêt.
- La construction des outils d'observation; les outils de recueil des données lors des phases d'observation ou lors des entretiens peuvent être spécifiés assez tôt.
- La mise en oeuvre et l'enchaînement des différentes étapes de la démarche. Le découpage initial en thèmes d'étude permet de délimiter et de préciser sur quoi porte l'évaluation et donc de faciliter l'application de la démarche, selon une certaine chronologie, à partir de la rédaction des hypothèses par thèmes.

Les caractéristiques de la démarche présentée peuvent également engendrer un certain nombre d'imprécision ou de difficultés:

- Concernant le recueil des données et leur analyse:
 - . l'usage d'une grille de lecture implicite pour l'analyse des résultats, est susceptible de conduire à une mauvaise interprétation. Dans ce cas, cette interprétation risque d'être affectée par des présupposés sur le travail futur probable. Les présupposés peuvent avoir été définis par les ergonomes ainsi que les autres personnes impliquées dans l'évaluation, lors de la préparation de la méthode;
 - . il peut y avoir création d'un carcan susceptible d'empêcher l'émergence, lors de l'évaluation, d'un problème ou d'un aspect générique qui n'était pas intégré dans la préparation de la méthode.

- Concernant l'exhaustivité de la méthode:

Lors de sa mise en oeuvre, il est essentiel de rester ouvert à toutes possibilités de réajustement, ce qui permet de compléter des aspects pour lesquels aucun outil d'évaluation n'avait été prévu à l'origine (par exemple: essais de mémorisation de codage), afin de fournir des moyens garantissant que le champ couvert est exhaustif.

- Concernant le découpage en thèmes:

- . hétérogénéité entre thèmes. La comparaison des thèmes montre que certains sont spécifiques, c'est-à-dire que leur définition reflète bien les limites de leur champ d'action, car ils portent sur des objets précis de l'évaluation (aspects du dimensionnement, dialogue homme-machine) alors que d'autres aspects (visuels, cognitifs, collectifs) sont transversaux dans la mesure où ils peuvent être abordés dans chacun des autres thèmes (exemple: aspects cognitifs de l'utilisation de l'interface).

Il est essentiel de tenir compte de ce manque d'homogénéité dont les inconvénients principaux peuvent être:

- d'une part, de ne pouvoir garantir une complémentarité entre thèmes permettant d'améliorer les résultats et d'éviter les contradictions;
- d'autre part, de rendre difficile la réponse à l'objectif final de reconstitution de l'activité globale;
- difficulté de faire une synthèse des différents thèmes.

L'approche par thèmes nécessite de restructurer finalement les résultats de l'évaluation de façon globale. Ce n'est pas toujours facile, mais d'autant moins pour des situations d'évaluation sur prototype.

En effet, dans ce cas, il est difficile de reconstituer la globalité de l'activité dans la mesure où les variables caractérisant les situations testées sont très nombreuses et donc difficiles à maîtriser au moyen d'un plan expérimental rigoureux.

- . each one can have an overall follow-up of all the themes of the evaluation;
- . this common approach makes it possible for each of them to find the elements they need for the analysis specific to their own interest.
- Construction of observation tools: the data-gathering tools during the observation or interview phases can be specified quite early.
- Implementation and sequencing of the various stages of the step. The initial division into study themes makes it possible to specify what the evaluation is intended to produce and then facilitate the application of the step, in accordance with a certain chronology, related to the themes of the draft report.

The characteristics of the step shown can also result in a certain number of biases or difficulties:

- Data gathering and its analysis:
 - . using a reader grid, implicit for analyzing the results, can lead to a wrong interpretation. In this case, there is a risk that this interpretation will be affected by the presuppositions on the likely future work. The ergonomists, as well as the other people involved in the evaluation, may have built up such presuppositions during the method preparation;
 - . a restraint can occur which can prevent the emergence of a problem or a generic aspect being seen during the evaluation, which was not integrated in the method preparation.

- Method completeness:

During implementation, it is essential to remain open to readjustment possibilities enabling aspects to be completed for which no evaluation tool was initially foreseen (e.g. coding memorization tests), to provide means of guaranteeing that the field covered is exhaustive.

- Division into themes:

- . heterogeneity between themes. Comparison of themes shows that certain ones are specific, i.e. their definition properly reflects the limits of their operational action field, for they bear on the specific objects of the evaluation (dimensioning, dialogue and man-machine aspects), whereas others (visual, cognitive, collective aspects) are transversal, in so far as they need to be considered in each of the other themes (example: cognitive aspects of interface use).

It is essential to be aware of this lack of homogeneity, the main inconveniences of which can be:

- not to be able to guarantee an inter-theme compatibility which makes it possible to improve the results and avoid contradictions;
- to make the answer to the final reconstitution objective of the global activity difficult;
- difficulty in making a synthesis of the various themes.

The theme approach requires that the evaluation results are finally restructured in a general way. It is not always easy, and it is especially difficult for the evaluation of situations on the prototype.

Indeed, in this case, it is difficult to reconstruct the whole activity since the variables characterizing the situations tested are very numerous and therefore difficult to control through a rigorous experimental plan.

Pour pallier ces deux problèmes, il peut s'avérer nécessaire de constituer des groupes de travail en donnant la préférence à une stratégie d'approche par problème, par exemple: groupe alarmes, groupe imagerie, groupe configuration du poste opérateur, groupes constitués des spécialistes pour chaque thème.

Ces groupes de travail donnent ainsi l'occasion de faire une synthèse entre thèmes sur des sujets particuliers et donnent le moyen de répondre au problème posé en intégrant les différentes facettes de l'activité de conduite matérialisées par le découpage arbitraire de la réalité constituée par les thèmes.

Il reste à savoir si la méthode privilégiera ou non d'emblée une approche par problèmes, en sachant qu'il est difficile de les définir *a priori*. Par ailleurs, le moment de l'évaluation est aussi à considérer comme un lieu d'émergence de problèmes.

In order to mitigate these two problems, it could be necessary to create working groups giving preference to the approach by problem, e.g. an alarm group, a format group, a workstation layout group and groups in which the specialists for each theme are present.

These working groups thus provide an opportunity to make a synthesis between themes on specific subjects, and give the means to answer the problem posed by integrating the various facets of the operating activity identified by the subdivision with the reality constituted by these themes.

The question to be asked is to know if the method will or will not immediately give preference to a problem-based approach, knowing that it is difficult to define the problems *a priori*. Moreover, the time of the evaluation is also to be considered as a possible problem factor.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 27.120.20
