

## **CHAPITRE 17**

### **INTERFACE HOMME – MACHINE**

#### **17.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ**

#### **17.1 OBJECTIFS DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS (IFH)**

#### **17.2 PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS**

#### **17.3 PRINCIPES DE CONCEPTION DE L'INTERFACE HOMME-MACHINE**

#### **17.4 SYSTÈMES DE L'INTERFACE HOMME-MACHINE**



# RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 0

PAGE 1/3

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

## SOMMAIRE

.17.0	EXIGENCES DE SÛRETÉ . . . . .	2
1.	OBJECTIFS DE SURETÉ . . . . .	2
2.	CADRE RÉGLEMENTAIRE . . . . .	2
3.	EXIGENCES LIÉES AU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . . . .	2
4.	EXIGENCES DE CONCEPTION . . . . .	3

## .17.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ

### 1. OBJECTIFS DE SURETÉ

Il convient de prendre en considération les Facteurs Humains (FH) au cours de la phase de conception, en tenant compte des aspects liés à la conduite et à la maintenance (y compris les activités d'essai correspondantes) tout en mettant l'accent sur l'expérience d'exploitation. Le principal objectif vise à tirer avantage des capacités humaines tout en minimisant les possibilités d'erreurs humaines et en réduisant l'impact de ces erreurs sur la tranche.

Le programme Facteurs Humains se concentre sur les aspects liés à la sûreté. Il contribue par ailleurs aux objectifs de Radioprotection (voir chapitre 12).

### 2. CADRE RÉGLEMENTAIRE

Directives techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de tranches nucléaires à eau pressurisée (section A.2.3 – Interface Homme-Machine, section C3. Facteurs Humains), jointes à la lettre DGSNR/SD2/0729 2004 "option de sûreté du projet de réacteur EPR".

### 3. EXIGENCES LIÉES AU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS

Une attention appropriée doit être portée aux Facteurs Humains au stade de la conception, en tenant compte des aspects du fonctionnement normal, des tests et de la maintenance, avec une attention toute particulière à l'expérience d'exploitation.

Un programme approprié d'Ingénierie des Facteurs Humains (IFH) doit être préparé et mis en œuvre pour la conception et l'évaluation de la tranche.

Dans le cadre de ce programme pour les futures activités de conduite, les aspects suivants devraient être abordés de manière itérative, si cela est nécessaire et dans la mesure où la sûreté est impliquée :

- La description et l'analyse des tâches,
- L'allocation des fonctions aux équipements et aux hommes,
- La conception des interfaces,
- Le choix du niveau de guidage des opérateurs,
- L'organisation des équipes de conduite,
- La vérification et la validation des choix de conception.

Le programme doit également couvrir les activités de maintenance et d'essais afin de garantir la cohérence des choix de conception dans une approche structurée des Facteurs Humains.

Il conviendrait de prévoir l'application des principes de conception ergonomique appropriés et de fournir des délais de réaction suffisamment longs pour les actions des opérateurs, afin de réduire les erreurs des opérateurs et de rendre la tranche moins sensible à ces erreurs.

Des informations suffisantes et appropriées doivent être mises à disposition des opérateurs pour une bonne compréhension de l'état de la tranche, y compris en conditions d'accident grave, et pour une bonne évaluation des effets de leurs interventions.

Une organisation appropriée de mise œuvre du programme IFH doit être prévue.

Les Facteurs Humains doivent également être pris en compte pendant la phase d'exploitation de la tranche en mettant en œuvre un programme et une organisation spécifiques.



## RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 0

PAGE 3/3

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

### 4. EXIGENCES DE CONCEPTION

Les exigences de conception de l'ingénierie des Facteurs Humains et de l'Interface Homme-Machine sont fournies dans le RCC-E complété des données de projet EPR définies dans l'additif CDP EPR (voir sous-chapitre 1.6).



# RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 1

PAGE 1/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

## SOMMAIRE

### .17.1 OBJECTIFS DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS

HUMAINS (IFH). . . . .	2
1. OBJECTIFS GÉNÉRAUX . . . . .	2
2. CHAMP COUVERT PAR LE PROGRAMME IFH . . . . .	2
3. FIABILITÉ HUMAINE . . . . .	3
3.1. PRÉVENTION DE L'ERREUR HUMAINE . . . . .	3
3.2. SENSIBILITÉ DE LA TRANCHE AUX ERREURS HUMAINES . . . . .	4

## .17.1 OBJECTIFS DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS (IFH)

Atteindre les objectifs de sûreté et de disponibilité adoptés pour un EPR, exige une maîtrise technique de la conception et signifie également l'étude, dès le départ, du rôle joué par les opérateurs humains pendant l'exploitation des installations. En effet, les opérateurs humains, indispensables dans nos installations mais potentiellement faillibles, sont une source essentielle de performance et de sûreté, surtout pour la gestion des situations imprévues et l'optimisation quotidienne, lorsqu'ils sont intégrés à un environnement de travail adapté.

L'ingénierie ne conçoit pas uniquement des dispositifs techniques, mais plus fondamentalement un système socio-technique avec des situations de travail où agissent des hommes et des femmes. Les sources de progrès en termes de sûreté et de disponibilité ne dépendent pas uniquement de la sophistication de ces dispositifs techniques mais également de la prise en compte anticipée de l'activité humaine qu'ils génèrent.

### 1. OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Le programme IFH contribue à :

- Fournir au personnel d'exploitation les moyens leur permettant de remplir leurs missions de manière à atteindre la performance désirée en termes de sûreté, de qualité, de fiabilité, de disponibilité,
- Offrir des conditions de travail minimisant les risques pour la santé (sécurité conventionnelle et risques radiologiques en particulier).

Ce programme s'applique aux futures situations de travail dans lesquelles vont être réalisées les activités d'exploitation (conduite, essais, consignations) et de maintenance.

Il contribue à la spécification des moyens (systèmes, outils techniques, documentation d'exploitation et de maintenance, organisation, compétences) à fournir au personnel de manière à lui permettre de remplir les rôles qui lui sont confiés dans les installations, tout en réduisant les possibilités d'erreurs. Les moyens spécifiés doivent permettre aux métiers de conduite et de maintenance d'analyser, diagnostiquer et agir ; ils doivent favoriser la détection, l'analyse et la récupération des erreurs.

Le programme IFH contribue également à la répartition des tâches entre les opérateurs humains et les systèmes techniques.

### 2. CHAMP COUVERT PAR LE PROGRAMME IFH

Les Facteurs Humains sont pris en compte dans la conception de l'EPR en particulier lorsque les tâches à réaliser sont liées à la sûreté et lorsque l'environnement de travail peut être dangereux pour le personnel. Le programme IFH s'applique par conséquent principalement aux activités de Conduite (incluant consignations et essais), de logistique technique et de maintenance. Les activités d'essais sont couvertes à la fois par les activités de conduite et de maintenance.

#### *Domaine Conduite :*

Un ensemble représentatif des situations de conduite est examiné et évalué sur simulateur, dans la mesure où ces situations concernent la sûreté. Le programme, détaillé dans le sous-chapitre 17.2 traite de la conception des moyens de commande et de surveillance, du niveau d'automatisation, de la définition de l'intervention humaine dans des situations d'accident, de la gestion des transitoires de conduite, de l'aménagement de la salle de commande.

Concernant spécifiquement l'interface de conduite, la conception du système homme-machine cherche à répondre aux principes suivants :

- tâche exécutable par l'opérateur (allocation d'un temps suffisant, disponibilité des commandes et informations nécessaires),

- possibilité de contrôler le succès de la tâche en fonction des objectifs,
- possibilité de récupération prévues en cas de défaillance des actions,
- redondance humaine (assistance de l'opérateur, superviseur ...) pour permettre un contrôle indépendant permettant de récupérer ou pallier aux erreurs humaines,
- formation adaptée pour permettre de bien connaître et maîtriser la réalisation de la tâche et d'évaluer si l'objectif est atteint ou non.

- *Domaine Maintenance :*

En ce qui concerne les futures interventions de maintenance, une sélection des situations et des activités devant faire l'objet du programme FH a été faite, étant donné le nombre important de ces situations.

Pour ces activités, le programme IFH traite de :

- la disposition des bâtiments de la tranche et des équipements dans les locaux (accessibilité des matériels, espaces de circulation, moyens de manutention nécessaires pour les opérations de maintenance),
- les conditions d'ambiance lumineuse, sonore, thermique.

De façon générale, le programme IFH doit s'appuyer sur :

- une méthodologie fondamentale à appliquer aux principales situations de travail avec des enjeux spécifiques (la sûreté, la sécurité, la radioprotection et la disponibilité),
- les études réalisées pour les aspects spécifiques (par exemple la radioprotection), qu'il complète,
- un ensemble de règles à appliquer lors de la conception.

### **3. FIABILITÉ HUMAINE**

Dans le domaine Facteurs Humains, la fiabilité du processus technique passe par deux types de principes de conception :

- Prévenir l'occurrence des « erreurs humaines »,
- Rendre l'installation moins sensible aux « erreurs humaines ».

#### **3.1. PRÉVENTION DE L'ERREUR HUMAINE**

La prévention de « l'erreur humaine » est une dimension prise en compte dans les études qui sont menées dans le cadre du programme d'ingénierie des Facteurs Humains (IFH).

De façon générale, le programme IFH doit contribuer à prévenir les erreurs humaines, par les moyens décrits ci-dessous :

- L'application des réglementations (par exemple. dans le domaine de l'installation) et des normes ergonomiques internationales.
- La bonne répartition des activités entre les opérateurs et les systèmes automatiques.
- La pertinence des informations fournies au personnel d'exploitation.
- La prise en compte de la maintenance à la conception (par exemple : choix des matériels).
- Les dispositions d'organisation et d'affectation du personnel (redondance humaine) décrites au sous-chapitre 17.3.

**3.2. SENSIBILITÉ DE LA TRANCHE AUX ERREURS HUMAINES**

Rendre la tranche moins sensible aux erreurs humaines est un des objectifs EPR. Des dispositions de conception permettent ainsi de limiter les conséquences en cas d'oubli d'action ou d'erreur dans la réalisation d'actions :

- L'autonomie de la tranche en situation d'accident telle que décrite au sous-chapitre 15.0, c'est à dire 30 minutes sans actions humaines requises en salle de commande après apparition d'une information significative,
- La conduite APE décrite en sous-chapitre 13.3 permet de ramener la tranche en état sûr et de traiter les dégradations de l'état du réacteur.

Par ailleurs, la contribution de l'erreur humaine au risque général sera analysée et évaluée dans le contexte de l'évaluation probabiliste de sûreté. Ceci nécessite des modèles quantitatifs du comportement humain permettant de fournir une justification quantitative que les mesures de conception sont adaptées au risque général de EPR (voir sous-chapitre 18.1).

## SOMMAIRE

<b>.17.2 PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>1. MÉTHODOLOGIE . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2. CONTENU DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2.1. DOMAINE D'APPLICATION DU PROGRAMME IFH . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2.2. FIABILITÉ HUMAINE . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2.3. FONCTIONNEMENT ET CONDUITE DE LA TRANCHE . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2.3.1. ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE ET RETOUR D'EXPÉRIENCE . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2. SPÉCIFICATIONS FONCTIONNELLES ET DÉTAILLÉES . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>2.3.3. ÉVALUATION DES SPÉCIFICATIONS : PRONOSTIC DES ACTIVITÉS FUTURES ET AJUSTEMENTS . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.4. CONCEPTION DES SYSTÈMES ÉLÉMENTAIRES . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>2.5. INSTALLATION GÉNÉRALE, CONCEPTION DES MATÉRIELS, MAINTENANCE . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>2.5.1. ANALYSE DES SITUATIONS ACTUELLES ET RETOUR D'EXPÉRIENCE . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>2.5.2. PHASE DE SPÉCIFICATION FONCTIONNELLE . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>2.5.3. PHASE DE SPÉCIFICATION DÉTAILLÉE . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>3. RÉSULTATS DE LA MISE EN OEUVRE DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>3.1. PRISE EN COMPTE DES EXIGENCES D'EXPLOITATION . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>3.2. CONDUITE DE LA TRANCHE . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1. ANALYSE DES SITUATIONS ACTUELLES ET REX . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2. ÉTUDE ET SPÉCIFICATION DES MOYENS DE CONDUITE . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3. ÉVALUATION DES MOYENS DE CONDUITE . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>3.2.4. PRÉVENTION DE L'ERREUR HUMAINE . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>3.3. CONCEPTION DES SYSTÈMES . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>3.4. INSTALLATION GÉNÉRALE- MAINTENANCE . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.4.1. ANALYSE DES SITUATIONS ACTUELLES ET RETOUR D'EXPÉRIENCE . . . . .</b>	<b>18</b>

<b>3.4.2. SPÉCIFICATION FONCTIONNELLE . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.4.3. SPÉCIFICATION DÉTAILLÉE . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.4.4. ACTIVITÉS DE MAINTENANCE OU D'EXPLOITATION SPÉCIFIQUES . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.4.5. ÉTUDES D'INSTALLATION . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>3.4.6. CONCEPTION DES MATÉRIELS . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>3.4.7. PRÉVENTION DE L'ERREUR HUMAINE . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>3.4.8. RADIOPROTECTION . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>4. ORGANISATION DE L'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . .</b>	<b>22</b>
<b>4.1. PROCESSUS D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS . . . .</b>	<b>22</b>
<b>4.2. COMPOSITION DE L'ÉQUIPE D'INGÉNIERIE FACTEURS HUMAINS DU PROJET EPR . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>4.2.1. SPÉCIALISTES FACTEURS HUMAINS . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>4.2.2. INGÉNIEURS DE CONCEPTION DES UNITÉS D'INGÉNIERIE .</b>	<b>24</b>
<b>4.2.3. EXPLOITANTS ET REPRÉSENTANTS DE L'EXPLOITANT DPN</b>	<b>24</b>
<b>4.3. PILOTAGE DU PROGRAMME IFH . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>4.4. PHASE D'ESSAIS D'ENSEMBLE ET DE DEMARRAGE . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>4.5. PHASE OPÉRATIONNELLE D'EXPLOITATION . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>LISTE DES RÉFÉRENCES. . . . .</b>	<b>27</b>



**RAPPORT DE SURETE**

**— DE FLAMANVILLE 3 —**

**Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 2

PAGE 3/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIGURES :**

**FIG-17.2.1 MÉTHODOLOGIE..... 28**

## **.17.2 PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS**

Le programme d'Ingénierie des Facteurs Humains (IFH) est un programme transverse qui développe une méthodologie propre au domaine Facteurs Humains, de manière intégrée aux études générales de conception réalisées par les différents métiers de conception.

Ce sous-chapitre décrit les principes méthodologiques retenus ainsi que leur mise en œuvre concrète dans le programme IFH, mise en œuvre qui requiert nécessairement des adaptations à la réalité d'un programme global de conception.

### **1. MÉTHODOLOGIE**

La méthodologie de prise en compte des Facteurs Humains à la conception consiste à intégrer le point de vue du travail des futurs intervenants dans les choix de conception. Pour établir les choix de conception, il est nécessaire de disposer d'une connaissance du travail des futurs intervenants. Cette référence à l'activité permet de garantir la pertinence des options choisies.

Dans un projet de conception, l'activité doit être prise en compte à travers une approche de conception itérative qui vise à prévoir les activités futures par des approximations successives articulées autour du processus de conception, qui vont progressivement améliorer le niveau de représentation des futures situations de travail. L'activité future peut être anticipée par la prise en compte de situations réelles comparables, par des études de simulation sur des maquettes simples, en réalité virtuelle ou sur simulateurs.

Le pronostic des situations futures est d'autant plus pertinent qu'il est basé sur une connaissance de l'activité obtenue par des analyses d'autres activités comparables réalisées dans des situations réelles comparables.

La figure **FIG-17.2.1** illustre le principe de l'approche itérative présentée ici en quatre phases. Les itérations dans ce diagramme montrent que le pronostic ne s'achève pas avec l'analyse des besoins mais qu'il se poursuit tout au long des spécifications. Il est rendu plus fiable grâce à divers outils reconstruisant la situation réelle.

#### **Phase 1 : Analyse de la situation actuelle**

L'analyse de l'activité dans des situations réelles comparables permet d'identifier les caractéristiques intrinsèques du travail, c'est-à-dire les caractéristiques invariables qui seront inévitablement rencontrées quels que soient les outils fournis aux intervenants.

Cela permet de préciser les activités types et leurs exigences en termes d'informations et de moyens d'action.

Cette analyse permet également de faire apparaître les difficultés à dépasser, de même que les points forts à conserver dans les situations existantes. De cette manière, elle contribue à la définition des spécifications fonctionnelles du futur dispositif technique.

Les analyses sur le terrain sont centrées sur l'activité des intervenants et, plus généralement, des équipes de travail. Elles sont menées sur la base d'entretiens et d'observations qui visent une compréhension du travail de manière à en comprendre les déterminants ainsi que « comment ça fonctionne bien » et « comment ça ne fonctionne pas » : points à améliorer et points forts à conserver.

#### **Phase 2 : Spécifications fonctionnelles**

Afin d'intégrer les Facteurs Humains à la définition des spécifications fonctionnelles, certains principes concernant la position des opérateurs humains dans l'installation ont été définis.

En effet les opérateurs humains sont essentiels dans les installations mettant en œuvre un processus dynamique à risque. Ils sont un maillon essentiel dans la sûreté et la disponibilité des installations, grâce à leur adaptabilité et leur capacité d'interrogation et de réaction face aux situations imprévues.

Cependant, cette contribution fondamentale requiert une définition claire de leurs rôles et de leurs relations avec l'installation :

- La répartition des tâches entre les opérateurs humains et les systèmes techniques doit être clairement définie afin de s'assurer que « ce qui agit sur le fonctionnement » lors d'une phase donnée, est bien identifié. Pour être optimale, la répartition des tâches entre l'opérateur humain et le dispositif de commande automatique doit être définie sur la base des capacités de l'opérateur humain (car l'opérateur humain et le dispositif de commande automatique n'ont pas des capacités équivalentes) et des activités à réaliser.
- Le critère d'automatisation doit être d'allouer aux dispositifs de commande automatiques des tâches répétitives ou des tâches dépassant les capacités physiologiques, psychologiques et cognitives d'un opérateur (temps de réponse très court, quantité de données excessivement importante). Les choix d'automatisation doivent également permettre l'acquisition et le maintien des connaissances pertinentes du fonctionnement de l'installation de manière à ce que les opérateurs puissent réaliser eux-mêmes les actions d'exploitation principales dans toutes les situations survenant, qu'elles soient normales ou anormales.
- Les relations entre les opérateurs et les dispositifs de commande automatiques doivent être telles que les opérateurs peuvent avoir confiance dans les dispositifs de commande automatiques et dans les données fournies par l'interface. Si cette confiance n'est pas assurée, les opérateurs risquent de contourner ou bloquer les dispositifs et, à terme, risquent de se considérer moins armés pour conduire les installations. Afin d'établir cette confiance, les opérateurs doivent, au minimum, comprendre ce que réalisent les dispositifs de commande automatiques. Ceci signifie qu'ils doivent savoir ce que font les dispositifs de commande automatiques (évitant un phénomène « boîte noire ») en leur fournissant un retour d'informations significatif et suffisant sur le comportement des systèmes automatiques.
- Les relations entre les opérateurs humains, les dispositifs de commande automatiques et le processus doivent permettre aux opérateurs de garder la maîtrise des installations dont ils ont la responsabilité en leur fournissant les moyens d'actions nécessaires sur le processus et, quand cela est nécessaire, les moyens d'intervention sur le comportement des automatismes.
- Les relations entre les opérateurs et le processus doivent fournir aux opérateurs une connaissance opératoire de l'état en cours du processus et leur permettre de prévoir les états futurs. A cette fin, ils doivent disposer d'un retour d'informations significatif sur le processus pour permettre leur compréhension en temps réel. Cette compréhension est à la base de la supervision et de la réalisation des actions manuelles. Elle n'est pas synonyme d'une connaissance exhaustive en temps réel de l'état de l'installation et du processus, mais plutôt d'une connaissance de la logique du processus.

### **Phase 3 : Pronostic de la situation future**

Pour que les spécifications de l'installation à concevoir soient satisfaisantes (c'est à dire opérationnelles en terme de tâches à réaliser et compatibles avec les capacités humaines), le travail qu'elles généreront doit être prévu lors de la définition des spécifications.

De ce fait, le pronostic de l'activité future doit être défini en fonction des spécifications déjà adoptées pour le nouveau système socio-technique, à l'aide des moyens suivants :

- La connaissance de la situation actuelle des situations de référence (analyse des activités réalisées dans des situations comparables).
- L'utilisation de moyens de reconstruction de la réalité (simulateurs, outils 3D, maquettes, prototypes, etc.) simulant les spécifications en cours de mise au point, afin de prévoir davantage dans le détail l'activité future. Le principe est de mettre en situation de futurs acteurs. Pour cela des scénarios types sont définis à partir des connaissances de l'activité existante, qui permettent de se rapprocher de ce que seront les futures situations de travail étant données les options techniques et organisationnelles envisagées. Au-delà d'une simple mise au point, ce maquetage/prototypage est également l'occasion d'évaluer des options alternatives.

### **Phase 4 : Ajustements en fonction des spécifications**

Les résultats des essais d'évaluation sont analysés afin d'évaluer les ajustements nécessaires aux spécifications de conception. Les modifications proposées seront acceptées ou refusées en se fondant sur les différents objectifs à atteindre et sur les contraintes techniques.

## **2. CONTENU DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS**

### **2.1. DOMAINE D'APPLICATION DU PROGRAMME IFH**

Le programme d'ingénierie Facteurs Humains se rapporte aux différents domaines de l'exploitation future : activités de conduite et de maintenance, en salle de commande et en local, incluant les activités d'essais et de consignation [Réf \[1\]](#). Il s'applique par conséquent dans les domaines :

- Fonctionnement et Conduite de la tranche.
- Systèmes.
- Installation générale, conception des matériels, maintenance.

Ainsi la méthode générique peut être déclinée de façon différente en fonction des domaines et objets de conception.

### **2.2. FIABILITÉ HUMAINE**

La question de l'erreur humaine est abordée dans les études de conduite et d'IHM.

Ainsi, pour illustration :

- la conception des documents de conduite « papier » et de l'imagerie : charte graphique (couleurs, lisibilité des caractères, espaces, densité de l'image ou de la page, ...), caractère compréhensible des instructions,
- la conception des systèmes de traitement et de présentation d'alarmes.

Lors d'évaluations d'ensemble des moyens de conduite, l'efficacité de la conduite peut être évaluée sous l'angle de la performance des actions de conduite, des erreurs de conduite, de la détection et récupération de ces erreurs.

Dans le domaine des études de conception pour la maintenance, des dispositions génériques de l'environnement de travail sont définies : repérage des matériels et des locaux, conditions d'ambiance (éclairage, niveau sonore, température) visant à favoriser la qualité du travail et à réduire l'occurrence d'erreurs.

Une vérification du type de celles effectuées sur simulateur de conduite (permettant une relative détection des erreurs de conduite) n'est toutefois pas réalisable pour les activités de maintenance. Cependant la démarche mise en œuvre pour l'étude des activités de maintenance aborde le risque d'erreurs humaines quand cette question est pertinente.

### **2.3. FONCTIONNEMENT ET CONDUITE DE LA TRANCHE**

#### **2.3.1. Analyse de la situation actuelle et Retour d'Expérience**

L'identification et l'analyse du REX des situations existantes est la première étape de prise en compte des FH dans la conception. Elle s'apparente à une étape de diagnostic. Ces analyses, réalisées dans des situations réelles comparables (des situations existantes mettant en œuvre des principes similaires à ceux à appliquer), permettent d'identifier les activités types et leurs exigences associées. De cette manière, elles contribuent à la définition des concepts de base (spécifications du travail) pour les équipements techniques futurs et, plus tard, à la définition des spécifications détaillées.

### 2.3.2. Spécifications fonctionnelles et détaillées

Les travaux FH contribuent à la détermination des compromis les mieux adaptés entre les contraintes techniques et les exigences Facteurs Humains de l'activité de conduite. Ces aspects sont étudiés par l'apport de repères aux concepteurs (guides de conception, éléments de REX) et lors de la réalisation des essais ergonomiques de validation FH de la conduite sur simulateur.

Divers aspects sont abordés :

#### **Aspects organisationnels et collectifs du travail**

La dimension collective de l'activité de conduite de la tranche est identifiée comme un facteur important de succès des opérations de surveillance et de conduite. L'optimisation de la coopération dans l'équipe de conduite est recherchée par la conception adaptée des moyens de conduite et de l'organisation de l'équipe de conduite. La conception des éléments suivants notamment présente une dimension coopération et travail collectif importante :

- IHM et plus particulièrement le système d'alarme, les images synoptiques.
- Documents de conduite (papier et informatique).
- Aménagement des postes de conduite en salle de commande.
- Moyens de communication.

#### **Spécification de la conduite en conditions normales**

La spécification du fonctionnement normal de la centrale a pour but de fixer un ensemble de règles de fonctionnement qui dépendent des exigences de fonctionnement de la centrale (états standards et transitoires de la centrale), de définir des moyens en termes d'information et de commande pour faciliter la conduite de la tranche et de spécifier les documents de conduite.

La contribution FH prévue à cette étape s'assure que les caractéristiques de l'activité dans la salle de commande sont prises en compte sur la base des analyses d'activités réalisées. Les activités de conduite ne sont pas un simple processus organisé de tâches planifiées se suivant sans problèmes, ce sont diverses activités à gérer en parallèle en fonction des priorités de la situation. Il est nécessaire de prendre en compte cette dimension pour la spécification des interfaces, de la documentation et de l'organisation en conduite normale (CN).

La spécification fonctionnelle de la conduite et de l'interface de conduite en conditions normales inclut les activités de pilotage, de consignation et essais en salle de commande.

#### **Spécification de la conduite en conditions incidentelles et accidentelles**

Comme pour la conduite normale, les spécifications fonctionnelles de la conduite en conditions incidentelles et accidentelles visent à définir les moyens nécessaires d'information et de commande à fournir au personnel d'exploitation afin de réaliser un diagnostic pour déterminer l'état de l'installation, d'identifier les procédures de conduite et de conduire l'installation, en cas d'incident ou d'accident. Il faut notamment définir le mode d'accès, la structure, l'organisation et le contenu des procédures de conduite.

#### **Spécification des différentes IHM et de l'imagerie de conduite associée**

Comme indiqué dans le sous-chapitre 17.4, trois IHM sont prévues (MCP, MCS, Station de Repli) afin de faire fonctionner la tranche dans chaque situation possible (perte de salle de commande principale, perte du MCP).

La conception des IHM (conventionnelles et informatisées) de chaque équipement de conduite et son adéquation aux exigences de conduite, la documentation et la formation requises pour l'utiliser, sont étudiées et évaluées à l'issue de la phase de spécification détaillée.

**Aménagement des locaux IHM (salle de commande principale, Station de Repli)**

L'aménagement de la salle de commande et des locaux annexes (dont les locaux de crise) fait l'objet d'une étude spécifique. Cette étude a pour objectif de concevoir une salle de commande et locaux annexes dont l'aménagement soit le plus adapté possible aux activités qui s'y dérouleront. Les besoins des futurs exploitants sont identifiés et des recommandations proposées.

L'étude identifie notamment les exigences de l'activité : préparation, diagnostic, prise de connaissance de la documentation, communications, coopération. La dimension collective du travail est particulièrement étudiée.

Cette étude permet d'intégrer l'activité future dans la conception, d'identifier les différentes contraintes techniques et de trouver des compromis adéquats.

**2.3.3. Évaluation des spécifications : pronostic des activités futures et ajustements**

Les diverses spécifications produites sont placées dans leur contexte pratique lors des essais ergonomiques. Des moyens de simulation adaptés sont mis au point lorsque l'activité analysée s'y prête. Au cours des essais, les moyens de conduite fournis sont principalement évalués d'un point de vue ergonomique sur la base suivante :

- leur "utilité", c'est à dire le fait qu'ils offrent aux futurs utilisateurs l'ensemble des fonctionnalités dont ils ont besoin pour mener à bien les tâches qui leur sont imparties dans le contexte organisationnel défini,
- leur "utilisabilité" ou facilité d'utilisation, c'est à dire qu'en terme de dialogue, les informations et commandes soient présentées de façon adaptée et non ambiguë, qu'elles soient regroupées et s'enchaînent de façon pertinente et qu'elles soient accessibles dans des délais compatibles avec la tâche.

Aux principales étapes du processus de conception, des simulations des situations futures sur des maquettes ou sur simulateur sont réalisées afin d'examiner la faisabilité des principes de conduite sous-jacents.

Les essais des différentes IHM (en premier lieu le MCP) sont réalisés avec la participation d'un échantillon représentatif des futurs utilisateurs et en utilisant des scénarios conçus en fonction des objectifs de l'évaluation.

Lors des campagnes d'évaluation, les points suivants sont notamment étudiés en fonction des étapes d'évaluation : la surveillance du réacteur dans des régimes de fonctionnement normaux et accidentels, la conduite des transitoires normaux, la réalisation des essais périodiques, le diagnostic et la conduite des situations d'incident et d'accident, la gestion des alarmes.

La conduite au Moyen de Conduite de Secours (MCS), la conduite à la Station de Repli (SdR) et la conduite en accident grave sont évaluées également.

Lors de chaque phase d'essais, l'analyse de l'activité des équipes de conduite sur maquette ou simulateur doit permettre l'évaluation et l'amélioration de la pertinence des solutions de conception initiales et la détermination d'autres solutions, compte tenu de la mise en évidence de nouvelles caractéristiques de l'activité.

Un programme d'évaluation des moyens de conduite est défini pour permettre de tester puis faire évoluer et compléter le plus tôt possible les choix de conception.

Pour EPR FA3 les essais sont découpés en plusieurs campagnes en fonction des développements simulateur.

- Essais des premières options d'IHM et principes de conduite sur maquette d'IHM couplée à un simulateur de processus 900 MW.

Il s'agit à ce stade initial, de valider les principes retenus par le futur exploitant pour la conduite et l'IHM et d'évaluer les premiers choix de déclinaison de ces principes en spécifications des moyens de conduite : choix d'imagerie, procédures, système d'alarmes, dialogues, pour l'IHM EPR.

- Essais des spécifications complémentaires ou modifiées sur maquette d'IHM couplée à un simulateur de processus 900 MW.  
Lors de cette campagne sur maquette, les nouvelles spécifications sont testées, ainsi que les évolutions décidées pour prendre en compte les résultats de la première campagne.
- Première campagne d'essais sur le simulateur d'études EPR avec une IHM simulée incluant au maximum les spécificités de l'IHM fournisseur.  
Ces essais concernant principalement la conduite au MCP visent à évaluer le maximum de spécifications des moyens de conduite EPR disponibles à ce stade de développement pour la Conduite CN et CIA :
  - Imagerie CN et CIA.
  - Fonctionnalités IHM.
  - Etape de basculement MCP/MCS.
  - Recherche d'information et agencement du MCS :
    - IHM dynamique simulée au MCP pour l'Ingénieur Sûreté.
    - IHM statique sur maquette bois à l'échelle 1 pour l'équipe.
  - Aménagement des postes.
  - Documentation CN et CIA.
- Deuxième campagne d'essais sur le simulateur d'études EPR : conduite au MCP.  
Ces essais visent à évaluer l'organisation de l'équipe de conduite en CIA ainsi que les moyens de conduite (IHM, imagerie).
- Troisième campagne d'essais sur le simulateur d'études EPR : conduite au MCP et au MCS couplé au simulateur EPR.  
Ces essais, ont pour objectif principal d'évaluer :
  - l'organisation de l'équipe de conduite.
  - la conduite au MCS.
  - les évolutions des moyens de conduite au MCP.
- Une quatrième campagne d'essais dont l'objectif est de confirmer les choix de conception et d'organisation par la vérification des dernières évolutions des moyens de conduite et de la conduite depuis la station de repli.
- Des essais de validation complémentaire du système sociotechnique de conduite au MCS dont l'objectif est de confirmer que l'organisation et les moyens de conduite au MCS permettent de conduire, replier, et maintenir l'installation en état sûr, dans les situations de cumul :
  - d'événements affectant simultanément le réacteur et la piscine d'entreposage du combustible usé ;
  - d'un événement thermohydraulique et d'un incendie ;
  - d'un événement thermohydraulique et d'une perte de sources électriques.
- Des essais FH sur le journal de bord sont effectués sur une plateforme représentative de l'IHM de tranche afin de vérifier que les informations contenues dans le journal de bord et leur présentation sont intelligibles par l'équipe de conduite et aisément accessibles à l'aide des fonctions de filtrage.

A l'issue de chaque campagne d'essais, des recommandations sont émises à partir des résultats des évaluations afin d'améliorer les spécifications de conception pour les moyens de conduite et

l'organisation (phase 4 de la méthodologie décrite au § 1.). Des recommandations pour la conception de la documentation et du programme de formation peuvent également être proposées en fonction des difficultés d'apprentissage qui sont observées lors des essais.

#### **2.4. CONCEPTION DES SYSTÈMES ÉLÉMENTAIRES**

La prise en compte des Facteurs Humains dans la conception des systèmes élémentaires (ensembles de matériels et d'équipements correspondant à un découpage fonctionnel de l'installation) requiert l'identification et la mise en œuvre des exigences appropriées en termes de :

- Conduite du système (commande, contrôle, essais périodiques),
- Opérations de maintenance du système,
- Installation des matériels.

La démarche de conception d'un système élémentaire s'appuie sur un questionnement du type : Quels sont les moyens à fournir aux intervenants pour :

- analyser une situation (traitement d'une information, traitement d'une alarme) ?
- agir sur le fonctionnement du système (identifier et contrôler un équipement) ?
- retirer un équipement de l'exploitation ?
- appliquer les instructions de conduite ?

Les exigences correspondantes sont prises en compte au travers de la réglementation, du retour d'expérience et de la méthode d'ingénierie appliquée par les concepteurs des systèmes élémentaires.

#### **2.5. INSTALLATION GÉNÉRALE, CONCEPTION DES MATÉRIELS, MAINTENANCE**

##### **2.5.1. Analyse des situations actuelles et Retour d'expérience**

Comme dans la conception des situations d'exploitation, l'analyse de la situation existante est la première étape pour prendre en compte les Facteurs Humains dans la conception des locaux d'exploitation et maintenance.

Une analyse des situations actuelles permet d'identifier les activités sensibles, les difficultés rencontrées par les différents personnels au cours de leurs actions, ainsi que les points forts des conceptions précédentes à conserver.

##### **2.5.2. Phase de spécification fonctionnelle**

Les études d'installation générale concernent les domaines du génie civil des bâtiments et l'installation des équipements qu'ils abritent, pour tous les bâtiments de la centrale (îlot nucléaire et îlot conventionnel).

Avant les études de conception détaillée, les spécifications de bâtiments sont rédigées en énumérant et stipulant les exigences applicables à la construction du bâtiment et à l'installation de l'équipement dans ce bâtiment. Ces exigences sont notamment issues du REX. Elles sont consignées dans le cahier des charges du bâtiment.

Des règles d'installation sont consignées dans un document d'ingénierie. Elles visent à assurer dans les locaux un positionnement des matériels facilitant les opérations de maintenance et d'exploitation.

##### **2.5.3. Phase de spécification détaillée**

C'est une étape de déclinaison des exigences consignées dans les règles d'ingénierie et cahiers des charges des bâtiments et matériels.

En phase de spécification détaillée, les études FH se déclinent en trois points : analyses FH de certaines activités spécifiques, études d'installation et prise en compte du FH dans la conception des matériels. Ces trois types de travaux contribuent à l'amélioration des conditions de travail et à la réduction du risque d'erreur d'intervention.

Dans cette phase de spécification détaillée, les étapes de la méthodologie décrite au paragraphe Méthodologie sont adaptées aux moyens disponibles dans le cadre d'études de conception installation et matériels. Un pronostic de la situation future est recherché, suivi d'ajustements et d'améliorations de la conception. Les outils diffèrent cependant des outils de simulation d'avantage adaptés aux études de conception conduite.

### 2.5.3.1. Analyses FH d'activités spécifiques

Une analyse est menée pour certaines activités présentant des enjeux forts. Les critères de sélection sûreté, radioprotection, sécurité, environnement, disponibilité, innovation technique, sont appliqués à une liste de base issue du retour d'expérience des analyses de sûreté, des études d'arrêt de tranche.

La méthode mise en oeuvre est adaptée en fonction des moyens disponibles.

les activités sélectionnées sont la manutention du combustible, le contrôle des générateurs de vapeur, la maintenance en puissance, le traitement des déchets au BTE.

La démarche suivante retenue pour ces analyses particulières a été adaptée de la méthodologie générale :

- Identification des points délicats de ces activités sur la base du retour d'expérience disponible et de l'analyse des situations réelles,
- Pronostic et analyse des futures activités en situation en utilisant si nécessaire la maquette CAO 3D de l'installation, afin d'identifier les conditions et contraintes de réalisation de ces activités.  
La grille utilisée en support comporte les thèmes suivants qui concernent l'exploitabilité et la maintenabilité :

- Stockages,
- Transport et manutention,
- Circulation de personnes et de matériels,
- Habitabilité,
- Urgence - évacuation,
- Sécurité,
- Conditions de travail,
- Communications.

Il ressort de ce pronostic des propositions d'évolutions :

- de l'installation,
- des différents composants, outils, repérage,
- des spécifications déterminant les conditions d'environnement (éclairage, bruit, température, conditions radiologiques) qui ont une influence sur le confort et la qualité d'intervention.

Ces évolutions proposées pour les activités analysées contribueront à augmenter la qualité des interventions menées par les personnels de maintenance et d'exploitation et à réduire les risques d'interventions inadéquates quand la sûreté est concernée.

### 2.5.3.2. Études d'installation

De façon générale, un ensemble de principes issus des réglementations, du retour d'expérience et des pratiques reconnues applicables au projet EPR, est appliqué aux études d'installation et participe à la prise en compte des FH à la conception.

Les exigences de radioprotection sont également intégrées dès les premières étapes de la phase de conception en appliquant l'approche ALARA (voir sous-chapitre 12.4).

Lors des revues de bâtiments, la vérification porte entre autres sur les questions d'accès aux équipements, de circulations, de manutention, de conditions d'environnement.

Une étude de l'accessibilité des locaux et des matériels en situation accidentelle est par ailleurs réalisée.

### 2.5.3.3. Conception des matériels

Le processus de conception de certains matériels ayant une fonction de sûreté (ex : pompes EVU/ ASG, pompes RRI, robinets-vannes des circuits de sûreté), les documents techniques des appels d'offre pour la fourniture intègrent une exigence d'analyse, par le fournisseur, de la maintenabilité du matériel. Il est demandé aux fournisseurs de s'intéresser aux aspects Facteurs Humains : identifier les contraintes FH liées au matériel (postures, accessibilité des pièces,...) ainsi que les risques d'erreurs à prendre en compte lors des opérations de maintenance et envisager des parades à ces risques. Le fournisseur doit envisager des dispositions technologiques réduisant les contraintes et les risques d'erreurs, ou proposer des recommandations pour l'installation quand ces contraintes ne peuvent être totalement éliminées.

## 3. RÉSULTATS DE LA MISE EN OEUVRE DU PROGRAMME D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS

### 3.1. PRISE EN COMPTE DES EXIGENCES D'EXPLOITATION

La participation aux études d'avant projet détaillé de l'exploitant a permis l'analyse des conceptions existantes et l'expression des exigences de conception pour le futur utilisateur de l'installation.

Durant la totalité du projet, une équipe détachée de la Division Production Nucléaire représente le futur exploitant et porte les exigences de l'exploitation future dans les choix techniques. La présence de ces anciens exploitants a permis de transmettre le retour d'expérience, la réalité du terrain et de l'activité, ainsi que de faire un relais avec les exploitants sur site pour affiner ou tester les choix de conception.

La participation de ces anciens exploitants au processus de conception en général et au programme IFH en particulier est un élément important de la prise en compte des Facteurs Humains à la conception.

### 3.2. CONDUITE DE LA TRANCHE

#### 3.2.1. Analyse des situations actuelles et REX

Les analyses initiales ont permis de définir les principes et moyens de conduite.

Les études de conception des principes de conduite ont débuté par la rédaction par le futur Exploitant de son cahier des charges pour la conduite informatisée sur la base de son propre retour d'expérience, cahier des charges approuvé par des représentants des utilisateurs dans plusieurs centrales nucléaires. Puis ces spécifications ont été revues et complétées par une équipe de conception multidisciplinaire, sur la base des études ergonomiques (analyses de l'activité de conduite) menées sur les paliers N4 et 1300 MW.

Cette analyse des activités de conduite des tranches N4 et 1300 MW a permis d'identifier les activités types de conduite ainsi que les besoins en termes d'informations et de moyens d'action. L'analyse du retour d'expérience de la conduite sur le palier N4 a permis d'identifier les difficultés et les points forts de la conception de la conduite informatisée. Les résultats de ces études ont ainsi été intégrés dans les exigences puis dans les spécifications de l'IHM et les principes de conduite. On citera pour illustration la conception des documents de conduite. L'analyse du retour d'expérience N4 a montré les inconvénients liés à des consignes totalement informatisées supportant les actions de conduite. Les choix de conception concernant les consignes de conduite EPR ont été les suivants : création d'un document papier Méthode présentant la stratégie et les objectifs de conduite, création de modes opératoires sous forme d'image informatique présentant une liste des actions à réaliser. L'analyse a également contribué à la structuration des consignes et à la répartition des activités entre les opérateurs de conduite.

Les données recueillies dans ces analyses de l'activité ont ensuite permis de définir les scénarios des essais d'évaluation sur maquette dans un premier temps et sur le simulateur EPR ultérieurement.

Un modèle des tâches des opérateur de conduite a été réalisé avec pour objectif d'identifier les tâches et vérifier que les moyens nécessaires à leur réalisation étaient à disposition au travers des fonctionnalités du contrôle-commande.

### **3.2.2. Étude et spécification des moyens de conduite**

#### **Spécification des moyens de conduite**

Les études de conduite menées permettent de réunir les points de vue utilisateur, concepteur et Facteurs Humains sur les principes de conduite et en particulier sur les thèmes suivants : structuration fonctionnelle de la conduite, spécification de la conduite au niveau des systèmes élémentaires, niveau d'automatisation, conception des informations de synthèse, principes de conduite accidentelle, règles de rédaction des consignes en Conduite Normale et des consignes en Conduite Accidentelle. Cela contribue à constituer des règles d'ingénierie destinées aux concepteurs qui soient cohérentes entre elles sur ces sujets et prennent en compte le point de vue du travail futur. Par ailleurs un Groupe Opérationnel d'Appui des Études de conduite, auquel participe un spécialiste FH, examine les règles de conception afin de vérifier la cohérence d'ensemble.

Lors de la spécification fonctionnelle de la conduite, les principes FH présentés dans le paragraphe Méthodologie (phase 2 : contribution aux spécifications, principes concernant la position des opérateurs dans l'installation) à propos du rôle des opérateurs dans la conduite, ont été déclinés dans les spécifications de conduite.

La répartition des tâches entre les opérateurs et les systèmes techniques a été définie de façon à utiliser de façon optimale les capacités de l'opérateur humain. Ainsi les automatismes choisis l'ont été sur la base d'une liste de critères qui relèvent des principes décrits au paragraphe Méthodologie. On a par exemple cherché à limiter la charge de travail en conduite accidentelle sur l'activité de refroidissement du secondaire (par la mise en place d'un refroidissement automatique). Les choix réalisés en matière d'automatisation veillent également à permettre l'acquisition et le maintien par les opérateurs des connaissances pertinentes du fonctionnement de l'installation de façon à ce que les opérateurs puissent réaliser eux-mêmes les actions d'exploitation, si nécessaire. Les opérateurs doivent également disposer des moyens d'actions nécessaires sur le processus et d'intervention sur le comportement des automatismes. Pour répondre à ces principes, des modes opératoires sont associés aux séquences de conduite, qui permettent de voir le déroulement de l'automatisme mais aussi de pouvoir le reprendre en manuel si nécessaire. Les commandes groupées sont ainsi conçues pour pouvoir être reprises en manuel.

La fiabilité des informations fournies aux opérateurs est recherchée, concernant le Diagnostic Automatique en particulier car c'est un moyen important dans la conduite en situation accidentelle. De plus une image de décomposition du DA permet aux opérateurs de suivre le cheminement du DA pour s'approprier la logique de calcul et identifier les paramètres dont l'évolution pourrait conduire à une nouvelle orientation du résultat du DA.

Les opérateurs doivent disposer d'une connaissance opératoire de l'état en cours du processus et pouvoir prévoir les états futurs. Les informations présentées sont conçues avec cette exigence. Les informations de synthèse, courbes, images synoptique, système d'alarme, limitations, sont conçues pour contribuer à cet objectif.

Afin de guider les rédacteurs de consignes CIA et d'accident grave dans la conception de ces documents, les spécialistes FH ont produit des recommandations FH reprises dans des guides opérationnels de rédaction. Un appui à la rédaction des consignes de conduite normale a également été réalisé.

Une intervention FH a été menée pour la conception du nouveau référentiel RGE EPR, et l'évaluation de son applicabilité opérationnelle.

#### Aménagement des moyens de conduite en salle de commande

L'aménagement des moyens de conduite est un élément important pour accéder à des conditions de travail adéquates en salle de commande.

Une étude d'aménagement de la salle de commande et des locaux annexes (dont le local technique de crise) a été menée pour adapter l'installation des postes de conduite et mobiliers aux activités qui vont s'y dérouler. La dimension collective du travail a été un paramètre important dans les choix d'aménagement.

L'étude a identifié notamment les exigences de l'activité comme la préparation, le diagnostic, la prise de connaissance de la documentation, les communications, la coopération. La dimension collective du travail a été particulièrement étudiée, sur les aspects suivants :

- les coopérations et communications avec les services extérieurs à la conduite,
- les préparations collectives d'activité,
- les coopérations entre les différents métiers de l'équipe de conduite.

En phase d'évaluation, une maquette à l'échelle 1 (grandeur nature) de la salle de commande a été utilisée avec des futurs utilisateurs représentés par des opérateurs de conduite des tranches actuelles ainsi que des personnels amenés à travailler ponctuellement en salle de commande, afin d'évaluer le projet proposé et de le faire évoluer pour répondre au mieux aux exigences de l'activité.

### **3.2.3. Évaluation des moyens de conduite**

#### **3.2.3.1. Évaluation anticipée sur maquette**

Dans une démarche itérative de conception, plusieurs évaluations ciblées des fonctionnalités du Contrôle-Commande, des principes d'IHM et de conduite Conduite Normale (CN) et Conduite Incidentelle/Accidentelle (CIA) ainsi qu'une évaluation de la charte graphique ont été réalisées sur maquette (IHM informatisée couplée à un simulateur de procédé 900 MWe), avec la participation d'équipes de conduite du parc en exploitation. En fonction des campagnes, l'objectif était de valider les principaux concepts de la conduite, de tester les principes de conduite normale, incidentelle et accidentelle, notamment le Diagnostic Automatique, la répartition des informations entre méthodes et Modes Opératoires (MOP), la mutualisation des moyens entre CN et CIA Conduite Normale et Conduite Incidentelle/Accidentelle.

Cette première évaluation a fourni des résultats sur la pertinence des principes de conduite et des axes d'étude sur la nécessité des points de communication dans les consignes et sur l'organisation de l'équipe :

- Le principe de méthode unique associée à une stratégie et faisant appel aux MOP pour la mise en service et hors service des systèmes a été validé.
- Les principes de structuration des procédures, la répartition des actions et des informations entre méthode, MOP et images d'état ont été validés.

Ainsi la répartition des informations est faite entre la méthode (sous forme papier) qui présente la stratégie, le MOP (sous forme informatique) qui présente les actions à réaliser et des renvois vers les images de commande et l'image d'état qui fournit les informations pour la surveillance et aide à l'application de la stratégie).

Le principe du Diagnostic Automatique (DA) a été validé et les essais ont permis de préciser des axes de conception pour le DA et l'image d'état présentant son résultat, ainsi que l'image de décomposition du DA.

L'image de décomposition du DA répond à un principe de transparence des informations et automatismes, qui doivent pouvoir être suivis et compris par les opérateurs.

### 3.2.3.2. Évaluation d'ensemble sur simulateur EPR

L'évaluation s'est ensuite poursuivie sur une IHM simulée incluant au maximum les spécificités de l'IHM fournisseur finale, connectée à un simulateur d'études EPR. Le programme est décrit en référence.

Une évaluation de l'ensemble des moyens utilisés par les équipes de conduite pour l'activité de pilotage en conduite normale (CN) comme en conduite incidentelle et accidentelle (CIA) a été réalisée. Ce type d'évaluation est un processus comportant plusieurs étapes. Les différentes étapes (campagnes d'essais) présentent des objectifs qui sont propres à l'évaluation FH, processus itératif allant d'un travail initial d'évaluation des principes initiaux de conduite et d'IHM, jusqu'à la validation des choix de conception détaillés. Ces objectifs ont également été associés à l'implantation des différents moyens de conduite sur le simulateur d'étude EPR.

- La première campagne d'essais au MCP avait pour objectif de tester l'ensemble des moyens de conduite proposés sur le Moyen de Conduite Principal (MCP) en situation de conduite normale et conduite incidentelle/accidentelle.

Ainsi ont été testés les méthodes de conduite, l'imagerie, les Modes Opérateurs (MOP), les fonctionnalités de l'interface homme-machine.

Le basculement MCP/MCS ainsi que la recherche d'information au MCS ont également été examinés.

L'aménagement de la salle de commande, l'agencement des postes de conduite ont été validés.

Des recommandations ont été émises qui concernent les domaines suivants :

- documentation de conduite : amélioration de la présentation des informations,
- imagerie : en fonction de la nature des images (Modes opératoires, présentation de courbes, informations de synthèse),
- fonctionnalités de l'IHM : on notera que ces recommandations nécessitent un processus de traitement plus long car impliquant une analyse de faisabilité par le fournisseur de contrôle-commande.

- La deuxième campagne d'essais de la conduite au MCP a eu lieu sur simulateur d'études EPR installé dans la réplique de la salle de commande. Elle avait pour objectif de valider l'organisation de l'équipe de conduite, après intégration des recommandations issues de la première campagne sur l'imagerie, la documentation, la formation préalable et la définition de l'organisation.

Cette campagne d'évaluation des moyens de conduite a conduit à proposer des améliorations en termes d'imagerie, de consignes de conduite, ainsi qu'une évolution de l'organisation de l'équipe de conduite. Ainsi il a été décidé pour le démarrage de Flamanville 3, pour les situations de conduite incidentelle/accidentelle, d'assurer la conduite par un opérateur réacteur et un opérateur eau/vapeur, sous la supervision d'un superviseur CIA et d'un Chef d'exploitation.

- La troisième campagne d'évaluation a été réalisée sur le simulateur d'études avec un couplage du MCS.

Elle a eu pour objectif l'évaluation de la conduite au MCS, la confirmation du bien-fondé de l'organisation de l'équipe de conduite retenue à l'issue de la campagne précédente, ainsi que la validation des évolutions des moyens de conduite au MCP.

Les recommandations FH issues de chacune des campagnes d'essais ont fait l'objet d'une analyse et d'un traitement avec les métiers concernés de l'ingénierie, exploitation et formation et

ont été prises en compte dans la conception, la définition des organisations et le contenu des formations, dans la mesure des contraintes techniques ou projet.

Ces trois campagnes ont permis d'évaluer l'ensemble des moyens de conduite, au MCP et au MCS, dans les situations de conduite normale, incidentelle, accidentelle. Elles ont permis de :

- Vérifier la pertinence des principes de conception.
  - Vérifier l'utilité et l'utilisabilité des fonctionnalités effectivement développées pour la conduite au MCP, la conduite au MCS et le passage du MCP au MCS.
  - Adapter puis vérifier la pertinence des choix de conception des consignes de conduite.
  - Définir et valider l'organisation de l'équipe de conduite.
- La quatrième campagne d'essais a permis de confirmer la pertinence des dernières évolutions des moyens de conduite MCP et MCS conçues sur la base des recommandations FH, de valider l'IHM du PSIS et l'imagerie du signe de vie du MCP. Elle a permis également la vérification de la conduite depuis la station de repli. Il convient de souligner que l'IHM du PSIS et du signe de vie du MCP ont déjà fait l'objet d'une validation lors de la troisième campagne, sur la base d'une IHM simulée. Concernant la station de repli, l'IHM sera identique à celle du MCP, intégrant les enseignements des 3 premières campagnes d'essais. Cette campagne d'essais a donc pour objectif de confirmer les résultats déjà obtenus lors des trois premières campagnes
- Des essais de validation complémentaire du système sociotechnique de conduite au MCS permettront de confirmer que l'organisation et les moyens de conduite au MCS permettent de conduire, replier, et maintenir l'installation en état sûr, dans les situations de cumul :
- d'évènements affectant simultanément le réacteur et la piscine d'entreposage du combustible usé ;
  - d'un évènement thermohydraulique et d'un incendie ;
  - d'un évènement thermohydraulique et d'une perte de sources électriques.
- Cette campagne complémentaire sera l'occasion de confirmer l'utilisabilité :
- du RMC ;
  - de la consigne "défaut MCP".

### 3.2.3.3. Conception et évaluation de l'agencement du MCS

De même que les autres moyens de conduite, les études de conception du Moyen de Conduite de Secours ont fait l'objet d'une intervention FH.

En amont des campagnes sur simulateur d'étude, cette intervention a consisté en une contribution à la spécification des dispositifs de commande et d'information (les codages, la disposition, les regroupements).

Une première étape d'évaluation a été réalisée sur une maquette en bois à l'échelle 1, présentant l'agencement des signalisations et commandes. Les évolutions apportées ont ensuite été évaluées avec le même type de maquette à l'échelle 1 lors de la 1ère campagne d'évaluation sur le simulateur EPR.

Comme indiqué au [§ 3.2.3.2.](#), une évaluation sur simulateur EPR du passage et de la conduite au MCS a été réalisée lors de la troisième campagne d'essais.

L'évaluation du MCS s'est intéressée aux thématiques suivantes :

- Principes de structuration du MCS,
- Agencement des zones de commandes, de mesures et d'alarmes,

- Dispositifs matériels de commande, de mesure et d'alarme,
- Codages graphiques utilisés,
- Conduite au MCS et couplage consignes IHM Organisation,
- Thèmes particuliers comme les supports documentaires, l'utilisation collective du MCS, ou les moyens téléphoniques disponibles.

#### **3.2.3.4. ÉVALUATION DU JOURNAL DE BORD**

Les essais FH sur le journal de bord ont été effectués sur une plateforme représentative de l'IHM de tranche afin de vérifier que les informations contenues dans le journal de bord et leur présentation sont intelligibles par l'équipe de conduite et aisément accessibles à l'aide des fonctions de filtrage. Il s'agissait d'évaluer :

- la distinction entre les différents journaux de bord et leur utilité,
- l'accès aux différents journaux de bord,
- la présentation des signaux,
- les menus des différents journaux de bord,
- les retours et le guidage apportés aux utilisateurs,
- l'accès aux filtres,
- la présence et les modalités de filtrage,
- l'utilisation des courbes,
- l'harmonie avec les autres supports.

#### **3.2.4. Prévention de l'erreur humaine**

Pour se prémunir des délais d'action ou d'erreurs opérateurs lorsqu'un accident se produit, les systèmes sont conçus de façon à ne pas nécessiter d'intervention des opérateurs. Ainsi, après l'apparition d'un événement initiateur, aucune action opérateur n'est requise dans les 30 minutes depuis la salle de commande et 60 minutes pour les actions en local). Les systèmes ont été conçus pour fonctionner avec des automatismes durant ce temps.

Menées et intégrées tout au long du processus de conception, les études et évaluations ont permis une contribution Facteurs Humains dans la conception des moyens de conduite : les interfaces, les outils, la documentation d'exploitation, l'organisation, les compétences, fournis aux personnels d'exploitation, de manière à lui permettre de remplir les rôles qui lui sont confiés dans les installations, tout en réduisant les possibilités d'erreurs.

Les évaluations menées sur simulateur ont permis de vérifier que les métiers de conduite ont les moyens de faire le diagnostic de l'état du processus, mener les analyses nécessaires à la conduite du processus, agir et récupérer les erreurs potentielles.

#### **3.3. CONCEPTION DES SYSTÈMES**

Au travers des notes d'exigences produites par l'équipe DPN intégrée dans le projet EPR, le retour d'expérience de l'exploitation des principaux systèmes a été pris en compte.

Les méthodes d'ingénieries définies pour la conception des systèmes intègrent les exigences d'exploitation et recherchent la simplification de la conduite des systèmes. Ainsi les besoins en termes de conduite, signalisations d'alarmes, moyens de consignation, sont intégrés dans les cahiers des charges de conception.

### **3.4. INSTALLATION GÉNÉRALE- MAINTENANCE**

#### **3.4.1. Analyse des situations actuelles et Retour d'expérience**

Le retour d'expérience des paliers précédents est une des données d'entrée des études d'installation. En complément, un REX Facteurs Humains des activités d'exploitation en local a été réalisé sur les paliers précédents.

L'analyse de situations actuelles a permis d'identifier des activités remarquables du point de vue FH, les difficultés rencontrées par les différents personnels au cours de leurs actions, ainsi que les points forts des conceptions précédentes à conserver. Les points suivants ont été abordés : accès aux équipements, circulations, moyens de manutention, stockages, outillages, repérage, conditions d'ambiance (sonore, thermique, visuelle), communications, et leurs exigences correspondantes. Cet examen du retour d'expérience a permis de définir des recommandations pour la conception des équipements et de l'installation.

#### **3.4.2. Spécification fonctionnelle**

Les exigences pour l'exploitation et la maintenance ont été intégrées dans la trame des cahiers des charges des bâtiments et des cahiers des charges des matériels.

Les études FH ont visé à intégrer les besoins de l'exploitation future et des exigences issues du retour d'expérience dans les spécifications de la future tranche.

#### **3.4.3. Spécification détaillée**

L'étape de spécification détaillée consiste en la déclinaison des exigences identifiées en phase de spécification fonctionnelle.

Les différentes exigences qui contribuent à la prise en compte des besoins futurs des intervenants s'appliquent à :

- la conception des bâtiments : identification des besoins pour l'exploitation et la maintenance dans les cahiers des charges des bâtiments,
- l'installation des matériels et moyens de manutention dans les locaux : application des layout requirements.

#### **3.4.4. Activités de maintenance ou d'exploitation spécifiques**

Différentes activités de maintenance ont fait l'objet d'une analyse ayant pour objectif d'améliorer les conditions d'exploitation et de maintenance.

##### **3.4.4.1. Opérations sur les Générateurs de Vapeur**

L'analyse sur le parc de cette activité a permis d'identifier les contraintes, notamment posturales, et de proposer des évolutions en matière de diamètre des trous d'homme primaires et secondaires, d'outillage d'aide à l'ouverture et fermeture de ces trous d'homme, d'aménagement des casemates GV, d'organisation de l'activité et de conception des matériels de lancement. Ces dispositions de conception sont décrites au sous-chapitre 12.4 Radioprotection.

##### **3.4.4.2. Maintenance des pompes primaires**

Une analyse de la maintenance des pompes primaires sur le parc en exploitation a produit un ensemble de recommandations relatives aux différents paramètres de cette activité. Divers champs ont été étudiés : définition des outillages et moyens de manutention nécessaires à la maintenance des joints de pompe, installation des locaux. Ainsi des améliorations ont été apportées d'un point de vue espace de travail, moyens de manutention, outillages d'extraction des joints de pompes, conditions de luminosité.

### 3.4.4.3. Manutention combustible

La conception de la machine de chargement/déchargement PMC a bénéficié du REX du parc en exploitation.

Suite aux spécifications fonctionnelles et aux premiers développements, des tests initiaux et un examen des fonctionnalités avec des futurs utilisateurs ont été réalisés, qui ont permis des évolutions dans la conception.

En phase de validation technique sur site dans l'environnement global, des tests seront effectués pour vérifier en situation les choix de conception des interfaces de pilotage PMC.

### 3.4.4.4. Traitement des déchets solides au BTE

L'analyse FH de cette activité a tout d'abord consisté en une analyse de l'activité de traitement des déchets solides sur le parc en exploitation. Cette analyse de l'existant a permis de définir des principes de conception des locaux et des matériels qui visent à réduire les contraintes de manutention et contrôle des déchets, notamment par une mécanisation accrue. Cette conception réduit la pénibilité du travail de traitement des déchets. Elle améliore les conditions de travail et optimise la dosimétrie.

### 3.4.5. Études d'installation

La méthodologie mise en œuvre dans les études au travers des règles d'installation a permis d'intégrer le REX des activités identifiées dans les paliers précédents.

La surveillance des études elle-même s'est intéressée aux questions de circulation, accessibilité, manutention, moyens électriques et pneumatiques, repérage dans l'installation. Cette surveillance a été réalisée sur un outil CAO (maquette 3D), permettant de visualiser les espaces, zones de circulation, zones de stockage, dispositifs de manutention, positionnement des équipements. Au cours du travail de surveillance, les améliorations à apporter sont identifiées puis intégrées dans une nouvelle version des spécifications détaillées, sauf en cas d'impossibilité.

Les thématiques abordées de façon générique dans les études d'installation, sont décrites ci-dessous.

#### 3.4.5.1. Conditions de circulation des intervenants

Dans la conception des bâtiments et des locaux, la circulation des intervenants fait partie des éléments de sécurité. Le nombre de personnes est estimé par niveau et le cheminement possible pour réaliser les tâches a été identifié avec le futur exploitant.

Pour illustration, le bâtiment combustible a fait l'objet d'une évolution qui a permis :

- d'ajouter un couloir permettant au personnel de passer de la  au . Les dimensions du couloir ont été prévues pour permettre le croisement d'un nombre important de personnes en arrêt de tranche.
- de disposer d'un local spécifique et protégé des intempéries, pour les opérations d'arrivée du combustible neuf et de préparation du départ du combustible usé.

#### 3.4.5.2. Recherche d'une accessibilité importante aux équipements

Les matériels, en particulier les vannes, qui doivent faire l'objet de manœuvres, ont été installés à hauteur d'homme (sauf impératifs émanant d'autres exigences de sûreté ou impossibilité matérielle).

Pour illustration :



### 3.4.5.3. Conception des moyens de manutention des équipements pour leur maintenance

Lors des études d'installation, les moyens de manutention ont été systématiquement étudiés. Majoritairement il s'agit de monorails. Si une plate-forme élévatrice ou un moyen mobile peuvent être plus efficaces, ils ont été choisis.

Pour faciliter les activités dans le BAS/BL, [ ] a été prévu. Par ailleurs le monte-charge du BAN a une charge de [ ] tonne.

### 3.4.5.4. Conception des moyens électriques et pneumatiques

Pour faciliter les opérations de maintenance, une analyse des besoins en termes de moyens électriques et de moyens en air comprimé a été réalisée pour les locaux qui sont le siège d'un grand nombre d'interventions (par exemple Bâtiment Réacteur en arrêt de tranche) ou qui présentent une particularité (par exemple, milieu marin de la station de pompage). Cette étude a permis d'identifier dans ces locaux les besoins en prises électriques et prise d'air, ainsi que la distance maximale entre l'arrivée d'air et l'équipement sur lequel on intervient. Ces moyens sont très importants pour améliorer les conditions et la qualité des interventions de maintenance.

### 3.4.5.5. Prise en compte du risque bruit

Pour limiter le niveau sonore dans les installations, le critère bruit a été intégré dans les contrats matériels sous la forme d'un niveau sonore par équipement à ne pas dépasser ou par le respect du seuil réglementaire. Une étude bruit a été réalisée permettant d'identifier les locaux à risque bruit et de prévoir les protections nécessaires.

Une étude spécifique a été réalisée pour le BR, réacteur en puissance. Dans la zone accessible du BR tranche en marche, la ventilation est le contributeur principal au niveau de bruit ambiant. Le niveau général a été jugé acceptable, sans nécessité de modification.

### 3.4.5.6. Augmentation de la luminosité

Une étude a tracé des recommandations visant à obtenir un éclairage lumineux important ([ ] lux dans la plupart des bâtiments). Puis les objectifs en matière de radioprotection ont conduit à augmenter cette exigence de l'éclairage lumineux à [ ] lux dans les zones d'activités. Cette disposition contribuera à faciliter les interventions de maintenance et réduire le risque d'erreurs.

### 3.4.5.7. Exemples d'illustrations de la démarche FH dans la conception des locaux hors salle de commande

Des exemples de choix de conception, d'installation et d'aménagement des locaux, concernés par la prise en compte des FH qui intègrent des éléments du REX N4 sont décrits ici :

- Bâtiment POE (Pôle Opérationnel d'Exploitation, issu d'exigences DPN), permet de regrouper l'ensemble des métiers d'exploitation près de la tranche pour favoriser les communications et la coopération entre les différents métiers de maintenance et logistique, entre eux et avec le service Conduite.
- Création d'un local [ ] pour faciliter la préparation des activités dans le BAN, ainsi que la coopération et les communications avec la salle de commande.
- Stockage et colisage
  - Les plans de colisage pour le BR ont été réalisés à la conception,
  - Il y aura davantage de place de dépose sur le plancher de service ([ ] m<sup>2</sup> répartis sur deux niveaux).
- Mise en œuvre de dispositions de test assisté dans les cellules électriques d'alimentation de vannes de sûreté.

- Une infrastructure permanente, permettant des interconnexions électriques, a été prévue entre les quatre trains pour faciliter, le moment venu, l'alimentation des installations qui doivent fonctionner en permanence pendant l'arrêt (ascenseurs, éclairages). Cela évite d'avoir à ajouter des câbles volants puis de les déplacer.

#### **3.4.6. Conception des matériels**

Le processus de conception de certains matériels ayant une fonction de sûreté (par exemple les pompes EVU/ASG, les pompes RRI, les robinets-vannes des circuits de sûreté), les documents techniques des appels d'offre pour la fourniture intègrent une exigence d'analyse, par le fournisseur, de la maintenabilité du matériel, intégrant l'analyse des contraintes FH liées au matériel (postures, accessibilité des pièces,...) ainsi que les risques d'erreurs à prendre en compte lors des opérations de maintenance et envisager des parades à ces risques.

Cette exigence a permis dans certains cas de faire évoluer les matériels individuellement ou dans le cadre d'une étude spécifique d'activité de maintenance. Ainsi on rappellera que des évolutions ont été réalisées dans la conception des pompes primaires, des générateurs de vapeur ou des outillages de manœuvre (exemple machine ouverture, fermeture des trous d'homme). Ces améliorations sont citées au travers de ce chapitre ainsi que dans le chapitre relatif à la radioprotection (sous-chapitre 12.4),

#### **3.4.7. Prévention de l'erreur humaine**

Différentes dispositions contribuent à prévenir les erreurs humaines et favoriser leur récupération.

- Repérage et signalétique : afin de diminuer le risque d'erreur de confusion de matériels et de locaux, la signalétique et le repérage des trains ont fait l'objet d'une étude spécifique. Cette étude a intégré les spécificités EPR (en particulier la présence de quatre divisions de sauvegarde) tout en reprenant les principes de signalétique des CNPE en exploitation. En effet les personnels intervenants doivent retrouver les principes de signalétique auxquels ils sont familiarisés sur les autres tranches du Parc en exploitation. Les principes de signalétique ont été revus et testés avec de futurs utilisateurs.
- Les équipements (systèmes de sauvegarde, système supports) sont répartis sur 4 divisions indépendantes avec des accès indépendants. Cette conception permet une maintenance préventive « tranche en fonctionnement » qui permettra de lisser les opérations de maintenance sur l'ensemble du cycle et devrait être favorable à la diminution des confusions de locaux et matériels.
- Le niveau d'éclairage important dans l'ensemble des installations est également un facteur de réduction du risque d'erreur dans les interventions de maintenance.
- Dans la conception des matériels, le risque d'erreur a été intégré dans la limite des possibilités techniques. On citera pour exemple :
  - Conception des pompes et vannes :
    - Le sens de rotation des pompes est indiqué sur le matériel.
    - Des marques sur les vannes désignent le sens du fluide pour éviter que l'intervenant ne se trompe sur le sens de montage du matériel.
    - Sur certaines vannes est intégré un méplat qui interdit le mauvais montage.
  - Armoires électriques :

La disposition à l'intérieur des armoires est similaire d'une armoire à l'autre mais avec de légères spécificités. Pour éviter les erreurs d'intervention, des plans des coffrets électriques seront posés sur les portes de chaque armoire électrique.

#### **3.4.8. Radioprotection**

La démarche ALARA menée à la conception et les objectifs du programme d'ingénierie des Facteurs Humains sont concordants (cf. sous-chapitre 12.4), les dispositions de conception favorisant la protection radiologique ayant un impact favorable sur les conditions d'exploitation. On citera pour

exemple l'accessibilité au BR en puissance notamment, avant le début de l'arrêt de tranche et au redémarrage, qui a fait l'objet d'un travail d'analyse de façon à vérifier les conditions d'accès pour le personnel. Il en a résulté de nouvelles études et choix de conception techniques (création d'un double compartimentage comprenant un espace de service et un compartiment équipements) pour garantir des conditions d'ambiance thermiques et radiologiques acceptables.

La démarche EVEREST prévoit que le personnel intervenant dans les locaux de la zone contrôlée ne présentant pas de risque de contamination puisse accéder en tenue de travail classique, sans nécessité de revêtir la tenue blanche spécifique.

Pour permettre la mise en œuvre de la démarche EVEREST, il est nécessaire d'aménager certaines zones dites barrières de contamination pour installer les moyens de contrôle et disposer d'espace pour l'habillage et le déshabillage. Par exemple des bacs doivent être prévus pour les sur-tenues devant être revêtues pour l'accès aux zones contaminées. Les études d'installation ont intégré ces besoins. L'espace autour du SAS BR au niveau 0 m a été revu pour permettre le flux important d'intervenants lors de l'arrêt de tranche et la disposition des moyens de distribution et collecte des sur-tenues, en respectant les principes de non-croisement des flux entrée-sortie et de marche en avant. La prise en compte de la démarche EVEREST à la conception permet de faciliter sa mise en œuvre et d'augmenter les gains liés à cette démarche

De façon générale, les études menées en radioprotection (cf sous-chapitre 12.4) pour optimiser la dosimétrie sur des chantiers sélectionnés ont des objectifs communs avec les études FH. Les résultats obtenus au travers de ces études d'optimisation de chantiers concourent à la simplification de certaines opérations de maintenance et à l'amélioration des conditions d'intervention selon la logique de la démarche FH. Lors de ces études, la définition de moyens les plus adaptés possibles à l'activité contribue à la diminution du temps d'exposition.

Les interventions FH menées dans les études d'ingénierie d'installation et de conception des matériels ont permis de compléter les méthodes mises en œuvre dans les études d'ingénierie dans l'objectif de prise en compte des activités de maintenance et d'exploitation dans la conception des bâtiments, locaux et installations.

L'ensemble de ces activités menées doit conduire à des conditions favorables de réalisation des opérations de maintenance.

## **4. ORGANISATION DE L'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS**

### **4.1. PROCESSUS D'INGÉNIERIE DES FACTEURS HUMAINS**

Le programme d'ingénierie FH est décrit dans un document de conception et intégré dans les documents de conception des domaines de conception affectés. Au cours de la phase de conception et pendant la phase de construction, le programme d'ingénierie des Facteurs Humains a été défini et mis en place par le maître d'ouvrage qui en est responsable. La responsabilité et la coordination de ce programme d'Ingénierie Facteurs Humains (IFH) ont été assurées par le Service Sûreté Nucléaire Environnement d'EDVANCE et par le Coordonnateur spécialiste du domaine FH.

La gestion du programme des Facteurs Humains a été intégrée dans la gestion du projet EPR. Les objectifs et le programme ont été définis conformément à la gestion du projet EPR et en coopération avec les équipes de conception impliquées.

Le coordonnateur FH a participé aux revues de conception quand le thème concernait l'exploitation future (Conduite, bâtiments, maintenance en arrêt de tranche, radioprotection). Ceci a permis de proposer des recommandations FH nécessaires.

En complément, des revues spécifiques ont été réalisées sur le thème Facteurs Humains afin de faire un état des résultats et de cibler le travail à réaliser.

Le programme IFH a comporté plusieurs types de travaux :

- l'intégration des questions et du point de vue Facteurs Humains dans les études techniques de conception,
- les études d'évaluation des choix de conception,
- les études spécifiques FH qui permettent d'approfondir certains points et d'instruire les études de conception.

L'organisation retenue pour ce programme a permis de mener à bien ces trois types de travaux et mobiliser les différents métiers concernés.

Les résultats des études FH ont été tracés dans les documents de conception.

Pour illustration, en ce qui concerne les premiers essais sur maquette de conduite, des documents spécifiques présentent les résultats d'analyse des essais, qui ont ensuite été intégrés sous forme de spécifications après décision dans les documents de conception (cahier des charges du contrôle-commande par exemple).

Les résultats d'analyse du REX de maintenance ont été tracés dans des documents de recommandations ou intégrés dans les cahiers des charges des équipements.

## **4.2. COMPOSITION DE L'ÉQUIPE D'INGÉNIERIE FACTEURS HUMAINS DU PROJET EPR**

### **4.2.1. Spécialistes Facteurs Humains**

Les spécialistes FH ont pour rôle l'intégration dans la conception :

- du retour d'expérience relatif au travail humain dans les situations existantes,
- du point de vue FH dans les études et choix de conception, c'est à dire le point de vue du travail futur dans la centrale. L'intégration de ce point de vue se fait par un questionnaire des études de conception menées par les ingénieurs de conception,
- des guides de conception ou exigences issues de normes et principes relatifs au travail humain et applicables en phase de conception,
- des études d'évaluation des choix de conception, au travers notamment de tests auprès de représentants des futurs utilisateurs.

Les ressources FH mobilisées dans le programme FH appartiennent aux entités suivantes :

- EDVANCE : le programme IFH a été animé et coordonné par un spécialiste FH, ergonomiste de formation.
- Direction Recherche et Développement : l'équipe FH du département management des Risques Industriels apporte son expertise en matière d'activités de conduite des réacteurs, en matière de choix d'ingénierie des FH ainsi qu'en matière d'évaluation de choix de conception.
- Division Production Nucléaire : participe à ce programme en tant que futur utilisateur de l'installation. Pour ce faire, l'équipe FH de l'UNIE (Unité d'Ingénierie d'Exploitation) participe à des études spécifiques (expression des besoins DPN en matière d'outils de conduite par exemple) et aux revues techniques qui concernent le programme d'ingénierie Facteurs Humains ou la conception d'éléments-clés comme la salle de commande.
- Service d'Etudes en Santé au Travail (SEST) : de par son expérience d'aménagement et de réaménagement de salles de commande, contribue aux études de conception de la salle de commande et des locaux de conduite annexes. Les participants sont des ergonomes et spécialistes des normes.

La participation de plusieurs unités d'EDF à ce programme est un principe retenu pour l'ensemble du Projet EPR. Dans ce cadre, chaque Directeur d'Unité assure la mise en place conformément au planning du projet, des moyens humains et matériels ainsi que des compétences nécessaires. L'apport de compétences spécifiques à chaque unité a constitué un enrichissement des études FH menées.

#### 4.2.2. Ingénieurs de conception des unités d'ingénierie

Les ingénieurs de conception ont été partie prenante du programme d'ingénierie Facteurs Humains. En effet, l'atteinte des objectifs du programme de conception passe nécessairement par l'intégration dans leurs activités de conception, de la dimension Facteurs Humains, du point de vue du travail futur.

Pour intégrer la dimension Facteurs Humains dans les activités des ingénieurs de conception, les moyens suivants ont été mis en place dans l'organisation du Projet EPR.

Les documents supports à la conception doivent permettre d'intégrer la dimension FH dans les choix de conception. C'est pourquoi, au même titre que les autres disciplines du projet, le coordonnateur Facteurs Humains est intervenu dans la rédaction des documents qui organisent l'activité d'ingénierie (Plans Qualité de Conception) et qui décrivent les méthodes à appliquer (Règles d'Ingénierie). Ainsi les documents d'ingénierie relatifs à l'automatisation, à la conception des systèmes, à la conduite des systèmes, intégraient-ils le point de vue Facteurs Humains.

Des travaux ou études particuliers ont été réalisés en collaboration entre ingénieurs et spécialistes Facteurs Humains, qui sont partie intégrante des études de conception. C'est le cas par exemple des travaux de conception de l'interface de conduite, des travaux d'évaluation des options de conduite ou des études relatives aux futures activités de maintenance menées avec les métiers d'Installation.

Une formation aux Facteurs Humains a été développée pour les ingénieurs de conception des unités d'ingénierie. Cette formation, d'une durée d'une journée, s'est centrée sur l'ergonomie de conception et l'ingénierie FH à la conception. Elle a fourni aux ingénieurs des connaissances de base dans le domaine, de la démarche FH et des moyens pour « détecter » les sujets d'études qui nécessiteraient l'intégration d'un point de vue FH car ayant un impact sur l'activité future.

Toutes les entités d'ingénierie intervenant dans le Projet EPR sont susceptibles d'intégrer le point de vue FH dans leurs activités.

#### 4.2.3. Exploitants et représentants de l'exploitant DPN

De façon générale dans le projet EPR, l'exploitant DPN a été partie prenante en permanence par l'intermédiaire d'une équipe détachée à EDVANCE (initialement au CNEN (Centre National d'Équipement Nucléaire)). Cette équipe comprenait plusieurs spécialistes : maintenance, conduite, radioprotection, fonctionnement général. Ces représentants sont le relais entre les exploitants des CNPE, des services centraux et les services de conception.

Comme les ingénieurs de conception, les représentants de l'exploitant ont participé à l'ensemble des activités du programme d'ingénierie FH :

- Ils ont contribué à faire prendre en compte le point de vue de l'exploitant futur, rejoignant la démarche Facteurs Humains.
- Ils ont fait bénéficier l'EPR du Retour d'Expérience acquis tout au long de l'exploitation des tranches du Parc.
- Ils ont facilité la représentation de l'activité future probable par la connaissance qu'ils ont de la réalité du travail, dans les études IFH et sollicitent les exploitants sur tranche.
- Ils ont contribué à définir les priorités du programme.

Au-delà de cette équipe détachée, les exploitants des réacteurs en exploitation (opérateurs de conduite, de maintenance) ont été sollicités dans le recueil du retour d'expérience ainsi que dans les phases d'évaluation des options de conception. Ils ont fait part des points positifs et négatifs des conceptions actuelles, se sont prononcés sur les options et complété si besoin les exigences de conception.

#### 4.3. PILOTAGE DU PROGRAMME IFH

Le programme IFH fait l'objet d'un pilotage stratégique par la Direction Technique du Projet EPR.

L'organisation a permis aux spécialistes FH :

- de bénéficier de toutes les informations techniques et relatives au projet EPR, favorisant ainsi leurs interventions en tant que de besoin dans les revues et instances de choix de conception,
- d'alerter si nécessaire sur la nécessité d'études FH ou sur les conséquences des choix de conception,
- de travailler directement avec les équipes de conception.

Pour faire avancer le programme d'ingénierie FH et par conséquent le point de vue FH dans la conception, les spécialistes FH ont participé aux études et aux choix de conception (ils ont été présents par exemple dans les groupes multidisciplinaires sur l'imagerie, la conduite accidentelle) ont répondu aux interrogations des concepteurs et alerté sur des conséquences des choix de conception sur le travail futur. Ils ont instruit le débat sur les choix de conception, au même titre que les autres métiers.

Les spécialistes FH ont également participé à certaines des revues techniques qui jalonnent les décisions sur les choix de conception, lorsqu'elles ont un impact sur l'activité future.

#### **4.4. PHASE D'ESSAIS D'ENSEMBLE ET DE DEMARRAGE**

Les observations réalisées sur tranche par une équipe de spécialistes Facteurs Humains lors des essais d'ensemble et de démarrage permettront de :

- confirmer les résultats obtenus lors des campagnes d'essais FH sur simulateur,
- suivre dans un environnement réel les thèmes qui ont été partiellement validés ou qui n'ont pas pu être validés sur simulateur faute de représentativité.

Les observations porteront sur :

- l'utilisabilité des consignes de conduite,
- l'organisation de l'équipe de conduite,
- l'aménagement de la salle de commande (circulation, flexibilité d'accueil ponctuel, environnement physique),
- l'équipement de la salle de commande (emplacement, adéquation vis-à-vis du besoin opérationnel - moyens d'impression et de communication, rangement, guichet d'accueil, table de quart et inter PO),
- le MCP (dimensionnement du Poste Opérateur, IHM, imagerie, Journal de Bord),
- les commandes groupées,
- le traitement des alarmes,
- la gestion d'un incendie depuis la salle de commande,
- la gestion et l'organisation mise en place pour les consignations,

Il est à souligner que les essais d'ensemble et de démarrage ne sont pas représentatifs d'une phase opérationnelle d'exploitation. Certains thèmes pourraient ne pas être observés ou n'être que partiellement validés.

#### **4.5. PHASE OPÉRATIONNELLE D'EXPLOITATION**

Dans chaque CNPE une personne ou une équipe est dédiée au traitement des problématiques FH. Ce consultant FH travaille avec les équipes de direction, d'exploitation et de maintenance, afin d'améliorer la sûreté. Ses responsabilités comprennent :

- l'analyse des événements,

- le conseil de la direction lors de prises de décisions, de changements d'organisation, dans le domaine du management de la sûreté,
- la sûreté, la sécurité, la radioprotection et l'amélioration de la qualité dans les activités d'exploitation et de maintenance.

Cette organisation est similaire sur le CNPE de Flamanville 3.

Au niveau central de l'entreprise, une équipe de spécialistes Facteurs Humains intervient sur les questions Facteurs Humains dans l'exploitation des CNPE. Cette équipe assiste chaque CNPE dans la gestion des Facteurs Humains et de la sûreté.

Au niveau d'EDVANCE, une équipe de spécialistes Facteurs Humains réalisera des observations sur tranche lors du premier cycle d'exploitation et du premier arrêt de tranche.

Ces observations permettront de :

- confirmer les résultats obtenus lors des campagnes d'essais FH sur simulateur,
- confirmer les résultats obtenus lors des observations réalisées durant les essais d'ensemble et de démarrage,
- suivre dans un environnement réel les thèmes qui ont été partiellement validés ou qui n'ont pas pu être validés sur simulateur ou lors des essais d'ensemble et de démarrage faute de représentativité.

Les observations porteront sur :

- l'utilisabilité des consignes de conduite,
- l'organisation de l'équipe de conduite et la gestion des agents de terrain,
- l'aménagement de la salle de commande (circulation, flexibilité d'accueil ponctuel, environnement physique),
- l'équipement de la salle de commande (emplacement, adéquation vis-à-vis du besoin opérationnel - moyens d'impression et de communication, rangement, guichet d'accueil, table de quart et inter PO),
- le MCP (dimensionnement du Poste Opérateur, IHM, imagerie, Journal de Bord),
- les commandes groupées,
- le traitement des alarmes,
- la gestion et l'organisation mise en place pour les consignations.



# RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 2

PAGE 27/28

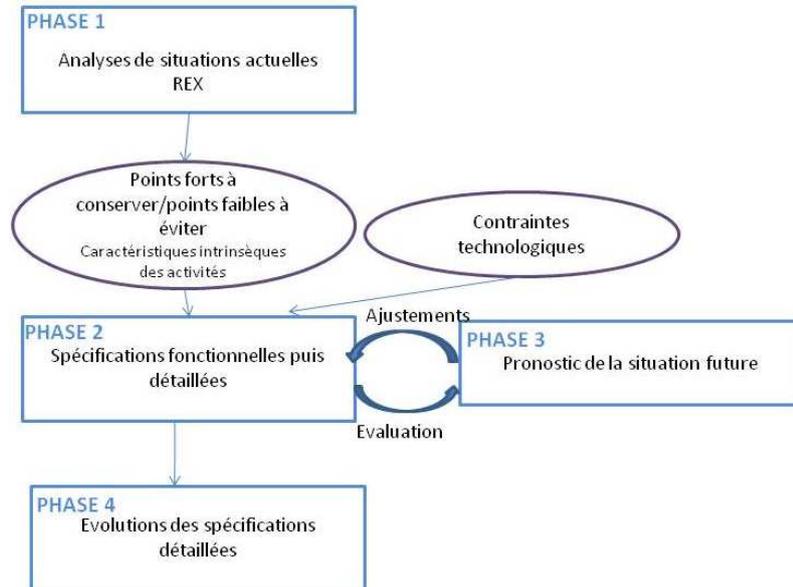
CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

## LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] ECEF012001 A - Technical Report : Approach for integration of Human Factors in EPR design

## **FIG-17.2.1 MÉTHODOLOGIE**



## SOMMAIRE

<b>.17.3 PRINCIPES DE CONCEPTION DE L'INTERFACE HOMME- MACHINE</b>	<b>3</b>
<b>1. RÔLE DU PERSONNEL D'EXPLOITATION</b>	<b>3</b>
1.1. PRINCIPES D'EXPLOITATION	3
1.2. COMPOSITION ET RÔLE DU PERSONNEL D'EXPLOITATION	3
1.2.1. OPÉRATEURS	4
1.2.2. CHEF D'EXPLOITATION DÉLÉGUÉ	4
1.2.3. CHEF D'EXPLOITATION	5
1.2.4. AUTRES INTERVENANTS	5
1.2.5. INGÉNIEUR SÛRETÉ	5
1.3. AUTOMATISATION	5
1.3.1. PRINCIPES ET CRITÈRES D'AUTOMATISATION	5
1.3.2. MODALITÉS D'AUTOMATISATION	6
<b>2. BESOINS EN INFORMATIONS ET COMMANDES</b>	<b>7</b>
2.1. INFORMATIONS PRÉSENTÉES A L'OPERATEUR	7
2.2. ORGANISATION DE LA PRÉSENTATION DES INFORMATIONS	7
2.2.1. VISION GÉNÉRALE DE L'ÉTAT DE LA CENTRALE	7
2.2.2. PRÉSENTATION DE L'IMAGERIE EPR	8
2.2.3. NIVEAU DE GUIDAGE	9
2.2.4. ACCÈS AUX INFORMATIONS	10
2.2.5. CODAGE ET PRÉSENTATION DES INFORMATIONS	10
<b>3. ALARMES</b>	<b>10</b>
3.1. OBJECTIF DES ALARMES	10
3.2. EXIGENCES RELATIVES AU TRAITEMENT D'UNE ALARME	11
3.3. CLASSEMENT DES ALARMES	11
3.3.1. ALARME DE GRAVITÉ 1	12
3.3.2. ALARME DE GRAVITÉ 2	12
3.3.3. ALARME DE GRAVITÉ 3	12
3.3.4. ALARME DE GRAVITÉ 4	12
3.3.5. ALARME INCENDIE	12
3.4. ECRAN D'ALARME, VERRINE D'ALARME, LISTE D'ALARME	12
3.5. FICHES D'ALARME	12



**RAPPORT DE SURETE**

**— DE FLAMANVILLE 3 —**

**Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 17

SECTION 3

PAGE 2/13

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**4. PROCÉDURE DE CONDUITE . . . . . 13**

## .17.3 PRINCIPES DE CONCEPTION DE L'INTERFACE HOMME- MACHINE

### 1. RÔLE DU PERSONNEL D'EXPLOITATION

#### 1.1. PRINCIPES D'EXPLOITATION

##### - **Conduite centralisée du procédé**

La conduite et la supervision du procédé sont centralisées dans la salle de commande principale (SdC). Celle-ci fournit toutes les informations sur le procédé, les commandes et les moyens de communication nécessaires au contrôle de l'état de la centrale et à son exploitation dans tous les états, y compris la mise en service, la maintenance, le rechargement, le fonctionnement en puissance et les conditions accidentelles.

##### - **Stations de commande locales**

Cependant, des commandes manuelles peuvent être placées en dehors de la salle de commande principale, en local sur l'installation. Elles sont manœuvrées par des agents de terrain sur demande des opérateurs de la SdC pour des fonctions :

- qui requièrent une indépendance de la salle de commande principale ou,
- qui sont autonomes et ne requièrent que quelques rares actions de commande et aucune coordination ou une coordination très limitée avec la SdC ou,
- qui ne requièrent pas d'actions de commande manuelles rapides en cas de défaillances du système ou d'incidents.

Bien que ces fonctions ne soient pas commandées depuis la SdC, elles peuvent cependant y être surveillées.

##### - **Station de repli (SdR)**

En cas d'indisponibilité de la SdC, une station de repli (SdR) est prévue pour amener la centrale à l'état sûr et la maintenir dans cet état. La concomitance de cette indisponibilité et d'un accident n'est cependant pas prise en compte dans la conception.

##### - **Local Technique de Crise (LTC)**

En moyen d'assistance à la conduite post-accidentelle, un local technique de crise (LTC) fournissant des informations et des moyens de communication est prévu sur l'installation. Il peut être utilisé en cas d'accidents par une équipe d'assistance composée d'experts conseillant le personnel d'exploitation.

#### 1.2. COMPOSITION ET RÔLE DU PERSONNEL D'EXPLOITATION

La centrale est exploitée par deux opérateurs en fonctionnement normal. En arrêt de tranche, un troisième opérateur peut être présent pour compléter l'équipe. En situation incidentelle ou accidentelle, un superviseur est également appelé en salle de commande. L'équipe de conduite est également composée d'un Chef d'Exploitation, d'agents de terrain ainsi que d'un Délégué Sécurité en Exploitation.

Cette organisation permet une répartition du travail et des responsabilités permettant d'éviter les surcharges d'activités des opérateurs.

Cette organisation permet :

- De réaliser la conduite et la surveillance de l'installation,
- D'assurer la communication en salle de commande et à l'extérieur, notamment de gérer les interfaces avec les autres métiers,
- D'assurer une redondance des acteurs en cas d'aléas,
- D'assurer un nombre d'acteurs suffisant pour gérer la conduite en cas de défaillances multiples.

### 1.2.1. Opérateurs

Les opérateurs ont pour tâche de :

- Pendant l'exploitation de la centrale :
  - réaliser ou contrôler la conduite de l'installation conformément au programme de charge et au planning des activités,
  - réaliser (ou demander) les actions manuelles nécessaires pour mettre en / hors service ou modifier la configuration des circuits de l'installation en régime normal ou après un accident,
  - contrôler la sûreté et la disponibilité de l'installation au travers des paramètres et de toutes les informations fournies par les systèmes informatiques ou conventionnels,
  - réaliser les contrôles et les essais périodiques afin de garantir que tous les systèmes de sûreté sont entièrement disponibles,
  - alerter le superviseur CIA en cas d'anomalie de fonctionnement,
  - appeler le Chef d'Exploitation en cas d'atteinte de certains critères,
  - lancer toute action corrective en cas de dysfonctionnement d'un équipement ou d'événements imprévus en plus des actions automatiques,
  - demander des actions correctives à des opérateurs locaux ou du personnel de maintenance si des actions depuis la SdC ne sont pas suffisantes,
  - tenir compte de l'indisponibilité de l'équipement pendant la maintenance et le fonctionnement et prendre les dispositions nécessaires pour configurer les circuits ou faire fonctionner la centrale de manière à respecter les Règles Générales d'Exploitation,
  - exécuter les actions appropriées en plus ou après la mise en application des actions automatiques suite à un accident,
  - exécuter la requalification des matériels en coopération avec les agents de terrain.
- pendant le démarrage de l'installation :
  - réaliser les essais en collaboration avec les ingénieurs d'astreinte,
  - rester en contact avec les agents de terrain,
  - tenir compte de l'état de la totalité de l'installation et de ses systèmes afin de s'assurer que les essais peuvent être réalisés en toute sûreté et en toute sécurité.
- pendant l'arrêt de tranche :
  - exécuter les actions de requalification des matériels en coordination avec les opérateurs locaux.
- détection et lutte contre l'incendie :

Les opérateurs sont également compétents pour traiter les alarmes de détection et de lutte contre l'incendie (conjointement avec le Délégué Sécurité en Exploitation). Ils font appel à l'équipe de première intervention suite aux alarmes de détection d'incendie.

### 1.2.2. Chef d'Exploitation Délégué

En Conduite Normale, le Chef d'Exploitation Délégué assure les missions définies comme suit :

- assurer la coordination technique de l'équipe de quart en appui du Chef d'Exploitation ; il porte le respect des exigences d'exploitation, en relais du Chef d'Exploitation sur les Projets et fédère les métiers et son équipe autour des priorités d'exploitation,
- gérer les demandes de travaux et les menaces de production,
- être garant du processus de relève,
- être garant du contrôle technique des activités Conduite de son quart,

- en cas d'aléa, assurer le pilotage jusqu'à la désignation d'un nouveau pilote et contribuer activement à la résolution du problème.

En Conduite Incidentelle ou Accidentelle, le Chef d'Exploitation Délégué devient le superviseur en CIA et assure les missions définies comme suit :

- contrôler le fonctionnement et veiller à la cohérence avec les principes de sûreté et de disponibilité de l'installation,
- contrôler l'adéquation de l'état de tranche avec la stratégie demandée,
- s'assurer de la pertinence des actions demandées,
- réaliser la priorisation des actions pour les opérateurs,
- faire le lien entre l'équipe et les demandes de l'IS/CE,
- faire l'interface dans le cadre de la sollicitation des astreintes.

### **1.2.3. Chef d'Exploitation**

Le Chef d'Exploitation assure les missions définies comme suit :

- faire la liaison avec le gestionnaire de réseau, en tenant compte de la disponibilité de l'installation et des systèmes de la centrale ainsi que des exigences du dispatching,
- informer la direction du site en cas d'incident/accident,
- communiquer avec l'équipe présente dans le Local Technique de Crise (LTC) en cas d'accident,
- coordonner la lutte contre l'incendie tant qu'une organisation spécifique n'est pas mise en place,
- en CIA, appliquer le document de Surveillance Permanente d'Etat tant que l'Ingénieur Sûreté n'est pas arrivé,
- réaliser l'interface entre l'Ingénieur Sûreté et l'équipe de conduite.

### **1.2.4. Autres intervenants**

En fonction de l'état de tranche, le personnel d'exploitation sus-mentionné est épaulé par du personnel supplémentaire comme des opérateurs additionnels lors du démarrage ou de l'arrêt, des automatismes, des agents de terrains et un Délégué Sécurité en Exploitation. Certains d'entre eux ne sont nécessaires que temporairement.

### **1.2.5. Ingénieur sûreté**

Un ingénieur sûreté d'astreinte peut également être présent en salle de commande.

En conduite normale, il est responsable de l'évaluation quotidienne des paramètres et conditions d'exploitation. Il est également responsable des vérifications permettant de porter un jugement critique sur l'état de sûreté de l'installation.

En conduite incidentelle/accidentelle, il vérifie de manière indépendante le résultat de l'activité de l'équipe en appliquant une consigne dédiée. Il peut demander, si nécessaire, un changement de stratégie. Il intervient auprès du chef d'exploitation ou du superviseur. Il met en œuvre les principes de la doctrine Approche Par Etats. Il surveille les critères d'entrée dans le domaine des accidents graves et fait déclencher le Plan d'Urgence Interne par le chef d'exploitation quand cela est requis.

## **1.3. AUTOMATISATION**

### **1.3.1. Principes et critères d'automatisation**

L'automatisation est mise en place selon des critères généraux prédéfinis dans la mesure où des améliorations importantes sont identifiées en terme de sûreté, de disponibilité ou de coût.

Les tâches requérant une réaction rapide ou hautement fiable doivent nécessairement être automatisées :

- actions de conduite accidentelle requises dans un délai inférieur à 30 mn pour atteindre l'état contrôlé ou l'état d'arrêt sûr,
- actions requises à court terme pour prévenir un danger pour le personnel ou une dégradation irréversible de matériels.

En complément de ces critères, le niveau d'automatisation découle de l'application de la démarche suivante :

- établissement d'une liste de critères opérationnels (cf. liste ci-dessous),
- proposition par les concepteurs d'une liste d'actions de conduite à automatiser, sur la base de l'expérience d'exploitation (N4 en particulier) et au regard des critères retenus (ces critères sont un support de questionnement),
- consultation des équipes opérationnelles des tranches du Parc en exploitation pour proposer une liste d'actions à automatiser,
- analyse technique et confrontation par les concepteurs des propositions, de façon à définir les actions retenues pour automatisation.

Les critères d'automatisation des séquences de conduite servant de guide à l'analyse sont les suivants :

- C1 : Tâches monotones ou répétitives, conduisant à une surcharge de travail si elles ne sont pas automatisées.
- C2 : Actions sur des composants requises dans un temps très court pour maintenir la disponibilité de l'installation ou pour gérer des transitoires non contrôlables par les régulations.
- C3 : Variation des points de consigne des chaînes de régulation.
- C4 : Séquences d'arrêt/démarrage de gros composants si jugement de l'opérateur non requis.
- C5 : Adaptation des systèmes participant aux changements de puissance de l'installation et nécessaires dans un délai court.
- C6 : Fonctions requises pour les changements d'état de tranche et dont l'absence pourrait conduire à des actions compliquées ou longues.
- C7 : Fonctions requises pour les changements d'état de tranche et dont la mise en exécution manuelle pourrait augmenter la charge de l'équipe de conduite.
- C8 : Relevé de seuils de paramètres dans les phases de changement d'état de l'installation.
- C9 : Fonctions de changement de paramètres de contrôle commande pour la conduite en prolongation de cycle.
- C10 : Fonctions requises lors des phases de démarrage et d'arrêt, et dont chacune, prise séparément est simple, mais dont la réalisation en parallèle peut causer une surcharge de travail aux opérateurs.
- C11 : Tâches qui doivent être réalisées fréquemment pendant les phases de démarrage et d'arrêt.
- C12 : Tâches qui ont une longue durée pendant les phases de démarrage et d'arrêt.
- C13 : Tâches qui ont une influence directe sur la disponibilité, particulièrement celles qui réduisent les phases de démarrage et d'arrêt.

Nota : Les lignages sont réalisés manuellement.

### 1.3.2. Modalités d'automatisation

L'automatisation doit être réalisée de telle manière que l'opérateur doit, à chaque instant, rester maître de l'installation afin de faire face :

- d'une part à la diversité et la variabilité des situations de travail que les automatismes ne peuvent prendre en compte de façon exhaustive,
- d'autre part, à la défaillance des automatismes qui suppose de reprendre la conduite en manuel.

## **2. BESOINS EN INFORMATIONS ET COMMANDES**

Des informations sont transmises à l'équipe de conduite afin de lui permettre d'évaluer l'état de l'installation avant d'entreprendre toute action manuelle et de lui fournir les comptes rendus des actions entreprises.

### **2.1. INFORMATIONS PRÉSENTÉES A L'OPERATEUR**

Les informations à présenter à l'opérateur concernent les domaines suivants. Elles lui apportent le support nécessaire pour ses interactions avec le procédé à l'aide des dispositifs de commande informatiques et conventionnels :

- 1) état des équipements de la centrale : les systèmes et composants fluides, mécaniques, électriques et de Contrôle-Commande (dans la mesure où les opérateurs peuvent interagir dessus ou si des informations les concernant sont nécessaires),
- 2) dynamique des procédés et liens fonctionnels entre les sous-procédés,
- 3) fonctions d'automatisme (boucles de régulation, séquences automatiques, protections, diagnostic automatique, ...) et leur lien avec l'état du procédé.

Les informations sont communiquées aux opérateurs via des informations d'état et des alarmes, indépendamment de la technologie des systèmes IHM :

- comptes rendus d'état des matériels (ouvert, fermé, marche, arrêt, ...),
- comptes rendus d'état sur des fonctions automatisées des systèmes (en marche, à l'arrêt, ...),
- comptes rendus de la mise en service automatique (mise en service d'une limitation, d'un déclenchement, d'une protection...),
- informations analogiques en suivi et gammes d'affichage associées,
- alarmes indiquant des perturbations et des défaillances de fonctions, des systèmes ou des composants.

### **2.2. ORGANISATION DE LA PRÉSENTATION DES INFORMATIONS**

#### **2.2.1. Vision générale de l'état de la centrale**

Une des tâches essentielles des opérateurs est la surveillance de l'état de l'installation afin de s'assurer que tous les systèmes nécessaires sont disponibles, pour réaliser d'éventuelles actions correctives.

Ceci requiert une vision générale de l'état de l'installation et de ses systèmes. Cette vision doit être garantie malgré les propriétés spécifiques de la visualisation sur écran qui est potentiellement réduite par la dimension limitée des formats d'affichage et le nombre limité d'informations affichées au même moment.

Trois méthodes essentielles sont appliquées pour pallier ces problèmes :

- 1) L'utilisation de grands écrans / affichage multi-écrans / grands panneaux offrant une restriction spatiale moins importante.
- 2) Une présentation adaptée aux différentes tâches de l'opérateur.
- 3) L'utilisation d'informations calculées, pré-traitées et synthétisées, permettant d'interpréter rapidement l'état d'un système (rassemblement de plusieurs signaux de capteurs afin de fournir

un seul signal ; résumer les informations d'état et de statut de fonctions d'un système, pour fournir une information synthétique).

### **2.2.2. Présentation de l'imagerie EPR**

Les images du Moyen de Conduite Principal (MCP) sont organisées en fonction de la tâche de l'opérateur, ainsi qu'en fonction du régime de conduite normal ou accidentel de l'installation, suivant le principe général de réduire le nombre d'images utilisées pendant une tâche.

Les images sont regroupées en deux grandes catégories : les images reliées au procédé (images de procédé) et les images portant des instructions de conduite ou des informations statiques (images de consigne).

#### **2.2.2.1. Description des images de procédé**

Les images de procédé portent des objets graphiques actifs ou interactifs fournissant des informations sur l'état du procédé (mesures physiques sur l'installation, états des actionneurs, information de synthèse, courbes, ...) ou permettant de passer des commandes (ordre de mise en service ou à l'arrêt d'actionneurs, choix, réglage de régulation, ...). Elles portent également des objets graphiques permettant la navigation entre les images, ainsi que des dessins fond de plan mettant en contexte les objets actifs ou interactifs. Elles permettent, en fonction de leur nature, de visualiser l'état du système ou des actionneurs, de transmettre l'ordre de changement d'état (marche / arrêt, lignage) quand cela est nécessaire.

Au sein des images de procédé, on distingue :

- **Les images de commande :**  
Elles se situent au niveau du système élémentaire, même si les frontières délimitant les images ne sont pas toujours exactement celles des systèmes afin d'être ajustées aux activités de conduite. Par principe, ces images sont les seules à porter les objets graphiques à partir desquels les commandes aux actionneurs sont possibles.
- **Les images d'état :**  
Elles sont développées en adéquation avec les objectifs et activités de conduite (normale et accidentelle). Composées d'afficheurs de mesure de grandeurs physiques sur l'installation, de médaillons de courbes, de diagrammes de pilotage, d'informations de synthèse relatives aux systèmes utilisés, elles offrent à l'opérateur les éléments nécessaires à la vision globale de son activité.  
Ces images d'état peuvent elles-mêmes être décomposées en différents sous-groupes en fonction des rôles qui leur sont attribués. On trouve ainsi, d'une manière non exhaustive :
  - des images de décomposition d'informations de synthèse :  
Elles sont associées à certaines des informations de synthèse affichées à l'écran pour permettre à l'opérateur de comprendre le résultat présenté par la machine par représentation schématique des traitements internes.
  - des images de suivi de l'état des gros matériels :  
Elles présentent les éléments physiques autour d'un gros matériel comme une pompe par exemple permettant de surveiller son bon fonctionnement.
  - des images de diagnostic automatique (DA) :  
Elles présentent d'une manière synthétique les paramètres physiques de l'installation permettant une orientation dans la conduite incidentelle ou accidentelle.
  - des images de décomposition du diagnostic automatique :  
Elles présentent sous forme graphique le cheminement suivi par la machine pour proposer aux opérateurs un diagnostic automatisé sur la situation incidentelle ou accidentelle en cours et une proposition de méthode à appliquer.
  - des images dédiées aux écrans composant le synoptique mural :  
Elles fournissent une vue générale de l'installation adaptée à l'état de tranche.
  - des images de « tour de bloc » :

Ces images spécifiques permettent aux opérateurs d'assurer l'équivalent d'un « tour de bloc », c'est-à-dire assurer une tâche de surveillance de l'état de l'installation.

- des images de suivi de séquences automatiques :  
Elles sont utilisées pour permettre aux opérateurs de surveiller la progression et le bon déroulement de séquences automatiques complexes.

### 2.2.2.2. Description des images de consigne

Les images de consigne sont des images d'aide aux opérateurs présentées sous forme de texte statique. Elles sont utilisées comme support pour une partie des instructions de conduite (mode opératoire, fiche d'alarmes) ou pour fournir des informations complémentaires (fiches techniques). Pour certaines de ces images, l'interactivité à des fins documentaires (cochages, annotations, ...) est possible.

Au sein des images de consignes, on distingue :

- **Les modes opératoires :**  
Ils décrivent les actions (manipulation d'actionneurs et de composants, vérification de paramètres), et leur ordre d'enchaînement, pour réaliser une tâche élémentaire déterminée. Un mode opératoire est constitué d'un enchaînement chronologique d'actions, présenté sous forme d'une liste ou d'un organigramme.
- **Les fiches d'alarmes :**  
Elles sont présentées en détail au [§ 3.5.](#)
- **Les fiches techniques additionnelles :**  
Ces fiches sont liées aux matériels présents sur l'installation et fournissent des informations variées sur ceux-ci (localisation géographique sur l'installation, plage de fonctionnement, caractéristiques mécaniques, ...).

### 2.2.3. Niveau de guidage

En cas d'événement prévu ou imprévu, mais aussi pour le suivi normal de l'installation, les informations présentées doivent :

- permettre l'évaluation de la priorité, de la gravité et de l'impact sur la sûreté et la disponibilité d'un événement dans le contexte de l'état général de la centrale,
- guider l'opérateur à partir d'informations simplifiées vers une procédure ou une fiche d'alarme, par exemple :
  - pour les alarmes, l'activation du signal dans le bandeau d'écran donne accès à la liste des alarmes qui permet d'obtenir la fiche d'alarme comportant la marche à suivre,
  - pour la conduite accidentelle, le résultat synthétique du diagnostic automatique dans le bandeau d'écran, donne accès à l'image du diagnostic d'état qui permet d'appeler l'image d'état associée à la stratégie à suivre puis aux images de commande et modes opératoires associées.

Le niveau de guidage fourni aux opérateurs (procédures, fiches d'alarme) est en partie intégré dans l'IHM informatisée.

L'information fournie est juste nécessaire, c'est-à-dire qu'elle correspond au plus près au besoin de l'opérateur à l'instant donné. L'utilisation d'information de synthèse ou de voteurs pour éviter l'affichage de capteurs redondants participe à ce principe.

Dans le cas d'un panneau de commande conventionnel, les procédures de commande et les fiches d'alarmes sont disponibles sous forme papier.

Le système de contrôle commande ne supervise pas l'application des consignes de conduite déroulées par l'équipe de conduite. Le respect du suivi du mode opératoire et de la méthode de conduite est uniquement de la responsabilité de l'équipe de conduite.

Nota : Les procédures de conduite sont divisées entre des documents papiers, méthode de conduite donnant la stratégie de conduite et des documents portés sur écran, les modes opératoires.

#### **2.2.4. Accès aux informations**

La présentation des informations sur les moyens de conduite doit être suffisamment simple et claire. Sur les interfaces informatisées, cela se traduit par un accès simplifiée aux images grâce à des menus d'accès. Sur les interfaces conventionnelles, les informations sont regroupées de manière à faciliter la conduite.

Fondamentalement, l'objectif est de fournir toutes les informations et commandes nécessaires pour entreprendre une activité.

#### **2.2.5. Codage et présentation des informations**

Les résultats des activités d'ingénierie Facteur Humain ont permis d'alimenter les règles de présentation des informations. Les résultats des essais Facteur Humain ont ainsi permis de valider des règles de codage et d'étiquetage, que ce soit sur les interfaces informatisées comme sur les panneaux conventionnels.

### **3. ALARMES**

#### **3.1. OBJECTIF DES ALARMES**

Une alarme est un message d'alerte délivré par le contrôle commande aux opérateurs de conduite pour les avertir d'une anomalie de fonctionnement ou d'état de l'installation et pour leur demander d'engager les actions de traitement appropriées.

Les alarmes sont composées de signaux TOR utilisés pour afficher des défauts de procédé ou d'équipements, et de signaux sonores et optiques qui attirent l'attention des opérateurs sur l'apparition d'une alarme et les guident vers la fiche d'alarme de l'équipement ou du procédé défaillant.

Les alarmes peuvent être générées lorsque des variables de procédé sortent de leurs plages d'exploitation, lorsque l'équipement n'est pas dans le régime d'exploitation correspondant à la situation de tranche en cours ou lors de la défaillance d'un équipement.

Le lien entre alarme et activité de traitement par l'équipe de conduite est essentiel :

- Seuls les défauts matériels qui ont un impact fonctionnel (par exemple la perte de la surveillance d'une fonction) et qui nécessitent une action corrective de la part de l'équipe de conduite doivent être traités comme des alarmes. Les autres défauts ne devront pas être traités par le système de gestion des alarmes. Ils seront cependant accessibles à l'équipe de conduite à partir des fiches techniques des matériels en défaut sur l'imagerie de conduite ou à partir de listes dédiées.
- L'information sur un changement d'état d'un matériel correspondant à un fonctionnement normal de l'installation pour une situation donnée ne doit pas être traitée comme une alarme. Par exemple on ne délivrera pas d'alarme signalant l'enclenchement d'une pompe sur la position « AUTO » de sa commande. Ce type de retour d'information sur la confirmation d'une action de commande est directement géré au niveau de l'imagerie de conduite et dans des listes dédiées (journal de bord).

Les activités de traitement des alarmes réalisées par l'équipe de conduite (après la phase de détection et d'analyse de l'alarme) concernent :

- la réalisation d'actions de conduite correctives (avec ou sans le support d'une consigne),
- la surveillance du bon fonctionnement d'un automatisme intervenant sur l'anomalie,
- l'appel au service technique concerné pour action,
- la surveillance de l'évolution de l'anomalie,
- l'application d'une spécification issue d'une Règle Générale d'Exploitation,
- la prise en compte de dispositions demandées par le gestionnaire de réseau prévues dans le cadre des notes inter-unités pour conserver ou retrouver l'équilibre production / transport / consommation.

Les défaillances qui n'ont pas d'impact sur la conduite du procédé, qui laissent disponibles les fonctions nécessaires pour les états présents et futurs de la centrale et qui ne peuvent être compensées par l'action directe de l'opérateur, n'ont pas à être signalées par des alarmes vers les opérateurs. Elles peuvent néanmoins être remontées sur l'imagerie ainsi qu'au journal de bord.

### **3.2. EXIGENCES RELATIVES AU TRAITEMENT D'UNE ALARME**

Les opérateurs ne doivent pas être surchargés par de nombreuses alarmes demandant des réactions simultanées. Dans le cas d'alarmes simultanées, les opérateurs doivent être guidés dans la sélection de la bonne priorité de réaction par rapport aux alarmes.

Ce guidage doit fournir :

- la pertinence de l'événement vis à vis de la sûreté (des actions propres au domaine accidentel sont-elles requises ? Des actions sont-elles requises afin de restaurer la sûreté du système ?),
- la gravité des événements (cela entraîne-t-il la perte d'une fonction, la dégradation d'une fonction ou l'impact n'est-il que mineur ?), il revient aux opérateurs de statuer sur l'urgence d'une alarme, à degré de gravité fixé de conception,
- un faible niveau de synthèse des alarmes afin que les opérateurs puissent les interpréter facilement.

Afin de faciliter le traitement des alarmes, la situation de tranche est prise en compte dans le déclenchement des alarmes afin de ne valider que les alarmes pertinentes pour la situation courante de l'installation.

Si la conduite à tenir pour gérer les conséquences de plusieurs défauts est identique et si la conduite à tenir pour retrouver des conditions de fonctionnement, de disponibilité ou d'utilisabilité normales est identique, alors les défauts initiateurs d'événements distincts doivent être regroupés en une unique alarme.

Les alarmes sont inhibées en cas d'apparition d'une alarme de priorité supérieure pour la même fonction ou le même équipement.

Les alarmes du MCS n'ont pas de traitement de validation selon l'état de tranche. Hormis cette exception, les principes d'élaboration d'alarme, du choix de la gravité d'alarme et de son traitement sont identiques pour chacun des postes MCP, MCS et SdR.

### **3.3. CLASSEMENT DES ALARMES**

Afin de simplifier la décision des opérateurs sur la priorité de traitement en cas d'alarmes multiples (voir ci-dessus), un classement de chaque alarme est nécessaire afin de contrôler la présentation des alarmes sur les dispositifs de commande (couleur, clignotement, signal sonore).

Les alarmes sont classées avec un critère unique : la gravité.

La gravité d'une alarme dépend des conséquences du dysfonctionnement de la fonction ou du système sur la conduite de l'installation au moment de son apparition.

Quatre niveaux de gravité sont définis. La gravité est classée dans l'ordre croissant des niveaux. Ceux-ci sont détaillés ci-après.

Les couleurs associées sur les IHM aux alarmes traduisent cette gravité au travers d'une échelle de couleur allant du █ (gravité 1) au █ (gravité 4), en passant par █ (gravité 2) et █ (gravité 3).

### 3.3.1. Alarme de gravité 1

█

### 3.3.2. Alarme de gravité 2

█

### 3.3.3. Alarme de gravité 3

█

### 3.3.4. Alarme de gravité 4

█

### 3.3.5. Alarme incendie

Les alarmes incendies sont remontées sur les baies d'alarme incendie.

La signalisation sonore utilisée pour les alarmes incendie sur la baie incendie est suffisamment repérable pour alerter les opérateurs. Cette signalisation sonore sera bien distincte de la signalisation utilisée pour les alarmes remontées sur les autres IHM (MCP, MCS et SdR).

Les conséquences fonctionnelles de l'incendie sont traitées par des alarmes fonctionnelles au MCP ou au MCS.

## **3.4. ECRAN D'ALARME, VERRINE D'ALARME, LISTE D'ALARME**

Les alarmes sont présentées sur les postes informatisés du Moyen de Conduite Principal (MCP), dont la Station de Repli (SdR), ainsi que sur le Moyen de Conduite de Secours (MCS).

En cas d'apparition d'une alarme, l'opérateur est averti par des indicateurs présents dans une zone définie de l'écran de conduite. Chaque niveau de gravité dispose de son propre indicateur coloré.

Le déclenchement d'une alarme est également indiqué par un signal sonore. Pour des événements majeurs (conduisant à une entrée en conduite accidentelle par exemple), leur apparition est annoncée sur un bandeau fixe sur chaque écran des postes de conduite ainsi que par une sonorisation spécifique.

Sur le MCP, en sélectionnant un des indicateurs d'alarme, l'opérateur accédera à la liste des alarmes se rapportant au niveau de gravité correspondant à cet indicateur.

Cette liste n'est pas affichée en permanence. Elle apparaît à la demande de l'opérateur, sur l'écran de conduite de son choix pendant la durée appropriée pour ses actions.

Sur le MCS, les alarmes sont relayées par des verrines d'alarme.

## **3.5. FICHES D'ALARME**

Chaque alarme est associée à une fiche d'alarme indiquant à l'opérateur une consigne à suivre. La fiche d'alarme doit être limitée à un seul folio.

Au MCP (en salle de commande ou en station de repli), la fiche d'alarme apparaît en cliquant sur la ligne correspondante dans une des listes d'alarmes.

Les fiches d'alarme fournissent les informations nécessaires pour comprendre les événements inattendus, signalés par une alarme. Elles donnent notamment :

- Les causes de l'alarme, c'est à dire le type de problème qui est à l'origine du défaut.
- Le défaut élaborant l'alarme (valeur d'un seuil par exemple).
- La conduite à tenir :  
Cette partie de la fiche d'alarme donne à l'opérateur les actions à effectuer (manœuvre sur des organes, appel des services concernés, application des STE, etc.).
- Les conséquences fonctionnelles du défaut :  
Cette partie "Conséquences" liste les conséquences du défaut et les risques associés.
- Le renvoi vers les images de commande :  
Cette partie « images » de la fiche d'alarme permet des renvois vers les images de commande ou d'état qui permettent d'effectuer les vérifications d'actions automatiques et les actions définies dans la conduite à tenir.

Pour le moyen de commande conventionnel, les fiches d'alarme sont rédigées sur papier. Elles comportent les mêmes informations qu'au MCP mais sont adaptées au moyen de commande disponible sur le MCS (pas de renvoi aux images de commande) par exemple.

#### **4. PROCÉDURE DE CONDUITE**

La procédure de conduite est l'ensemble des règles et des consignes de conduite. Cette terminologie est utilisée pour une exploitation normale, en cas d'incident et en cas d'accident.

La règle de conduite spécifie l'objectif, les principes, la logique, la chronologie et les justifications de la conduite. Les consignes de conduite sont rédigées sur la base d'une ou plusieurs règles de conduite et formalisent le mode opératoire de conduite précis que l'opérateur est tenu de respecter.

Les consignes de conduite sont composées de la "méthode de conduite", présentées sur papier et de modes opératoires présentés à l'écran pour les postes de conduite informatisés (MCP) et sur papier pour le poste conventionnel (MCS).

La méthode de conduite décrit la stratégie des actions à réaliser en fonction de critères prédéterminés d'états physiques ou d'états des composants (les actions sont décrites dans le mode opératoire).

La stratégie est généralement présentée sous forme de diagrammes logiques complétés du repère de l'image d'état du procédé et des "modes opératoires" à utiliser afin de pouvoir suivre les principaux paramètres susceptibles d'évoluer et de permettre l'affichage des images de conduite permettant d'agir sur le procédé.

Un mode opératoire décrit les actions (commande des actionneurs et contrôle des paramètres), et leur ordre de séquence.

Il est affiché par l'opérateur à l'écran lorsque la procédure le demande. Le Mode Opératoire est sous forme de texte.

Lorsque cela est nécessaire l'opérateur peut appeler, dans les images de conduite, la liste des modes opératoires mentionnés dans la méthode de conduite.

## SOMMAIRE

<b>.17.4</b>	<b>SYSTÈMES DE L'INTERFACE HOMME-MACHINE . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>0.</b>	<b>EXIGENCES DE SÛRETÉ . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>0.1.</b>	<b>FONCTIONS DE SÛRETÉ . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>0.2.</b>	<b>TEXTES RÉGLEMENTAIRES . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>0.3.</b>	<b>EXIGENCES POUR LES ETUDES DE SÛRETÉ . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>1.</b>	<b>EQUIPEMENTS IHM . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>1.1.</b>	<b>SALLE DE COMMANDE (SDC) . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1.</b>	<b>POSTES DE TRAVAIL MCP . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2.</b>	<b>ZONE DE CONDUITE DE SECOURS (MCS) . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3.</b>	<b>PUPITRE ACCIDENT GRAVE (PAG) . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1.1.4.</b>	<b>PUPITRE INTER POSTES OPÉRATEURS (PIPO) . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1.1.5.</b>	<b>PANNEAU DE SIGNALISATIONS INTER-SYNOPTIQUES (PSIS) . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1.2.</b>	<b>STATION DE REPLI (SDR) . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1.</b>	<b>DOMAINE DE COUVERTURE . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2.</b>	<b>IHM DE LA SDR . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>1.3.</b>	<b>COMMANDES ET SIGNALISATION LOCALES . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>1.4.</b>	<b>LOCAL TECHNIQUE DE CRISE (LTC) . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>EXIGENCES RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.1.</b>	<b>PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET DIMENSIONS DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.2.</b>	<b>ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.3.</b>	<b>ECLAIRAGE DES LOCAUX IHM ET DE L'ESPACE DE TRAVAIL . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>2.4.</b>	<b>CONDITIONS AMBIANTES DANS LA SDC ET LES LOCAUX ANNEXES . . . . .</b>	<b>9</b>

## **.17.4 SYSTÈMES DE L'INTERFACE HOMME-MACHINE**

### **0. EXIGENCES DE SÛRETÉ**

#### **0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ**

Les systèmes de l'Interface Homme-Machine doivent fournir aux opérateurs tous les moyens nécessaires au suivi et à la conduite de la tranche dans toutes les situations.

La salle de commande (SdC) centralise les principaux systèmes de l'Interface Homme-Machine.

Le MCP (Moyen de Conduite Principal) est l'interface principale utilisée par les opérateurs dans toutes les situations de tranche quand il est disponible.

Le MCS (Moyen de conduite de Secours) est utilisé par les opérateurs en salle de commande quand le MCP n'est pas disponible.

Quand la salle de commande est indisponible (ex : en cas d'incendie), la conduite et la surveillance de la tranche sont transférées sur un moyen de commande situé dans le local « Station de repli ». Le moyen de conduite présent à la Station de Repli possède la même IHM que le MCP (informatisée).

#### **0.2. TEXTES RÉGLEMENTAIRES**

« Directives Techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de tranches nucléaires à eau pressurisée ». Cette version est en annexe de la lettre DGSNR sur les options de sûreté EPR à la Présidence EDF DGSNR/SD2/0729/2004 du 28/09/2004 :

- Chapitre G3 " Etude de l'instrumentation et des commandes (design of Instrumentation and Control)" utilisées avec le MCP pour la conduite accidentelle et la station de repli en cas d'indisponibilité de la salle de commande.

#### **0.3. EXIGENCES POUR LES ETUDES DE SÛRETÉ**

Les exigences pour les études de sûreté de la salle de commande, de la station de repli et du local technique de crise sont données dans le RCC-E complété des données de projet EPR définies dans l'additif Cahier de Données de Projet EPR (note EDF ENSEMD05022 — voir sous-chapitre 1.6)

Ces exigences de sûreté concernent :

- les exigences pour la présentation des informations de sûreté,
- les caractéristiques de l'architecture de l'IHM de secours,
- la localisation, le milieu (ambiance sonore, lumineuse et thermique) et la protection,
- l'espace et la disposition,
- les informations et les moyens de contrôle (informations, commandes, codification, alarmes, procédures),
- les moyens de commande et de suivi des postes de travail informatisés et conventionnel,
- les moyens de communication.

### **1. EQUIPEMENTS IHM**

#### **1.1. SALLE DE COMMANDE (SDC)**

La salle de commande est l'endroit de conduite et de suivi de la tranche dans toutes les situations, incluant le démarrage, la maintenance, l'arrêt pour rechargement, la conduite en puissance et en

condition accidentelle, et ceci tant qu'elle demeure disponible. De plus, elle doit être pourvue de moyens de communication avec l'extérieur.

La salle de commande doit demeurer disponible en cas de séisme. Les équipements de la salle de commande requis pour la démonstration de sûreté doivent être opérationnels en cas de séisme (MCS). Les autres peuvent être en défaut, mais ils ne doivent pas empêcher l'utilisation de la salle de commande ou endommager les installations liées à la sûreté.

En cas d'incendie conduisant à la perte de la SdC, les conséquences (ordre intempestif émis du niveau 2) sont limitées à des événements PCC1 (cela définit la plage des situations couvertes par la conduite à la station de repli).

Les IHM utilisées dans la SdC sont :

- Le MCP (Moyen de Conduite Principal) :  
Pour davantage de détails sur les exigences du système MCP se reporter à la section 7.4.1.
- Le MCS (Moyen de Conduite de Secours) :  
Pour davantage de détails sur les exigences du système MCS se reporter à la section 7.3.3.
- Le PAG (Pupitre Accident Grave) :  
Pour davantage de détails sur les exigences du système PAG se reporter à la section 7.4.6.
- Le PIPO (Pupitre Inter Postes Opérateurs) :  
Pour davantage de détails sur les exigences du système PIPO se reporter à la section 7.3.4.
- Le PSIS (Panneau de Signalisation Inter-Synoptiques) :  
Pour davantage de détails sur les exigences du système PSIS se reporter à la section 7.3.5.

#### **1.1.1. Postes de travail MCP**

Il existe 4 postes de travail MCP complets en salle de commande configurés (mode conduite/supervision) en fonction de la constitution de l'équipe de conduite. Chaque poste de travail possède 5 écrans.

Un sixième écran est présent sur chaque poste de travail. Il n'est pas relié au procédé et permet d'avoir accès aux applications informatiques d'exploitation (niveau 3).

Un poste de travail réduit équipé de 4 écrans permet aux autres intervenants en salle de commande (cf. paragraphe 1.2.3 du sous-chapitre 17.3) d'avoir accès aux informations du procédé.

Le poste de travail de chaque opérateur de conduite permet de conduire et de surveiller la totalité de la tranche dans toutes les situations (excepté, bien sûr, les situations d'indisponibilité du MCP) via les écrans du MCP. Pour cela, il met à disposition sous une forme adaptée, les informations de conduite nécessaires à l'opérateur pour comprendre l'état de la tranche et du procédé, avant qu'il prenne une décision ou lance une action.

#### **Non spécialisation (banalisation)**

Les écrans ne sont pas spécialisés. Cela signifie que chaque information peut être affichée sur n'importe quel écran et que, sur chaque écran, un dialogue distinct peut être ouvert à un moment donné.

#### **Fonctions du MCP**

##### Fonctions fondamentales de commande et d'information :

- Report d'informations binaires et analogiques du procédé,
- Commandes de tous les actionneurs de la tranche pour lesquels une commande individuelle est prévue depuis la salle de commande,
- Affichage des comptes rendus d'action des commandes correspondantes,

- Commandes de fonctions de Contrôle Commande (séquences automatiques, boucles de régulation, saisie de points de consigne, bascule entre le mode manuel et le mode automatique, paramétrage et remise à zéro des mémoires) avec les comptes rendus d'actions correspondants,
- Indications de présence et affichage d'alarmes concernant les fonctions et les matériels ayant un impact direct sur le contrôle du procédé,
- Réglages de paramètres pour des phases spécifiques, dans la mesure où ce réglage de paramètres est lié à l'état du procédé (sinon il est réalisé par le service de maintenance),
- Alarmes indiquant les défaillances des équipements, nécessaires à la commande du procédé ou des événements requérant une attention spéciale de l'opérateur ou exigeant de lui des actions manuelles.

Informations de synthèse :

- Informations élaborées sur l'état, la disponibilité et le statut des systèmes et sous-systèmes mécaniques et électriques (par exemple: remontées au MCP de l'état manuel ou automatique de l'actionneur),
- Moyens pour analyser les perturbations et les défaillances des différents équipements, ceux permettant de prévoir une évolution future du procédé ainsi que l'effet des actions prévues (affichage des courbes représentant certains paramètres clés des gros composants par exemple).  
Des moyens sont fournis pour détailler l'origine des défaillances des équipements de CC, des capteurs et des actionneurs ayant un impact sur le contrôle du procédé (via des fiches techniques).

Historique des informations :

- Affichage de l'historique des informations (vue de courbes de mesures, journaux de bord des informations binaires, actions manuelles et automatiques).

Aide à la conduite :

- Présentation de la cause potentielle, des conséquences prévues et des mesures correctives potentielles en cas d'alarme (sous forme de fiches d'alarmes),
- Présentation des informations spécifiques à chaque stratégie en Conduite Incidentelle/ Accidentelle (sous forme d'image dédiée à chaque stratégie). Calcul automatisée du Diagnostic en CIA et affichage du résultat sur une image dédiée (évite aux opérateurs d'appliquer une procédure d'orientation).

Fonction de documentation :

- Impression de copie d'écran de procédures ou autres.

**- Contrôle d'accès aux fonctions du MCP**

Certains moyens d'exploitation, comprenant la commande individuelle des actionneurs et l'acquiescement des alarmes, peuvent être interdits d'accès, sur les postes de travail, par des dispositifs administratifs (mot de passe). Certains postes peuvent être désignés soit comme poste de conduite, soit comme poste de supervision.

Cette assignation ne peut être modifiée que par un personnel autorisé (mot de passe)

**- Organisation et composition des images au MCP**

Les images du **MCP** sont organisées en fonction de la tâche de l'opérateur, ainsi qu'en fonction du régime de conduite normal ou accidentel de la tranche.

Les images sont regroupées en deux grandes catégories : les images de procédé et les images de consignes (cf. paragraphe 2.2.2 du sous-chapitre 17.3).

En complément des deux catégories ci-dessus, il existe des images spécifiques adaptées aux besoins des équipes de conduite. Ce sont :

- l'image accompagnant le diagnostic d'état,

- les images de décomposition des informations de synthèse explicitant la logique d'élaboration de l'information,
- les images de tour de Bloc qui regroupent des informations générales et des paramètres de la tranche. Elles sont utilisées pour faire un état des lieux rapide de l'état de la tranche en cours de quart ou lors d'un changement d'équipe,
- les images spécifiques destinées à la supervision regroupant des informations sur la tranche.

Cette approche a été validée lors des essais FH présentés au sous-chapitre 17.2.

- **Fonctions du poste en mode supervision**

A la base, le poste de travail configuré en mode supervision est identique à celui de l'opérateur de conduite, avec les mêmes écrans MCP. La conduite du procédé est possible, mais il est nécessaire de changer la configuration du poste pour le mettre en mode conduite. Le poste du superviseur peut être utilisé en secours des autres postes de travail.

- **Fonctions des postes POM (Poste Opérateur Minimal)**

Ces postes ont les mêmes fonctions qu'un poste opérateur mais comportent un écran de moins. Ils sont utilisés par les personnels amenés à intervenir de façon temporaire en SdC (cf. paragraphe 1.2.3 du sous-chapitre 17.3).

- **Fonctions du synoptique général de la tranche**

Le synoptique général de la tranche présente l'état général de la tranche en grand format. Il est utilisé pour tous les états de la tranche.

Le synoptique est utilisé :

- Pour la coordination des équipes de conduite,
- Pour servir de référence commune,
- Pour s'informer rapidement de l'état de la tranche.

Il présente des informations adaptées à l'état de la tranche.

Il affiche des images présentant l'état des principaux actionneurs et les principaux paramètres comme des températures, puissances, niveaux, etc., affichés sous forme de courbes ou en valeurs instantanées.

Le synoptique est présenté sous forme de projection d'images grand format sur 4 écrans (vidéo projecteur).

Le synoptique doit être visible depuis tous les postes de travail des opérateurs de la SdC.

Les images présentées sont choisies par les opérateurs.

Nota : de par son rattachement informatique au MCP, il permet également d'afficher toutes les images disponibles sur les postes opérateurs.

Un jeu d'images spécifique a été développé pour le synoptique, dans le cadre du programme Facteur Humain (FH) décrit dans le sous-chapitre 17.2.

### **1.1.2. Zone de conduite de secours (MCS)**

La zone de conduite de secours procure les moyens de contrôle et de suivi des systèmes de la centrale en cas d'indisponibilité des Postes Opérateurs en SdC. Dans ce cas, le Moyen de Conduite de Secours est l'IHM utilisée.

Elle permet aux deux opérateurs, au superviseur et à l'ingénieur sûreté de conduire et surveiller la tranche.

Le MCS est un dispositif conventionnel de commandes et de suivi, avec des boutons, des indicateurs lumineux, des verrines d'alarmes, des enregistreurs, etc., disposés en panneaux.

Au MCS, l'opérateur assure les fonctions suivantes :

- Le suivi et le maintien de la centrale en état de puissance stable en cas d'indisponibilité du MCP pendant une courte période en régime normal,

- L'arrêt et le maintien de la centrale en état sûr, en cas d'indisponibilité du MCP pendant une période plus longue en régime normal,
- Le suivi et la mise en œuvre des fonctions de conduite incidentelle/accidentelle appropriées pour placer et maintenir la centrale en état sûr en cas d'indisponibilité du MCP dans une situation de référence PCC2 à 4, certaines séquences RRC-A et situations d'accident grave,
- Le suivi et la mise en œuvre des fonctions de conduite en cas de perte du contrôle-commande standard (conduite « noyau dur ») tel que décrit au sous-chapitre 7.2,
- Le MCS peut aussi être utilisé pour fournir des informations spécifiques en vue de diversifier l'information par rapport au MCP, notamment pour l'évaluation de sûreté de la tranche.

Les principales caractéristiques du MCS sont les suivantes :

- La conduite accidentelle au MCS correspond à une conduite qui utilise des moyens de conduite dont le classement F1 permet de garantir la démonstration de sûreté des événements de dimensionnement PCC 2 à 4, des séquences RRC-A et situations d'accident grave. La conduite au MCS fait également appel aux moyens non classés F1 disponibles au MCS,
- Le MCS est conçu de manière à permettre au maximum l'intégration ergonomique des commandes et des informations. L'opérateur n'a pas besoin de se référer à un autre support (par exemple : le synoptique, d'autant qu'il peut être indisponible lorsque l'équipe conduit au MCS) pour obtenir les informations nécessaires à sa tâche,
- L'historique est limité à l'historique accessible (les paramètres historisés sont ceux remontés sur enregistreurs),
- L'ensemble des commandes et informations répond à la démonstration de sûreté pour la transition vers l'état sûr pendant des événements PCC-2 à PCC-4 (respect du chemin sûr).

Les caractéristiques du MCS sont davantage détaillées au sous-chapitre 7.3.

### **1.1.3. Pupitre Accident Grave (PAG)**

Il constitue l'interface homme-machine, classée de sûreté, du Contrôle Commande Accident Grave (CCAG), fournissant à l'équipe de conduite les informations et commandes nécessaires à la gestion des situations d'accident grave correspondant aux scénarios de Perte Totale des Alimentations Electriques (PTAE).

### **1.1.4. Pupitre Inter Postes Opérateurs (PIPO)**

Le PIPO est un panneau de commande de technologie conventionnelle localisé en salle de commande principale entre les deux postes opérateurs principaux.

Des commandes conventionnelles pour le passage manuel d'ordre F1A (par exemple : AAR) sont installées au PIPO. Des commandes conventionnelles sont également présentes pour réaliser des actions secondaires (par exemple : ouverture du disjoncteur de ligne).

### **1.1.5. Panneau de Signalisations Inter-Synoptiques (PSIS)**

Le PSIS constitue l'interface homme-machine permettant l'affichage de l'indisponibilité d'un ou plusieurs postes de conduite informatisés conditionnant éventuellement le basculement au MCS. Il permet également d'indiquer que le système de protection (PS) n'est plus en mesure d'assurer ses fonctions de sûreté. Enfin, il permet l'affichage de la perte du SPPA-T2000, conditionnant le passage au MCS.

## **1.2. STATION DE REPLI (SDR)**

L'évacuation de la salle de commande vers le local de la station de repli est nécessitée par la dégradation des conditions d'ambiance suite à un sinistre entraînant son inhabitabilité (incendie, gaz, fumées, etc.). Les conditions d'ambiance sont décrites dans le sous-chapitre 6.4.

La station de repli a pour fonction de commander la tranche lorsque la Salle de commande est indisponible, sans défaillance ni accident additionnel autre que la perte des alimentations extérieures.

La zone de la SdR est une zone de travail temporaire. Sa surface est inférieure à la surface consacrée au MCP en salle de commande.

### **1.2.1. Domaine de couverture**

La station de repli permet de conduire et de surveiller la tranche dans toutes les situations PCC1 et également en situation de Manque De Tension Externe.

Elle comprend l'instrumentation et les commandes nécessaires pour atteindre et maintenir le réacteur dans un état sûr. En particulier, elle est conçue pour :

- Pouvoir assurer rapidement le passage à l'état d'arrêt à chaud du réacteur et son maintien dans cet état.
- Permettre le passage ultérieur en arrêt à froid et son maintien dans cet état par l'utilisation de procédures dédiées. De même qu'en salle de commande, des manœuvres peuvent être effectuées localement si les commandes ne sont pas disponibles depuis la station de repli (l'IHM de la SdR étant similaire à celle des postes informatisés de la salle de commande principale, la nécessité de devoir effectuer des manœuvres en local devrait néanmoins se trouver réduite en comparaison des paliers précédents dont les Panneaux de Repli sont en technologie conventionnelle).

Lors de la conduite à la station de repli, les alimentations électriques extérieures peuvent être indisponibles et nécessiter l'alimentation par les diesels des tableaux secours.

### **1.2.2. IHM de la SdR**

La station de repli est constituée de 2 postes opérateurs alimentés respectivement par les divisions 1 et 4, et d'un poste supplémentaire alimenté par la division 1.

Ces 3 postes opérateurs sont implantés dans un seul et même local.

Les fonctions de commande et de supervision sont classées au séisme (cf. section 7.2.1).

Chaque poste opérateur de la SdR comprend 5 écrans (à l'identique des postes informatisés de la salle de commande principale).

Le poste supplémentaire est un poste réduit à 2 écrans. Il est uniquement configurable en mode supervision et permet au CE/IS de pouvoir assurer une surveillance de l'état de la tranche sans perturber les deux opérateurs. L'utilisation de ce poste pourra être mutualisée entre le CE/IS et le superviseur CIA selon les besoins de conduite.

Les fonctionnalités des postes de la station de repli sont les mêmes que celles des postes de la salle de commande principale.

Les moyens de communication sont les mêmes qu'en SdC.

Le local de la station de repli ne comporte pas de synoptique.

Les principes d'installation et d'exploitation (basculement SdC vers SdR notamment) sont traités dans le sous-chapitre 7.2.

### **1.3. COMMANDES ET SIGNALISATION LOCALES**

Il existe des stations locales installées dans le Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires et dans le Bâtiment de Traitement des Effluents. La justification de l'installation des moyens de commande locaux est décrite à la section 7.2.2.

Ces stations locales sont informatisées et connectées au MCP.

#### **1.4. LOCAL TECHNIQUE DE CRISE (LTC)**

En conduite accidentelle, un local technique de crise fournit des informations et des moyens de communication à une équipe d'assistance composée d'experts chargés de conseiller le personnel d'exploitation.

Le LTC est équipé d'un poste de travail identique à celui du superviseur en salle de commande.

Toutes les informations disponibles au MCP le sont aussi sur les écrans du LTC.

En outre, toute la documentation doit être accessible.

### **2. EXIGENCES RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL**

La conception détaillée de l'environnement de travail de l'équipe de conduite doit respecter des exigences pertinentes d'ergonomie. Conformément à l'étude de détail, elles sont résumées ci après. Elles sont davantage détaillées dans les études ergonomique et architecturale qui ont été menées pour définir et optimiser l'aménagement et l'environnement des locaux de conduite (cf. sous-chapitre 17.2)

#### **2.1. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET DIMENSIONS DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL**

L'agencement de la SdC et des autres locaux présentant de l'IHM respectent les exigences fondamentales d'agencement pour la présentation des informations à l'écran et sur les panneaux de commande conventionnels.

Cela est fait sur la base de paramètres spécifiques à la perception visuelle (angle minimum de perception des informations à l'écran et sur les panneaux de commandes conventionnelles ; dimensions typiques des matériels standard, tel que les écrans, les indicateurs conventionnels et les pavés de commande).

#### **2.2. ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE**

L'environnement acoustique et le niveau sonore principal en SdC et à la SdR sont conçus de telle manière que :

- le suivi et le contrôle du procédé ainsi que les activités connexes peuvent être réalisées dans des conditions confortables,
- la bonne communication entre les membres de l'équipe d'exploitation est garantie,
- que les signaux sonores sont bien perçus.

Ceci requiert un niveau sonore ambiant moyen suffisamment bas, de bonnes propriétés de réverbération dans la SdC, et un niveau adapté des signaux sonores.

Pour permettre une réduction significative des bruits en salle de commande, les mesures suivantes sont mises en place :

- Choix de la localisation, suivi de la conception et de la réalisation des matériels sources de bruits solidiens.
- Amélioration de l'isolement acoustique des bruits aériens émis par la ventilation de la salle de commande.
- Réalisation de la salle de commande suivant le principe de la "boîte dans la boîte".

Le principe de la "boîte dans la boîte" consiste à créer un volume fermé désolidarisé du génie-civil principal par l'intermédiaire d'appuis élastiques filtrant les vibrations transmises par les installations voisines.

### **2.3. ECLAIRAGE DES LOCAUX IHM ET DE L'ESPACE DE TRAVAIL**

L'éclairage dans la SdC doit garantir des conditions de travail optimales pour l'équipe de conduite. Cela exige :

- un niveau d'éclairage adéquat pour les tâches des opérateurs (bon contraste pour une bonne lisibilité des informations requises),
- d'éviter l'éblouissement et les reflets.

Selon les missions des différentes zones de la SdC, chaque zone disposera de son propre éclairage, qui pourra être réglé afin de fournir un éclairage suffisant aux opérateurs afin qu'ils réalisent leurs tâches.

L'éclairage de la SdC, de la SdR et du LTC est secouru par au moins deux divisions. Un niveau d'éclairage minimum est garanti par une alimentation de secours ininterrompue (accumulateurs).

Des éléments de l'éclairage de la SdC sont également ré-alimentés par les dispositions d'alimentation dédiées à la gestion des accidents graves (cf. paragraphe 5.4 du sous-chapitre 8.3).

### **2.4. CONDITIONS AMBIANTES DANS LA SDC ET LES LOCAUX ANNEXES**

Les conditions d'ambiance thermique de la SdC et des locaux annexes figurent dans les tableaux de la section 9.4.8.