

Sûreté nucléaire
NEA/CSNI/R(2009)7

ISBN 978-92-64-99117-0

Avis techniques du CSIN

No. 12

*Recherches sur le facteur humain dans les
nouvelles centrales nucléaires*

© OCDE 2009
AEN N° 6845

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

L'AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1er février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OEEC. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Publié en anglais sous le titre :

CSNI Technical Opinion Papers

No. 12 – Research on Human Factors in New Nuclear Plant Technology

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : www.oecd.org/editions/corrigenda.

© OCDE 2009

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.

Photos de couverture : Laboratoire d'étude de l'interface homme-machine de Halden (HAMMLAB), Norvège ; Olkiluoto 3 (Hannu Huovila, TVO) Finlande.

AVANT-PROPOS

Le Groupe de travail sur les facteurs humains et organisationnels (WGHOF) du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a pour mission de faire progresser la connaissance sur les facteurs humains et organisationnels et leur mode d'influence sur la sûreté nucléaire.

Le secteur nucléaire traverse actuellement une phase marquée par la construction de nouveaux réacteurs, l'étude de réacteurs avancés et la modernisation des salles de commande des réacteurs existants. Ces changements sont susceptibles d'aboutir à des conceptions, des outils et des modes d'exploitation pour les nouveaux réacteurs différents de ceux que l'on connaît aujourd'hui.

Pour étudier ces questions, le Groupe d'experts spécial sur les facteurs humains et organisationnels du CSIN (SEGHOF, précédemment WGHOF) et le Projet du réacteur de Halden (HRP) ont organisé, en mai 2006, un atelier commun intitulé « Future Control Station Designs and Human Performance Issues in Nuclear Power Plants » à Halden en Norvège. Cet atelier a permis d'évoquer un certain nombre de sujets et d'activités de recherche entrepris dans le secteur nucléaire et des secteurs proches présentant des risques importants. Les participants ont également conclu à la nécessité de regrouper ces activités de façon à dégager une perspective intégrée.

Cet avis technique est le fruit du consensus du CSIN/WGHOF sur l'état de la recherche sur le facteur humain dans les nouvelles technologies des salles de commande des centrales nucléaires. Il s'efforce de présenter un panorama des aspects importants pour la sûreté des facteurs humains et organisationnels liés au développement des conceptions de salles de commande, et d'identifier les types de recherches à mener pour les étudier. Il intègre les conclusions de l'atelier tenu à Halden et des résultats des travaux menés sur ce thème par les autorités de sûreté et des organismes scientifiques internationaux. Le présent avis identifie huit grands domaines pouvant motiver des recherches supplémentaires.

Cet avis est le travail d'un petit groupe. L'AEN souhaite exprimer sa profonde reconnaissance à M. Julius Persensky qui en est le principal rédacteur. Il a été assisté par M. Thomas Sandquist du Laboratoire national du Nord-Ouest Pacifique et M. John O'Hara du Laboratoire national de Brookhaven. Mme Magnhild Kaarstad (Projet de réacteur de Halden), Mme Valerie Barnes (*US Nuclear Regulatory Commission*), Mme Leena Norros (Centre finlandais VTT de recherche technique) et M. Craig Reiersen (*UK Nuclear Intallation Inspectorate*) ont participé activement aux dernières mises au point du texte.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
Résumé	7
1. Objectif	9
2. Introduction	11
3. Champ de l'étude	13
4. Méthode	15
5. Thèmes des programmes de recherche	17
Méthodes et outils d'ingénierie des facteurs humains (IFH).....	17
Retour d'expérience d'exploitation des futures centrales et des centrales modernisées.....	19
Nouvelles conceptions de l'exploitation des centrales nucléaires.....	21
Rôles des automatismes et des opérateurs : nouvelles conceptions du travail d'équipe dans les systèmes avancés	24
Gestion des évènements imprévus.....	26
Principes de conception des interfaces homme-machine en renfort des fonctions cognitives de l'opérateur.....	28
La complexité dans les systèmes avancés	31
Facteurs organisationnels : culture de sûreté/management de la sûreté	33
6. Conclusions et recommandations	37
Annexe. Documents étudiés pour identifier les domaines des programmes de recherche	39

RÉSUMÉ

Le secteur nucléaire connaît actuellement une vague de modernisation des salles de commande des centrales qui peut revêtir diverses formes. De nombreux pays construisent des réacteurs, et des modèles avancés sont conçus dans le cadre de coopérations internationales visant à assurer la production d'électricité au cours des prochaines décennies. De nouveaux concepts et technologies devraient voir le jour dans ces installations. Or ces évolutions peuvent avoir un impact sur le rôle des exploitants de centrales et la façon dont ils s'en acquittent. Il est donc important d'évaluer et de comprendre ces incidences potentielles, qu'elles soient positives ou négatives.

Le présent avis technique a pour finalité d'identifier un ensemble de sujets de recherche à étudier pour faire progresser l'état des connaissances sur les facteurs humains et organisationnels (FHO) concernés par la modernisation des salles de commande des centrales actuelles, des nouvelles centrales nucléaires et des réacteurs avancés. Les recherches menées sur les sujets décrits dans cet article doivent fournir les connaissances techniques indispensables si l'on veut être sûr de tirer parti des nouvelles technologies et d'en réduire le plus possible les éventuels effets négatifs.

À l'origine, cet avis avait pour but de développer les sujets de recherche identifiés lors de l'atelier intitulé « Future Control Station Designs and Human Performance Issues in Nuclear Power Plants » organisé en 2006 par le Groupe spécial sur les facteurs humains et organisationnels du CSIN (SEGHOF, qui a été rebaptisé Groupe de travail sur les facteurs humains et organisationnels, WGHOFF) et par le Projet du réacteur de Halden (HRP). Cependant, il est apparu que des organismes représentés au WGHOFF ainsi que d'autres autorités de sûreté et organismes scientifiques internationaux ont récemment entrepris d'établir des programmes de recherche sur les facteurs humains et organisationnels. Ces organismes ont identifié des thèmes de recherche qui concordent ou sont apparentés et ont élaboré des plans et des propositions pour les traiter. Le WGHOFF a donc préparé cet avis technique afin de présenter un panorama des facteurs humains et organisationnels importants pour la sûreté et d'identifier les types de recherches à mener. Cet avis technique identifie huit grands domaines méritant des recherches approfondies :

- Méthodes et outils d'ingénierie des facteurs humains.

- Retour d'expérience d'exploitation des futures centrales et des centrales modernisées.
- Nouvelles conceptions de l'exploitation des centrales nucléaires.
- Rôle des automatismes et des opérateurs : nouvelles conceptions du travail d'équipe dans les systèmes avancés.
- Gestion des événements imprévus.
- Principes de conception des interfaces homme-machine en renfort des fonctions cognitives de l'opérateur.
- La complexité dans les systèmes avancés.
- Facteurs organisationnels : culture de sûreté/management de la sûreté.

Pour chaque thème, le groupe a commencé par identifier les sujets de recherches fondamentales, puis procédé à une synthèse des aspects du facteur humain concernés, des objectifs possibles des recherches, des principales considérations méthodologiques et des résultats attendus. Cet avis technique est destiné à un large éventail d'acteurs de la communauté nucléaire internationale. Les principaux intéressés seront les organismes de recherche disposant des moyens et des installations nécessaires pour mener les recherches proposées, le Projet de l'OCDE du réacteur de Halden, par exemple. Les autres parties concernées sont les autorités de sûreté, les organisations internationales (telles que l'AEN et l'AIEA) et les entreprises industrielles susceptibles de financer ces recherches et d'en bénéficier.

1. OBJECTIF

Cet avis technique a pour objectif d'identifier les thèmes de recherches qui pourraient faire avancer la connaissance sur les aspects organisationnels et humains des nouvelles centrales nucléaires et des centrales avancées, ainsi que de la modernisation des salles de commande des centrales actuelles. Les résultats de ces recherches contribueront à la fiabilité du comportement de l'opérateur lorsqu'il utilisera de nouvelles technologies. Pour élaborer cet avis, le Groupe de travail sur les facteurs humains et organisationnels (WGHOF) a étudié plusieurs rapports identifiant des sujets de recherche dans ce domaine et a fusionné les recommandations de ces rapports avec conclusions d'un atelier organisé en 2006 par le Groupe spécial sur les facteurs humains et organisationnels du CSIN (SEGHOF) et par le Projet du réacteur de Halden. Il s'agissait aussi de favoriser la coordination des activités de recherche internationales sur les facteurs humains et organisationnels et d'aider à identifier les programmes de recherche susceptibles de bénéficier d'accords internationaux sur des sujets d'intérêt commun.

2. INTRODUCTION

Le secteur nucléaire connaît actuellement une vague de modernisation des salles de commande des centrales qui peut revêtir diverses formes. De nombreux pays construisent des réacteurs, et des concepts de réacteurs avancés sont conçus dans le cadre de coopérations internationales visant à assurer la production d'électricité au cours des prochaines décennies. Avec les centrales avancées on verra apparaître de nouvelles conceptions de réacteurs et de systèmes, de nouveaux outils destinés à assister le personnel des centrales et de nouveaux modes de répartition du personnel dans les centrales nucléaires. Les conceptions de l'exploitation et de la maintenance de cette nouvelle génération de centrales seront certainement très différentes de celles des centrales actuelles. Il importe que les futurs exploitants et les autorités de sûreté à qui il reviendra de juger de l'acceptabilité des nouvelles conceptions mesurent et comprennent bien les répercussions possibles de ces évolutions pour que les performances humaines contribuent à préserver la sûreté.

La R-D sur les centrales avancées a également une incidence sur les centrales actuelles. Ainsi, les technologies mises au point pour équiper les centrales avancées de systèmes de contrôle-commande numériques de pointe et de salles de commande informatisées sont essentielles à la modernisation des centrales actuelles et à la construction des nouvelles. Contrairement à la modernisation des centrales (limitée par les équipements existants et les conceptions de l'exploitation qui ont cours), la construction d'une centrale offre la possibilité d'opter pour une conception entièrement nouvelle. En outre, au cours des projets de modernisation, la mise en place de nouveaux systèmes nécessite souvent plusieurs arrêts. Cela crée des états provisoires entre l'ancienne et la nouvelle conception qui peuvent eux-mêmes menacer la fiabilité humaine.

L'introduction de nouvelles technologies promet d'améliorer la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires. Si l'on veut pouvoir s'assurer que les technologies sont appliquées de façon à favoriser un comportement humain satisfaisant et à garantir la sûreté des centrales, il importe d'évaluer tant les effets négatifs que les effets positifs des avancées technologiques. Les recherches qui seront entreprises sur les sujets décrits dans cet article fourniront les connaissances techniques dont aura besoin pour vérifier que les avantages des nouvelles technologies sont mis à profit et que les éventuels effets négatifs seront réduits au minimum.

3. CHAMP DE L'ÉTUDE

Il était prévu à l'origine de développer, dans cet avis, les thèmes de recherche identifiés lors de l'atelier intitulé « Future Control Station Designs and Human Performance Issues in Nuclear Power Plants » organisé par le Groupe spécial sur les facteurs humains et organisationnels du CSIN/SEGHOFF et le Projet du réacteur de Halden. Cependant, il est apparu que des organismes représentés au WGHOF ainsi que d'autres autorités de sûreté et organismes scientifiques internationaux ont récemment entrepris d'établir des programmes de recherche sur les facteurs humains et organisationnels. Ces organismes ont identifié des thèmes de recherche qui concordent ou sont apparentés et ont élaboré des plans et des propositions pour les traiter. Le WGHOF a donc préparé cet avis technique afin de présenter un panorama des facteurs humains et organisationnels importants pour la sûreté et d'identifier les types de recherches à mener. Cet avis technique pourrait donc servir de base à de nouvelles coopérations et coordinations internationales entre parties intéressées et pourrait aider à orienter le programme de recherches du Projet du réacteur de Halden ainsi que d'autres établissements de recherche.

4. MÉTHODE

Cet avis technique a été préparé par un sous-groupe du WGHOFF, des représentants de la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) et des consultants des laboratoires nationaux de l'*US Department of Energy* compétents en la matière. Les spécialistes ayant participé à l'élaboration de cet avis technique ont examiné neuf études et plannings de recherches portant sur les facteurs humains et organisationnels afin d'identifier les principaux besoins de recherches dans le domaine des technologies avancées. Chacun de ces documents est décrit brièvement à l'annexe.

Les besoins de recherches identifiés dans le compte rendu de l'atelier CSIN/SEGHOFF/HRP ont servi de base à cette analyse. Les autres documents ont permis d'approfondir les principaux problèmes.

Les sujets de recherche identifiés dans ces neuf documents ont été regroupés en thèmes de programmes de recherche plus vastes. Les huit domaines de recherche identifiés sont les suivants :

- Méthodes et outils d'ingénierie des facteurs humains.
- Retour d'expérience d'exploitation des futures centrales et des centrales modernisées.
- Nouvelles conceptions de l'exploitation des centrales nucléaires.
- Rôle des automatismes et des opérateurs : nouvelles conceptions du travail d'équipe dans les systèmes avancés.
- Gestion des événements imprévus.
- Principes de conception des interfaces homme-machine en renfort des fonctions cognitives de l'opérateur.
- La complexité dans les systèmes avancés.
- Facteurs organisationnels : culture de sûreté/management de la sûreté.

5. THÈMES DES PROGRAMMES DE RECHERCHE

Cette partie décrit les thèmes des programmes de recherche identifiés lors de l'examen des documents. Pour chaque thème, on a ensuite déterminé les sujets de recherches fondamentales, puis procédé à une synthèse des aspects du facteur humain concernés, les objectifs des recherches, les principales considérations méthodologiques et les résultats attendus. Il convient de souligner que les objectifs, les considérations méthodologiques et les résultats escomptés sont uniquement présentés pour les besoins de la planification. Chaque thème d'un programme de recherche doit être formulé en détail pour permettre l'identification de projets de recherche spécifiques.

Méthodes et outils d'ingénierie des facteurs humains (IFH)

Questions

Quels sont les points forts et les limites des nouveaux outils et méthodes d'IFH ? Selon quels critères peut-on juger de leur validité pour concevoir des réacteurs et des salles de commande avancées ?

Base

Les méthodes et les outils employés pour analyser, concevoir et évaluer les aspects de l'IFH des centrales nucléaires évoluent parallèlement aux technologies de conception des nouveaux réacteurs. Les progrès des méthodes et outils utilisés par les professionnels de l'IFH révolutionnent l'exécution des tâches humaines. Parmi les méthodes et outils d'IFH qui font leur apparition, on compte les applications informatisées permettant d'effectuer des analyses traditionnelles, l'ingénierie rapide, les méthodes d'analyse des tâches cognitives, le recours à des environnements et visualisations virtuelles ainsi que l'application de la modélisation du comportement humain.

Ces évolutions influencent l'industrie nucléaire civile. S'agissant du travail des autorités de sûreté, l'évaluation des méthodes et outils employés dans les nouvelles filières de centrales prendra une place significative dans les examens de sûreté. Les documents étudiés pour élaborer cet avis soulignent systématiquement l'importance pour l'examen de sûreté de la recherche sur les méthodes et aux

outils d'IFH, confirmant ainsi les conclusions d'une étude récente de l'*US National Research Council*. Cette étude identifie les principales causes de défaillance des systèmes. La plupart des quinze causes identifiées sont liées à différents aspects du processus de conception et aux méthodes et outils employés par les professionnels de l'IFH.

Il est donc nécessaire de mener des recherches afin d'étudier les améliorations apportées aux méthodes et outils d'IFH qui sont et seront utilisés pour l'analyse, la conception et l'évaluation des nouveaux réacteurs et ainsi faire en sorte que le personnel des centrales nucléaires bénéficie des connaissances, des informations, des compétences, des processus et de l'environnement de travail (physique et organisationnel) nécessaires à l'exécution efficace et sûre des tâches qui lui sont attribuées. Le programme de recherche doit se fonder sur les travaux déjà réalisés et documentés dans des sources analogues à celles identifiées plus haut.

Objectifs

Le programme sur les méthodes et les outils d'IFH poursuit un double objectif :

- Élaborer des recommandations et définir des critères d'acceptation utilisables lors des examens afin de s'assurer que les nouveaux outils et méthodes d'IFH soient correctement appliqués à la conception des centrales nucléaires.
- Identifier et/ou mettre au point des outils dont puissent se servir les autorités de sûreté pour analyser ce qui relève de l'IFH dans la conception, l'exploitation et la maintenance des centrales nucléaires : par exemple, des outils d'évaluation des profils de recrutement des centrales et des outils permettant d'analyser les modifications des actions humaines importantes en termes de risques.

Recherches

Les recherches susceptibles de répondre à cet objectif incluraient :

- Un examen des études antérieures sur les méthodes et les outils d'IFH et une mise à jour de ces études sur la base des expériences internationales récentes.
- L'identification des tendances qui marquent fortement l'industrie nucléaire.
- La réalisation de recherches visant à identifier les principes de validation des méthodes et des outils et à déterminer la façon de les utiliser correctement.

- L'identification des méthodes et outils dont ont besoin les autorités de sûreté.
- La mise au point d'outils destinés aux autorités de sûreté en adaptant ou modifiant des méthodes et outils d'IFH aux examens de sûreté.

Résultats attendus

Les résultats de ce programme permettront d'élargir les connaissances de la communauté internationale sur les méthodes et outils d'IFH de pointe, notamment leurs points forts et leurs limites. Ces connaissances constitueront la base technique indispensable pour formuler des recommandations et élaborer des outils dont les autorités de sûreté pourront ensuite se servir pour juger de l'utilisation des nouveaux outils et méthodes d'IFH pour la conception des centrales nucléaires et procéder à des examens réglementaires.

Retour d'expérience d'exploitation des futures centrales et des centrales modernisées

Question

En quoi la collecte et l'analyse du retour d'expérience détaillé des centrales actuelles de génération III et III+ et des centrales fortement modernisées peuvent-ils permettre d'améliorer les facteurs humains et organisationnels ?

Base

Même si plusieurs réacteurs de génération III et III+ sont en service depuis de nombreuses années (réacteurs ABWR au Japon, N4 en France), on dispose généralement de très peu d'informations sur leur exploitation. Il en va de même pour les nombreuses centrales nucléaires à travers le monde ayant fait l'objet d'une modernisation étendue ou ayant été équipées de technologies développées pour les nouvelles centrales. Ces informations sont primordiales pour le développement des futures recherches. Elles contribueront également dans une large mesure à élaborer des approches réglementaires destinées aux contrôles de sûreté des nouvelles technologies.

Objectif

L'objectif de ce programme de recherche consiste à recueillir le retour d'expérience des facteurs humains des centrales de génération III et III+ en coordination avec le Groupe de travail sur l'expérience acquise en cours d'exploitation (WGOE).

Recherches

Les principales activités de recherche à mener pour atteindre cet objectif pourraient être les suivantes :

- Mise au point d'une méthodologie structurée pour recueillir, organiser, analyser les informations et en tirer des enseignements.
- Collecte et évaluation du retour d'expérience documenté.
- Recueil de données de retour d'expérience supplémentaires en s'adressant directement aux constructeurs, aux électriciens et aux autorités de sûreté, et en combinant plusieurs méthodes de collecte des données (questionnaires/enquêtes, entretiens téléphoniques, visites sur site, etc.). Les informations à rechercher pourraient couvrir les domaines suivants :
 - Types de d'automatismes en place.
 - Caractéristiques des interfaces utilisateur des automates.
 - Interfaces utilisateur employées pour surveiller le fonctionnement de la centrale et gérer les situations perturbées.
 - Contrôle-commande informatisé des équipements.
 - Procédures informatisées et aide informatisée aux opérateurs.
 - Expérience de l'exécution à l'aide d'interfaces informatiques de tâches de maintenance, de consignations d'équipements et d'essais.
 - Impacts sur les performances humaines des mises à niveau et des modifications logicielles.
 - Fonctions modifiables par les opérateurs (réglage du point de consigne, alarmes et affichages temporaires, etc.).
 - Systèmes de sûreté numériques.
 - Techniques de formation du personnel.
 - Méthodes destinées à garantir la sécurité des systèmes.
 - Retour d'expérience des incidents.
 - Identification et traitement des actions du personnel susceptibles de contribuer au risque.
 - Stratégies des autorités de sûreté pour les examens de la conception.
- Évaluation des informations recueillies pour en tirer des enseignements pouvant s'appliquer en général aux futures conceptions de réacteurs et aux examens réglementaires.

Résultats attendus

Les résultats de ce programme seront consignés dans des rapports consacrés aux enseignements tirés et seront mis à la disposition de l'industrie nucléaire civile, des chercheurs et des autorités de sûreté. Les informations recueillies permettront également d'affiner les sujets de recherche relevant des six thèmes suivants.

Nouvelles conceptions de l'exploitation des centrales nucléaires

Question

En termes de comportement humain et de sûreté, quelles sont les implications les plus importantes des nouvelles conceptions de l'exploitation des centrales nucléaires avancées ?

Base

La conception de l'exploitation d'une nouvelle centrale nucléaire ou d'une centrale modernisée peut s'appréhender du général au particulier et du particulier au général. Du général au particulier, il s'agit de définir les objectifs supérieurs de l'exploitation des systèmes. Du particulier au général, elle repose sur l'infrastructure technologique nécessaire pour atteindre ces objectifs. Une conception de l'exploitation recouvre plusieurs dimensions :

- Les rôles respectifs des opérateurs et des automatismes.
- Le recrutement et la formation.
- Les conditions normales de fonctionnement.
- La gestion des situations perturbées et d'urgence.
- Gestion de la maintenance et des changements.

Le mode d'exploitation et la technologie des centrales nucléaires ont peu changé au cours des cinquante premières années de production industrielle d'électricité nucléaire. Même si la conception de l'exploitation s'est continuellement améliorée au fil du temps, notamment avec la généralisation de l'approche par états et le perfectionnement des interfaces homme-machine à la suite de l'accident de Three Mile Island en 1979, aucun changement majeur n'est survenu. Les réacteurs actuels de génération III, tels que les réacteurs ABWR et N4, sont conduits par des équipes dont les fonctions sont très proches de celles qu'ils assuraient sur les réacteurs plus anciens, même si les nouveaux réacteurs sont dotés de technologies plus modernes.

Les progrès de la technologie des centrales nucléaires ont ouvert la voie à des changements des conceptions traditionnelles de l'exploitation. De nombreux problèmes liés au comportement humain identifiés dans les documents de référence traitent de ces évolutions. Parmi les exemples de changements prévus pour un avenir proche, on compte :

- L'exploitation d'une centrale par un seul opérateur (une grande partie des nouvelles centrales sont conçues pour disposer de cette capacité) et autres formes de réduction des effectifs.

- L'exploitation de réacteurs modulaires par une seule équipe.
- Le renforcement de l'automatisation qui transforme à terme l'opérateur en un superviseur effectuant peu de commandes directement.
- Les systèmes de sûreté passifs.
- Les systèmes intervenant après la fusion du cœur et les actions correspondantes.

À plus long terme, on peut envisager des changements encore plus profonds, dont voici quelques exemples :

- Décentralisation fonctionnelle : la centrale emploie un nombre très faible de personnes sur site (uniquement les techniciens supervisant les opérations hautement automatisées et réalisant occasionnellement des opérations et tâches de maintenance mineures). Les autres fonctions sont confiées à des spécialistes hors du site qui se déplacent en cas de besoin (pour assurer la maintenance, par exemple) ou exécutent leurs tâches à distance ; les situations d'urgence pourraient ainsi être gérées par des équipes de gestion de crise parfaitement entraînées.
- Effets de réactivité différents : dans la conception du réacteur à neutrons rapides refroidi au plomb (RNR-Pb) par exemple, la présence de plomb dans le cœur peut entraîner des effets de réactivité différents de ceux des réacteurs à eau ordinaire. Le RNR-Pb présente une faible thermalisation des neutrons et des effets Doppler moins prononcés que dans les réacteurs à eau ordinaire. De plus, le coefficient de réactivité est moins négatif et la durée de vie des neutrons plus courte. Ces facteurs ont tendance à accélérer la cinétique des variations de puissance et des transitoires. La maîtrise que l'opérateur a de la puissance et de la sûreté du réacteur dépend de sa compréhension de ces effets de réactivité.
- Gestion des risques propres aux nouvelles technologies de réacteurs : sodium, combustible et métal liquides, graphite dans le cœur et eau supercritique.

Il ne s'agit ici que de quelques exemples des changements prévus pour un avenir proche ou plus lointain.

Objectif

L'objectif de ce programme de recherche consiste à préparer les autorités de sûreté et l'industrie nucléaire à de nouvelles conceptions de l'exploitation et aux répercussions possibles de ces dernières sur les performances humaines et, en fin de compte sur celles des centrales.

Activités de recherche

Les principales recherches à mener pour atteindre cet objectif pourraient être les suivantes :

- Étude des tendances observées dans la conception de centrales nucléaires et dans les pratiques d'exploitation. Il convient de prendre en compte les conceptions prévues à court et à long terme c'est-à-dire les réacteurs des générations III, III+ et IV.
- Étude des pratiques d'exploitation dans des installations analogues où des évolutions technologiques du même type ont déjà eu lieu : usines pétrochimiques et plates-formes pétrolières offshore, par exemple.
- Élaboration d'une conception de l'exploitation générique, qui ne dépende pas de la technologie et qui puisse servir de modèle pour obtenir des d'informations sur les nouvelles filières de réacteurs et pour identifier les aspects de cette conception qui sont importants pour la sûreté. Pour ces recherches, on pourra se référer à la conception de l'exploitation décrite dans les guides établis par l'industrie nucléaire et d'autres secteurs ayant recours à des technologies complexes.
- Réalisation d'études sur simulateur pour mieux comprendre les implications des différentes conceptions de l'exploitation sur le comportement du personnel.
- Élaboration d'une méthode d'examen intégrant les aspects importants pour la sûreté des différentes conceptions de l'exploitation. Il faudra éventuellement recourir à cet effet à de nouveaux outils et méthodes en plus des instructions pour l'examen de la conception du réacteur.
- Test de la méthode d'examen et des instructions correspondantes pour s'assurer qu'elles sont utilisables, raisonnables et applicables aux centrales nucléaires. Ces tests doivent porter sur plusieurs concepts de réacteurs en plus des réacteurs à eau ordinaire et notamment le PBMR.

Résultats attendus

Ce programme doit aboutir à la validation d'un modèle de conception de l'exploitation de centrale nucléaire qui mette en avant les aspects importants pour la sûreté. Les résultats de ces recherches pourront servir aux concepteurs de centrales nucléaires. Ils fourniront les fondements techniques nécessaires à la mise au point d'une méthode permettant de réaliser des examens de sûreté des nouvelles conceptions de l'exploitation dans l'industrie nucléaire.

Rôles des automatismes et des opérateurs : nouvelles conceptions du travail d'équipe dans les systèmes avancés

Question

Quelles sont les conséquences de l'automatisation et des nouvelles conceptions du travail d'équipe dans les systèmes avancés sur les aspects de l'IFH importants pour la sûreté ?

Base

L'exploitation d'une centrale nucléaire repose sur des activités coordonnées d'équipes de travailleurs. Le personnel d'une centrale nucléaire intervient de façon essentielle dans la production efficace et sûre d'électricité. Les opérateurs et les autres membres du personnel d'une centrale nucléaire travaillent en équipe pour surveiller et piloter les systèmes de la centrale et veiller à leur bon fonctionnement. Les opérateurs et les autres membres du personnel échangent des informations et accomplissent leurs tâches de manière coordonnée pour assurer la sûreté de l'exploitation et ramener la centrale dans un état sûr en cas de perturbation d'un processus. Le personnel chargé des essais et de la maintenance contribue également au bon fonctionnement des équipements de la centrale et répare les composants en cas de dysfonctionnement. Les comportements considérés comme fondamentaux pour le travail d'équipe sont : la définition d'objectifs communs et leur coordination, le maintien d'une perception commune de la situation, l'instauration d'un dialogue libre et la planification coopérative. Des équipes efficaces suivent les progrès des autres, s'aident mutuellement et recherchent activement leurs erreurs. Avec l'introduction de nouvelles technologies dans les centrales nucléaires, notamment dans les salles de commande, on a pris conscience de la nécessité de concevoir la technologie en fonction non plus seulement de l'individu mais de l'équipe.

Par ailleurs, les technologies que l'on pourra utiliser dans les nouvelles centrales et les centrales modernisées permettent d'automatiser davantage le pilotage des processus et de développer les aides à la décision pour les équipes de conduite. De nombreux problèmes soulevés dans les documents source évoquent la nécessité de prendre en compte la façon dont l'automatisation est conçue et mise en œuvre de l'automatisation ainsi que ses effets potentiels sur le comportement de l'opérateur et de l'équipe. Il est notoire qu'une automatisation mal conçue peut entraîner chez les opérateurs une perte de vigilance, une charge de travail insuffisante, l'auto-satisfaction et une mauvaise perception de la situation. Une mauvaise conception de l'automatisation peut entraîner de nouvelles formes d'erreur humaine (telles que les erreurs de mode où le personnel

perd conscience des fonctions multiples qu'assurent les commandes qui sont pourtant programmées à cet effet) et nuit en général à la capacité de l'opérateur de répondre aux défaillances.

Ces préoccupations prennent une nouvelle signification si l'on considère que les interactions entre opérateurs et automates se multiplient (le recours à des points d'arrêt lors du démarrage de l'ABWR en est une illustration) et que les automatismes assurent de plus en plus de tâches décisionnelles qui traditionnellement revenaient à l'opérateur. Ainsi, dans les centrales nucléaires, mais aussi dans de nombreux autres systèmes complexes, l'homme et l'automate constituent en quelque sorte une même équipe chargée de surveiller et de commander les systèmes.

Des recherches ont également montré que les systèmes avancés modifient le travail et les processus d'équipe. Par exemple, les équipes constatent fréquemment que le travail sur des postes de travail individuels avec obtention des informations et réalisation de tâches sur moniteur a des effets négatifs sur les contrôles et la surveillance exécutés par leurs confrères.

En définitive, c'est une nouvelle conception de l'équipe qui émerge. Cette équipe est composée des opérateurs, des automatismes, des aides à la décision et des agents intelligents. Tous ces intervenants interagissent et partagent la responsabilité de l'exécution des rôles et des tâches en fonction des exigences de la situation. Comme dans toute équipe, il faut exécuter des actions indépendantes dans certaines circonstances, partager les tâches dans d'autres, et assister les autres membres de l'équipe lorsque c'est nécessaire. Il importe d'être conscient à tout moment des activités des autres membres et d'avoir confiance en leur capacité de s'acquitter comme il convient de leur fonctions et tâches.

Objectif

L'objectif de ce programme de recherche est de mieux comprendre et définir cette nouvelle conception de l'équipe et d'en tirer des recommandations pour l'analyse de la répartition des fonctions et des interactions entre l'homme et l'automate dans les équipes homme-machine. Voici quelques aspects des équipes homme-machine que l'on pourra étudier :

- Définition des rôles relatifs de l'homme et des automatismes dans des situations statiques et dynamiques.
- Identification des exigences de surveillance et de communication entre les membres de l'équipe : interactions homme-homme et interactions homme-automatismes.

- Identification des principes à appliquer pour obtenir un passage en douceur du pilotage par l'homme au pilotage par l'automate.
- Élaboration de principes de conception d'interfaces homme-machine facilitant la surveillance humaine et les interactions entre l'homme et les automatismes.

Recherches

Les principales activités de recherche pourraient comprendre :

- L'étude et l'analyse de la littérature pertinente sur le travail d'équipe dans les systèmes de haute technologie et son application aux systèmes nucléaires.
- L'étude et l'analyse de la littérature sur les avancées en matière d'automatisation, la répartition des fonctions et la conception d'interfaces homme-machine pour les systèmes interactifs.
- L'identification des principes permettant de mieux assister les interactions homme-machine.
- Test sur simulateur et, si nécessaire, révision de ces principes.

Résultats attendus

Ce programme de recherche devrait enrichir nos connaissances des facteurs humains dans les équipes homme-machine, connaissances pouvant être utiles à la conception des centrales nucléaires et à l'élaboration de recommandations pour les examens réglementaires.

Gestion des événements imprévus

Question

Quelles sont les caractéristiques des interfaces homme-machine nécessaires dans les futurs réacteurs pour s'assurer que le personnel est capable de gérer les événements imprévus ?

Base

Les événements hors dimensionnement ont toujours constitué un défi pour les équipes, les concepteurs de procédures et les formateurs. Les technologies des nouvelles centrales risquent d'aggraver ces difficultés. Il faudra assurer la surveillance et la gestion des systèmes passifs, gérer ou atténuer les conséquences

de nouveaux dangers, déterminer l'utilité et la possibilité d'automatiser largement et de recourir à des systèmes intelligents d'aide à l'opérateur dans les situations imprévues, et éventuellement prendre en compte les événements de type nouveau qui peuvent survenir en cas de dégradation ou de défaillance des contrôles-commandes.

Objectif

Des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre comment les équipes de conduite évaluent les situations, prennent des décisions et agissent si l'on veut concevoir des interfaces homme-machine, des formations et des procédures qui soient une aide pour les opérateurs confrontés à des événements imprévus. Comprendre et réagir à ce type d'événements sont deux activités qui font intervenir de nombreux aspects de la conception de la centrale, les alarmes, les systèmes d'informations, les procédures informatisées et les nouvelles aides à la décision destinées à assister les équipes. L'objectif de ces recherches est d'acquérir une meilleure compréhension de la manière dont ces systèmes peuvent être intégrés de sorte que les opérateurs soient en mesure de gérer des événements inédits.

Recherches

Les principales recherches à mener pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

- Analyse de la littérature pertinente pour constituer une première base technique prenant en compte :
 - L'ingénierie des systèmes résilients.
 - Des principes de gestion des événements imprévus dans les différents secteurs industriels.
 - L'évaluation de la situation et la prise de conscience de la situation.
- Établissement et expertise d'un ensemble de principes pour la conception d'interfaces homme-machine, de procédures, de formations à la gestion des événements inédits et des transitions ;
- Réalisation d'études sur simulateur pour évaluer les principes élaborés et revoir les principes fondés sur les résultats de ces études.

Résultats attendus

Les résultats de ce programme de recherche fourniront la base technique nécessaire pour optimiser les décisions de conception en IF, les formations et les procédures ainsi que les consignes pour l'examen de l'IF de la gestion des événements imprévus.

Principes de conception des interfaces homme-machine en renfort des fonctions cognitives de l'opérateur

Questions

Quelles sont les bonnes pratiques pour mettre en œuvre et utiliser des procédures informatisées (y compris en secours) et en garantir la fiabilité et la conformité avec les aides à la décision automatisées ?

Base

Les procédures informatisées sont de plus en plus utilisées dans les centrales en cours de modernisation. On s'attend à ce qu'elles deviennent une caractéristique majeure de la conception des nouveaux systèmes. Les recherches disponibles révèlent que les procédures informatisées modifient fondamentalement la façon dont le personnel traite et partage les informations, acquiert et conserve une perception de la situation. Des recherches complémentaires sont nécessaires afin d'établir des pratiques standard de conception de procédures informatisées : méthodes d'affichage et de classement des informations, capacité de retour arrière, vérification que les mesures vitales ont été adoptées, processus prévus pour les instructions primordiales, moyens de communiquer la séquences des opérations prévues dans les procédures aux membres du personnel qui n'observent pas activement les écrans. Il convient également d'évaluer, pour les nouvelles générations d'opérateurs qui n'auront pas d'expérience prolongée de l'utilisation des procédures papier, les implications, en termes de comportement humain, de l'utilisation de différentes procédures informatisées et procédures papier dans l'éventualité d'une défaillance du système.

La conception d'aides intelligentes couvrant différents aspects de l'exploitation des centrales nucléaires doit être guidée par des principes tels que l'opérateur puisse compter sur le système pour assumer une partie de sa charge de travail et l'aider à résoudre ses problèmes, sans pour autant tomber dans un sentiment de confiance démesurée qui le conduise à respecter aveuglément les recommandations du système automatisé. Pour cela, il est nécessaire de parvenir à un équilibre entre la fiabilité du système, la redondance des informations sur l'état du système fournies aux opérateurs et les méthodes permettant à ces derniers de vérifier le fonctionnement des systèmes automatisés. Les recherches sur les facteurs humains ont identifié des types particuliers de systèmes tels que les systèmes de pilotage automatique, qui présentent un niveau d'opacité et de complexité de fonctionnement tel qu'ils engendrent chez l'opérateur méfiance, confusion et retard dans l'exécution des tâches. Des recherches doivent être menées pour définir des niveaux d'assistance adéquats, auxquels s'établisse un juste équilibre entre confiance et obéissance.

Dans leurs fonctions, les opérateurs des centrales nucléaires exécutent des tâches principales et des tâches secondaires. Les tâches principales consistent à surveiller les paramètres de la centrale, respecter des procédures, réagir aux alarmes, démarrer les pompes et procéder au lignage des vannes. Les tâches secondaires sont principalement des tâches de gestion des interfaces. Les tâches principales présentent un certain nombre d'éléments cognitifs communs, que l'on désigne sous le nom de tâches génériques principales. Il s'agit de la surveillance et de la détection, de l'évaluation de la situation, de la planification et de la mise en œuvre des actions. Ce type de tâches génériques principales demande une charge de travail moyenne. Si la charge de travail est trop faible, la vigilance du personnel faiblit et sa capacité d'évaluer correctement la situation diminue. Si les exigences des tâches s'accroissent, la charge de travail augmente et lorsque la charge est trop lourde, l'opérateur perd de sa capacité de réaliser ses tâches. Tout dysfonctionnement dans ces tâches génériques principales peut provoquer une erreur humaine.

Pour comprendre le comportement humain, il importe également de considérer le second type de tâches mentionné plus haut : les tâches secondaires. Pour s'acquitter de leurs tâches principales, les opérateurs doivent aussi mener à bien leurs tâches secondaires ou tâches de gestion des interfaces. Dans une salle de commande informatisée, les tâches secondaires recouvrent des activités de navigation ou de consultation d'informations sur les postes de travail et d'organisation des différentes informations sur l'écran. Ces tâches sont nécessaires car les opérateurs ne peuvent visualiser qu'une petite partie des informations à la fois sur les écrans de leurs postes de travail. Ils doivent donc exécuter des tâches de gestion des interfaces pour récupérer et organiser les informations.

La distinction entre tâches principales et secondaires est importante car ces opérations s'influencent les unes les autres. Par exemple, les tâches secondaires créent une charge de travail supplémentaire et peuvent détourner l'attention de l'opérateur des tâches principales, qui sont alors plus difficiles à exécuter. Les tâches secondaires ont donc leur importance et doivent être prises en compte de manière satisfaisante lors de la conception de la salle de commande.

Dans l'exécution de leurs tâches principales de surveillance et de détection, d'évaluation de la situation, de planification et de mise en œuvre des réponses, les opérateurs se servent des interfaces homme-machine pour obtenir des informations et réaliser des actions. Les caractéristiques et les fonctions des interfaces homme-machine, comme de tous les systèmes exploitant des technologies numériques, ont évolué très rapidement. Voici quelques tendances générales observées :

- Les informations sont généralement présentées de façon hiérarchisée : par exemple, les données générales figurent en haut de l'écran alors que les informations détaillées sur les systèmes et les composants sont représentées en bas.

- Les interfaces homme-machine offrent de nombreuses aides à la décision : réduction des alarmes à un nombre d'alarmes importantes gérable, procédures informatisées facilitant la consultation des informations et l'analyse des actions, etc.
- Les fonctions des interfaces homme-machine sont intégrées : les informations sur les alarmes sont affichées et reproduites dans les procédures informatisées, les commandes sont accessibles à partir des procédures et des informations affichées, etc. Dans un sens, les frontières entre les différentes ressources des interfaces homme-machine disparaissent.

Ces évolutions ont été rendues possibles par de nombreux traitements informatiques.

Comme les technologies évoluent rapidement, il est essentiel d'intégrer les facteurs humains à l'interface homme-machine au fur et à mesure de sa conception. Les documents servant de base à ce rapport identifient ce besoin dans les nombreux problèmes jugés relever des technologies des interfaces homme-machine.

Objectif

Ce programme de recherche doit permettre de formuler des recommandations pour la conception et l'évaluation des nouvelles technologies des interfaces homme-machine, notamment leurs caractéristiques et fonctions et les implications des défaillances des interfaces homme-machine sur l'homme et les réponses à ces défaillances. Ce programme met l'accent sur le rôle des principales ressources des interfaces homme-machine : alarmes, affichages, contrôles-commandes, procédures, aides à la décision et gestion des interfaces.

Recherches

Les principales à entreprendre pour atteindre cet objectif recouvrent :

- L'étude des interfaces homme-machine actuellement utilisées dans les salles de commande informatisées pour définir leurs caractéristiques et leurs fonctions.
- L'identification des tendances de la conception des interfaces homme-machine dans les différents secteurs afin d'imaginer les caractéristiques et les fonctions qui verront le jour à court terme dans la conception des centrales nucléaires.

- À partir des résultats des deux premières activités, la mise au point d'une caractérisation globale des interfaces homme-machine, qui recouvre les tendances à l'intégration fonctionnelle mentionnées ci-dessus.
- En fonction de la caractérisation des interfaces homme-machine, la constitution d'une base technique de pratiques recommandables pour résoudre les problèmes de conception des interfaces homme-machine. Cette base doit inclure l'expérience d'exploitation disponible, les résultats des études des constructeurs (et ceux d'organisations proches), les données recueillies dans les installations qui emploient des conceptions d'interfaces homme-machine avancées (dans les centrales nucléaires mais pas seulement) et les résultats obtenus dans la documentation générale.
- La réalisation de recherches sur simulateur afin de mieux comprendre l'impact des caractéristiques de conception et des fonctions sur les performances des équipes.

Résultats attendus

Ces recherches doivent permettre d'acquérir des connaissances approfondies qui puissent être utiles à la fois pour la conception des centrales nucléaires et l'examen des interfaces homme-machine nouvelles et avancées en fonction de leurs caractéristiques et de leurs fonctions, mais aussi pour la gestion des défaillances des interfaces.

La complexité dans les systèmes avancés

Questions

Quelles sont les caractéristiques d'une nouvelle conception qui font sa complexité du point de vue de l'opérateur ? En quoi une complexité accrue influence-t-elle sur le comportement humain ? Comment peut-on mesurer cette complexité ?

Base

L'un des thèmes récurrents identifiés dans les documents sources est le problème de la *complexité*. Bien que les concepteurs de réacteurs avancés visent, à certains égards, davantage de simplicité, les aspects de l'IFH des centrales avancées risquent d'être plus complexes que ceux des centrales actuelles. L'augmentation des possibilités de détection, des aides au traitement de l'information, des agents intelligents, de l'automatisation et des interfaces informatisées établit une distance et entre le personnel et le fonctionnement de la centrale. Ces technologies sont potentiellement avantageuses, mais les membres des équipes constatent qu'elles accentuent également la complexité des opérations.

Objectif

L'objectif de ce programme de recherche est d'identifier les facteurs qui rendent une centrale, un système, des interfaces homme-machine, des scénarios, des tâches ou des opérations complexes pour le personnel de la centrale.

Recherches

Les principales recherches à mener pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

- Examen et analyse de la littérature sur la complexité : des recherches considérables ont été effectuées sur le thème la perception de la complexité dans plusieurs domaines industriels et universitaires. Ces études peuvent être analysées pour déterminer la possibilité de les appliquer à la conception et à l'exploitation des centrales nucléaires.
- Contributions d'experts en la matière : le concours des experts qui étudient actuellement la complexité, permet d'acquérir la certitude que l'on a identifié les approches et modèles de la complexité les plus récents.
- Développement de modèles de la complexité des systèmes nucléaires : la littérature spécialisée et les connaissances des experts peuvent servir de fondement technique pour l'élaboration de modèles de la complexité, y compris des mesures de la complexité qui puissent être employées dans le cadre d'évaluations de la sûreté. Ces mesures peuvent prendre plusieurs formes, en fonction du niveau de détail de la conception.
- Réalisation de recherches confirmatoires pour valider les modèles et les mesures.

Résultats attendus

Ce programme de recherche doit permettre de constituer une base technique pour la conception des centrales nucléaire et d'élaborer des recommandations pour les examens réglementaires qui permettent d'atténuer la perception de la complexité des aspects de l'IFH de la conception et de l'exploitation des centrales.

Facteurs organisationnels : culture de sûreté/management de la sûreté

Questions

Quelles bonnes pratiques assurent une culture de sûreté nucléaire commune solide, des pratiques de management de la sûreté efficaces par delà les organisations et les pays, au sein des organisations et le personnel qui intègrent l'industrie nucléaire ? Lorsque l'on détecte des problèmes, quels sont les moyens les plus efficaces d'évaluer les actions correctives ?

Base

Ayant tiré les leçons des 30 dernières années d'expérience, le secteur nucléaire civil a développé une forte culture de sûreté et des pratiques rigoureuses de management de la sûreté, que l'on ne rencontre nulle part ailleurs dans le monde de l'industrie. Cependant, l'industrie nucléaire n'est pas la seule à éprouver des difficultés pour respecter systématiquement les exigences concernant la culture et le management de la sûreté dans les organisations et les pays. Toute grande organisation est confrontée à la difficulté de coordonner les activités de ses groupes de travail et de communiquer malgré les fuseaux horaires et, dans le cas des multinationales, malgré les frontières culturelles. Elle rencontre aussi des difficultés de communication et de coordination avec d'autres organisations (constructeurs, sous-traitant, etc.). Pour la génération actuelle de centrales il a été difficile parfois de démontrer que les groupes de travail internes et les organisations externes sur lesquelles s'appuient les électriciens partagent une même culture de sûreté et répondent aux attentes en matière de management de la sûreté. D'autre part, les autorités de sûreté ont eu du mal à évaluer la culture de sûreté des centrales et les actions correctives mises en œuvre par les exploitants.

Ces difficultés risquent de s'accroître du fait de trois tendances de l'industrie :

- La construction de centrales : dans de nombreux pays qui n'ont construit aucun réacteur depuis de nombreuses années, les concepteurs, fournisseurs, constructeurs et autorités de sûreté manquent d'expérience. Les récentes expériences de construction aux États-Unis, en Finlande et en France ont révélé les effets d'un manque de communication, d'un mauvais contrôle des sous-traitants et de pratiques insuffisantes de management de la sûreté.
- Le renouvellement de la main d'œuvre et le manque d'expérience du personnel : dans de nombreux pays qui ont mis au point la culture de sûreté et les pratiques de management de la sûreté actuelles, le

personnel à l'approche de la retraite est remplacé par des personnes qui n'ont pas eu à tirer les nombreuses leçons qui sont à la base des pratiques actuelles. Les États-Unis ont noté une multiplication des erreurs humaines attribuées à l'inexpérience. De plus, des pays ne possédant aucune expérience du nucléaire cherchent désormais à rejoindre la communauté nucléaire.

- Les nouvelles conceptions de l'exploitation : les nouvelles conceptions de l'exploitation reposant sur des équipes dispersées, des fonctions de maintenance et d'exploitation centralisées et une plus grande dépendance envers les fournisseurs multinationaux peuvent rendre difficile l'acquisition et le maintien d'une culture de sûreté solide entre et parmi les membres des structures organisationnelles et des réseaux inter-organisationnels futurs.

Objectif

Ce programme de recherche a pour objectif d'identifier des méthodes efficaces de transmission et de maintien d'une culture de sûreté nucléaire commune solide, d'assurer la mise en œuvre de pratiques rigoureuses de management de la sûreté au sein d'organisations et chez des individus qui intègrent l'industrie nucléaire et seront amenées à concevoir, construire et exploiter des installations nucléaires nouvelles et avancées. En outre, ces recherches prépareront les autorités de sûreté à évaluer ces nouvelles méthodes et pratiques.

Recherches

Les principales recherches à mener pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

- Examen et analyse de la littérature savante consacrée aux principes et méthodes efficaces pour opérer des changements de culture organisationnelle.
- Collecte et évaluation du retour d'expérience documenté sur les méthodes ayant prouvé leur efficacité (dans l'industrie nucléaire et dans d'autres secteurs) pour communiquer et renforcer les attentes en matière de culture de sûreté.
- Recherche d'expérience d'exploitation supplémentaire en contactant directement les constructeurs, les électriciens et les autorités de sûreté, en multipliant les méthodes de collecte des données (questionnaires/enquêtes, entretiens téléphoniques, visites sur site, etc.).

- Élaboration d'une boîte à outils contenant des méthodes et des techniques utilisables pour transmettre la culture de sûreté et renforcer les pratiques de management de la sûreté.
- Définition et mise au point de pratiques et outils d'évaluation meilleurs pour les autorités de sûreté.

Résultats attendus

Ce programme de recherche doit approfondir nos connaissances sur les moyens efficaces d'inculquer systématiquement les valeurs et les normes propres à la culture de sûreté au sein des organisations, entre organisations mais aussi dans les organisations et chez le personnel intégrant la communauté nucléaire. Elle permettra de plus de préparer les autorités de sûreté à évaluer ces outils et pratiques.

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cet avis se fonde sur les conclusions d'un certain nombre d'ateliers et d'organisations pour identifier des thèmes de recherche relatifs aux facteurs humains et organisationnels qui se rapportent aux installations nucléaires de demain et à la modernisation des centrales existantes. Ces thèmes ont été regroupés en huit sujets de programme de recherche qui, s'ils sont étudiés, devraient permettre de constituer une solide base technique sur laquelle s'appuyer pour comprendre et gérer la contribution des facteurs humains et organisationnels. Ces sujets sont interdépendants et recouvrent les nouvelles technologies de réacteurs et les modifications des salles de commande.

Nous recommandons à la communauté internationale, à savoir les autorités de sûreté, les constructeurs, les établissements de recherche et les autres parties intéressées, d'adopter une démarche coopérative et coordonnée pour étudier ces domaines de recherche importants. Pour ce faire, il convient d'identifier les recherches que les différentes nations mènent ou prévoient sur ces thèmes, et d'identifier les sujets qui ne sont pas étudiés actuellement mais qui mériteraient qu'on y prête attention. Les moyens et les équipements nécessaires à ces recherches doivent également être pris en compte. Ce travail peut aider à cerner de plus près ces recherches et à les classer par ordre de priorité.

Annexe

DOCUMENTS ÉTUDIÉS POUR IDENTIFIER LES DOMAINES DES PROGRAMMES DE RECHERCHE

1. NEA/CSNI/R(2007)8. Workshop Proceedings – Future Control Station Designs and Human Performance Issues in Nuclear Power Plants.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, cet atelier a été organisé par le groupe SEGHOFF du CSIN et par le Projet du réacteur de Halden sur le thème : « Future Control Station Designs and Human Performance Issues in Nuclear Power Plants ». Les participants à l'atelier avaient, en tant qu'électriciens, constructeurs, chercheurs et autorités de sûreté une expérience de l'étude des facteurs humains et organisationnels dans les salles de commande des futures filières de centrales nucléaires et les salles de commande modifiées des centrales actuelles. Les principaux objectifs de l'atelier étaient d'identifier les problèmes humains et organisationnels que posent les nouvelles conceptions de salles de commande ainsi que leurs solutions, d'échanger des informations sur les approches et l'expérience acquise avec des confrères travaillant à l'étranger ou pour d'autres organisations, et d'identifier les domaines exigeant de nouveaux travaux de recherche et développement dans un cadre international.

2. Papin, B. (2004). Considering the human factor requirements in the design of advanced reactors CEA/DEN/CAD/DER/SESI/LCFR/NT DO 37.

Ce document présente les aspects qualitatifs des principaux aspects des facteurs humains à prendre en compte au cours des différentes phases de la conception, et plus particulièrement les premières phases de conception, afin d'optimiser la fiabilité humaine lors de l'exploitation des centrales. Il propose en outre une démarche d'évaluation de la conception en fonction des facteurs humains qui se fonde sur une évaluation de la complexité fonctionnelle et opérationnelle. À titre d'illustration, cette démarche sert à comparer les différentes caractéristiques des réacteurs à eau sous pression du point de vue de la pertinence des facteurs humains par rapport à la conception.

3. SAFIR2010 Working Group (2006), National nuclear power plant safety research 2007 – 2010, Proposal for SAFIR2010 Framework Plan.

Ce document présente un plan de recherche détaillé pour parvenir au niveau de sûreté nucléaire préconisé par le ministre finlandais du Commerce et de l'Industrie. Ce programme porte sur les facteurs humains et organisationnels, l'automatisation et les salles de commande, et l'étude probabiliste de sûreté qui sont considérés comme autant de sujets importants à prendre en compte dans les salles de commande avancées.

4. Dudenhoeffer, D.D., Holcomb, D.E., Hallbert, R.P., Wood, R.T., Bond, L.J., Miller, D.W., O'Hara, J.M., Quinn, E.L., Garcia, H.E., Arndt, S.A., Naser, J. (2007). Technology roadmap on instrumentation, control, and human-machine interface to support DOE advanced nuclear energy programs. INL/EXT-06-11862.

Ce document décrit une feuille de route pour la R-D établie par un groupe de spécialistes travaillant dans des laboratoires de recherche et de l'industrie pour l'*US Department of Energy*. Il est centré sur les problèmes liés à l'introduction de contrôles-commandes numériques dans les centrales nucléaires. Les interactions homme-machine y sont également abordées. Les recherches prévues devraient répondre aux besoins à long terme de recherches sur les centrales nucléaires avancées.

5. O'Hara, J.M., Higgins, J.C., Brown, W.S., Fink, R., Persensky, J., Lewis, P., Kramer, J. et Szabo, A (2008), Human factors considerations with respect to emerging technology in nuclear power plants, NUREG/CR-6947 accompagné d'un rapport technique de BNL contenant des informations supplémentaires sur les aspects traités dans le rapport technique NUREG. BNL No. 79947-2008.

Cette étude identifie les recherches sur le comportement humain qui peuvent être nécessaires pour l'examen de la mise en œuvre de nouvelles technologies dans les centrales nucléaires. Pour identifier les sujets de recherche, les auteurs ont évalué les évolutions et tendances actuelles dans l'industrie pour ce qui concerne les technologies des réacteurs, des contrôles-commandes, les techniques d'intégration homme-machine et les méthodes et outils de l'ingénierie des facteurs humains (IFH). Des experts travaillant chez des constructeurs, des électriciens et des établissements de recherche ont participé à cette étude. Sur 67 problèmes identifiés, 20 sujets de recherche ont été classés parmi les sujets prioritaires.

6. NEA/CSNI/R(2005)10, Safety of Modifications at Nuclear Power Plants.

Ce rapport résume les débats d'un atelier consacré au retour d'expérience des modifications apportées aux salles de commande de centrales nucléaires. Les conclusions de ce rapport se fondent sur les événements et incidents survenus dans le monde entier et sur des faiblesses observées lors du processus de modification. Le Groupe de travail sur l'expérience acquise en cours d'exploitation (WGOE) et le SEGHOFF ont discuté de la façon dont des modifications imparfaites des centrales nucléaires peuvent créer des problèmes de sûreté. Les principaux thèmes traités dans le rapport sont : les modifications mineures ou non identifiées pouvant avoir une incidence sur la sûreté et la prise en compte inadaptée de l'influence des facteurs humains lors des modifications. En conclusion, l'explication proposée des problèmes tient au fait que les effets possibles des modifications sur les facteurs humains n'ont pas été suffisamment évalués. Le rapport propose des solutions pour améliorer les modifications apportées aux centrales nucléaires.

7. NEA/CSNI/R(2004)17, Modifications at Nuclear Power Plants – Operating Experience, Safety Significance, and the Role of Human Factors and Organisation.

Le WGOE et le SEGHOFF se sont rencontrés pour partager leur expérience et discuter de la façon dont des modifications mineures peuvent créer des problèmes de sûreté et se répercuter sur les facteurs humains et organisationnels dans les centrales. Les thèmes centraux abordés dans ce rapport sont : les modifications dans les centrales nucléaires, l'expérience d'exploitation, les modifications mineures et les modifications non identifiées comme telles, les facteurs humains, la structuration du processus de modification et le contrôle exercé par les autorités de sûreté. Ce rapport contient des recommandations pour les travaux futurs.

8. NEA/CSNI/R(2002)8, Approaches for the Integration of Human Factors into the Upgrading and Refurbishment of Control Rooms.

Ce rapport décrit les résultats d'un atelier/réunion de spécialistes organisé pour identifier les facteurs humains qui interviennent dans les projets de modernisation, les exigences et spécifications nécessaires pour éviter les problèmes en la matière et les données à recueillir et analyser. Les problèmes rencontrés par les électriciens, les autorités de sûreté et les fournisseurs ont été débattus. L'état des connaissances sur les facteurs humains et les meilleures pratiques actuelles applicables à la rénovation et la mise à niveau des salles de commande ont été examinés et approfondis en groupes puis en réunions plénières afin d'élaborer des recommandations pour des travaux futurs. Les

discussions ont abouti à des recommandations dans cinq grands domaines : enseignements, méthodes et outils, implications réglementaires, philosophie de la salle de commande et équipes interdisciplinaires.

- 9. Halden – Sélection de sujets de recherche tirés de :**
HP-1233 Draft Proposal for 3-year period 2009-2011, Man, Technology, and Organisation; et
HWR-864 ; Nils T. Fordestrommen et Ann Britt Skjerve (2007). Advanced reactors control centre design and review – Potential research topics and research plan for 2007-2008.

Ces documents représentent les programmes de recherche proposés pour la période 2009-2011 dans le cadre du Projet du réacteur de Halden. Ils se fondent sur les contributions du personnel et de la direction du Projet de Halden, des participants au programme, du Groupe de Programme et du Conseil de Halden ainsi que sur les travaux en cours.

Les Éditions de l'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16
Imprimé en France.