

Sûreté nucléaire
NEA/CSNI/R(2008)12

ISBN 978-92-64-99071-5

Avis techniques du CSNI

No. 11

*Améliorer la maintenance des centrales nucléaires en
optimisant les performances humaines et organisationnelles*

© OCDE 2009
AEN N° 6154

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'OECE. 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. 11 – Better Nuclear Power Plant Maintenance: Improving Human and Organisational Performance

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@efcopies.com.

Photos de couverture : NEI, États-Unis.

AVANT-PROPOS

Le Groupe de travail sur les facteurs humains et organisationnels (WGHO) du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a pour mission d'améliorer les connaissances actuelles sur les performances humaines et organisationnelles et leur influence sur la sûreté nucléaire. Pour approfondir les connaissances sur ces performances durant la maintenance, un atelier international intitulé « *Better nuclear plant maintenance: improving human and organisational performance* » a été organisé en 2005 sous l'égide du WGHO.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
1. Introduction	7
2. Contexte	9
2.1 Facteurs humains et organisationnels en maintenance – Généralités	9
2.2 Facteurs humains et organisationnels en maintenance – Installations nucléaires	9
3. Définition des exigences en matière de maintenance et d’essais	13
4. Planification et exécution de la maintenance et des essais	15
4.1 Planification de la maintenance	15
4.2 Exécution de la maintenance	17
5. Évaluation	23
6. Autres facteurs ayant un impact sur la performance de la maintenance	25
7. Conclusions	29
Références	31

1. INTRODUCTION

Cet avis technique est le fruit du consensus des spécialistes des facteurs humains et organisationnels (FHO) des pays membres de l'AEN sur des pratiques et approches conseillées pour intégrer la prise en compte adéquate des FHO à la gestion, l'évaluation et la réglementation des programmes de maintenance des installations nucléaires. Il se fonde sur les conclusions d'un atelier organisé en 2005 par le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'AEN/OCDE et intitulé « Better nuclear plant maintenance: improving human and organisational performance » (améliorer les performances humaines et organisationnelles pour fiabiliser la maintenance des centrales nucléaires). Les modifications apportées de façon intentionnelle ou fortuite pendant les opérations de maintenance n'entrent pas dans le cadre de ce document et font l'objet d'un rapport distinct (CSIN, 2005). Le présent avis s'adresse aux autorités de sûreté nucléaire, aux exploitants et concepteurs de centrales nucléaires et aux instituts de recherche.

2. CONTEXTE

L'objectif de la maintenance est de prévenir les pannes des équipements (maintenance préventive) ou de réparer les équipements défectueux (maintenance corrective). La surveillance en exploitation et les essais périodiques visant à vérifier que les équipements fonctionneront en temps voulu sont également considérés comme des opérations de maintenance. D'importants travaux de recherche ont été effectués dans plusieurs secteurs industriels pour mieux comprendre l'impact des facteurs humains et organisationnels sur la maintenance.

2.1 Facteurs humains et organisationnels en maintenance – Généralités

C'est dans le cadre de l'effort global d'optimisation de la performance des interfaces homme-machine que la maintenance a acquis son importance actuelle. Plusieurs études ont été réalisées dans divers secteurs industriels pour comprendre les facteurs ayant une incidence sur la qualité du travail des opérateurs de maintenance. Il en ressort que « (...) le problème de l'erreur humaine en maintenance est urgent (...) » (Dhillon et Liu, 2006). En outre, on constate dans tous les secteurs étudiés qu'un grand nombre des défaillances se produisent sur des équipements sur lesquels on vient précisément de réaliser une intervention de maintenance, et qu'une part substantielle de ces défaillances a pour origine des facteurs humains et organisationnels (Dunn, 2004).

2.2 Facteurs humains et organisationnels en maintenance – Installations nucléaires

Jusqu'à récemment, les concepteurs et exploitants de centrales nucléaires et les autorités de sûreté nucléaire accordaient plus d'attention aux problèmes techniques et à l'exploitation qu'à la maintenance. Aujourd'hui, cependant, on comprend mieux que les erreurs durant la maintenance ou les essais périodiques contribuent de façon significative aux événements dans les centrales et que les événements déclenchés à la suite d'une opération de maintenance ont généralement pour origine une faiblesse de la performance humaine et organisationnelle (Reason et Hobbs, 2003 ; HSE, 2000). De plus, ces erreurs ne

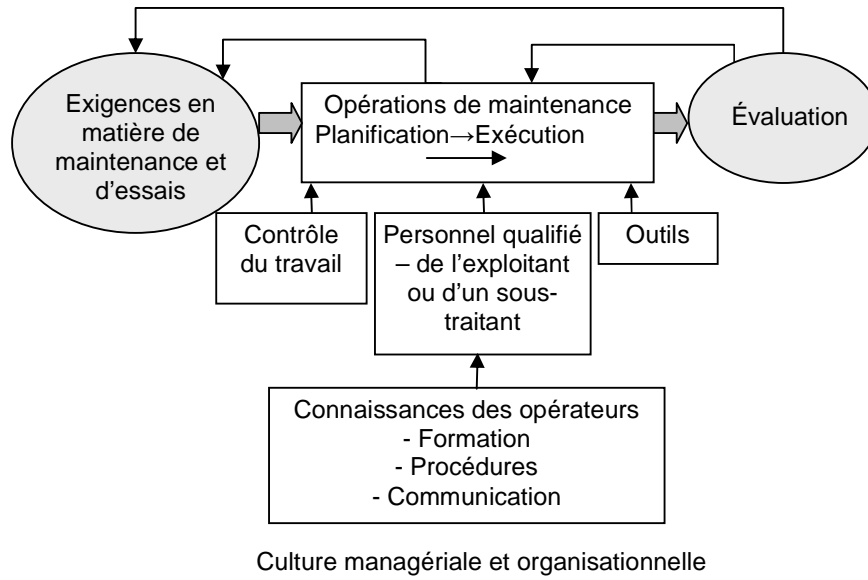
sont pas toujours mises en évidence par les essais post-maintenance et peuvent rester longtemps inaperçues jusqu'à ce que le système touché soit amené à fonctionner (Svenson et Salo, 2002).

L'examen des facteurs humains et organisationnels en maintenance a également pris de l'importance du fait de certaines évolutions du secteur nucléaire :

- Les pressions économiques qui pèsent sur les exploitants de centrales nucléaires les conduisent à réduire leurs effectifs, changer leurs structures organisationnelles, modifier les horaires de travail posté et sous-traiter une part plus importante de leurs opérations de maintenance (CSIN, 2004).
- Les exploitants de centrales nucléaires du monde entier doivent faire face au départ en retraite de personnels expérimentés, parmi lesquels des spécialistes de la maintenance.
- Le vieillissement des centrales et des équipements augmente le volume de maintenance.
- Les projets de prolongation de la durée de vie des centrales existantes et les nouveaux concepts de centrales sont une opportunité d'améliorer les interfaces homme-machine utilisées pour entretenir les équipements.

La figure 1 (voir page suivante) fait la synthèse des facteurs qui influent sur la performance de la maintenance, parmi lesquels on retrouve la définition des exigences en matière de maintenance et d'essais, la planification et l'exécution de la maintenance et l'évaluation post-maintenance. La suite de cet avis technique expose, pour chacun de ces facteurs, les problèmes humains et organisationnels auxquels sont actuellement confrontées les installations nucléaires.

Figure 1. Facteurs influant sur la performance de la maintenance



3. DÉFINITION DES EXIGENCES EN MATIÈRE DE MAINTENANCE ET D'ESSAIS

Les exigences en matière de maintenance et d'essais déterminent les résultats à obtenir ainsi que la planification et l'exécution de la maintenance. Il existe de nombreux critères à prendre en compte pour établir ces exigences. En particulier :

- Les contraintes techniques et les exigences liées à la sûreté d'exploitation, en particulier les spécifications des fabricants, déterminent dans une large mesure la nature et la fréquence des opérations de maintenance.
- Les évaluations des risques ou de la fiabilité d'une centrale, et notamment les études probabilistes de sûreté (EPS), permettent d'aligner les exigences en matière de maintenance et d'essais sur les risques. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour mieux intégrer aux EPS les risques liés aux erreurs humaines durant la maintenance et pour valider les probabilités d'erreur humaine en fonction des données collectées dans les centrales.
- Les spécifications réglementaires, ainsi que les normes internationales, continuent d'évoluer en fonction du retour d'expérience d'exploitation et peuvent avoir une incidence sur les exigences en matière de maintenance.
- Le vieillissement des équipements peut augmenter les besoins de maintenance programmée ou corrective. En outre, il peut rendre plus difficile l'approvisionnement en pièces de rechange de mêmes spécifications que les pièces à remplacer. Lors de la remise à niveau d'un équipement obsolète, il est important de tenir compte du comportement qu'auront les nouvelles pièces pendant l'exploitation.
- Sous la pression des forces du marché ou d'autres forces commerciales, les exploitants d'installations nucléaires peuvent être

amenés à abaisser le niveau de leurs exigences en matière de maintenance préventive si celles-ci sont perçues comme un surcoût.

- Les plans de prolongation de la durée de vie ou de démantèlement d'une centrale peuvent retarder certaines opérations de maintenance ou le remplacement de certains équipements.
- Le vieillissement de la main d'œuvre engendre des problèmes spécifiques de transfert et de préservation des connaissances au sein des organisations. Ces problèmes peuvent induire des besoins supplémentaires en termes d'élaboration de procédures et de formation.
- Les évaluations des opérations de maintenance ont également un impact sur la définition des exigences en matière de maintenance et d'essais. Les informations fournies par ces évaluations sont destinées à être exploitées lors de la planification et de l'exécution des futures opérations de maintenance.

4. PLANIFICATION ET EXÉCUTION DE LA MAINTENANCE ET DES ESSAIS

La planification et l'exécution de maintenance peuvent être subdivisées en un certain nombre de tâches. Ces tâches, ainsi que les principaux facteurs humains et organisationnels susceptibles d'influer sur leur résultat, sont présentées ci-après.

4.1 Planification de la maintenance

Afin d'éviter au maximum les risques d'erreur, il est impératif de planifier efficacement les opérations de maintenance. Les personnes responsables de cette planification doivent bien connaître l'installation et la nature des opérations à effectuer. Si elles sont directement basées dans la centrale, il sera d'autant plus simple de coordonner la planification de la maintenance avec les autres activités en cours. A partir d'une définition claire des exigences en matière de maintenance et d'essais et d'estimations réalistes des délais d'exécution requis, les exploitants des installations nucléaires peuvent s'assurer des points suivants :

- Conformité avec les spécifications techniques
- Planification et coordination suffisantes des opérations de maintenance
- Adéquation des ressources humaines (en termes de nombre comme de compétence)
- Réalisation d'essais post-maintenance pour contrôler la disponibilité opérationnelle des équipements

Il est également important que les services d'exploitation et de maintenance coopèrent dès l'étape de la planification de la maintenance, notamment par le biais d'échanges directs aux niveaux hiérarchiques appropriés. Par exemple, le service d'exploitation pourra transmettre des

informations aux responsables de la planification pour que les temps d'indisponibilité des équipements soient aussi brefs que possible.

Afin de faciliter la planification des interventions et de réduire les probabilités d'erreur, on peut intégrer des outils de planification de la maintenance au dispositif de gestion des travaux. Par exemple, l'organisation de réunions quotidiennes permet d'éviter les conflits entre travaux et de vérifier que les éventuelles modifications de calendrier sont dûment communiquées aux personnes concernées. Si des prestataires ou des sous-traitants participent aux travaux, ils doivent assister aux briefings avant intervention et aux réunions quotidiennes pour que tous les conflits potentiels entre travaux soient bien pris en compte. La répétition technique commentée des tâches complexes ou inhabituelles améliore la qualité des procédures de maintenance et l'estimation de la durée des tâches. Enfin, l'analyse des tâches critiques permet d'identifier les opérations les plus propices aux erreurs et de mettre en œuvre des stratégies de prévention de ces erreurs, comme l'organisation de contrôles indépendants ou de briefings approfondis.

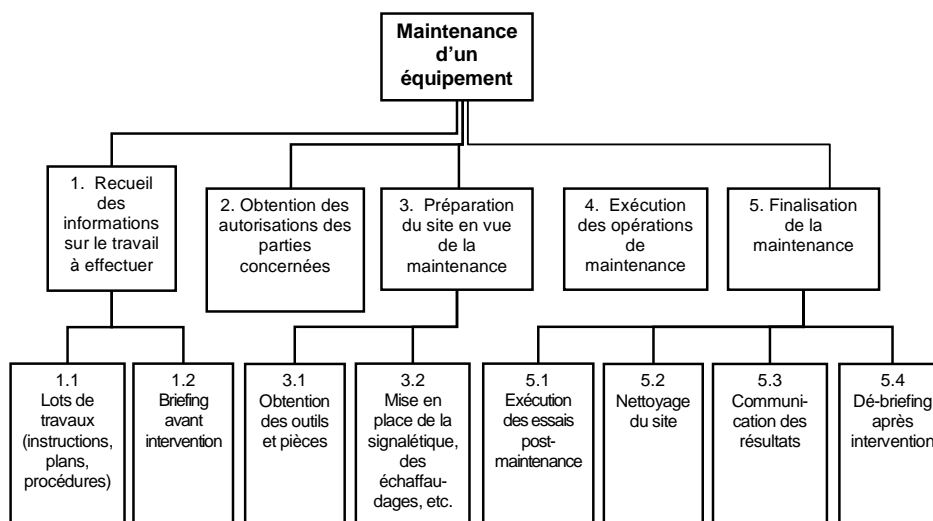
Les périodes d'arrêt d'une centrale sont des moments où la charge de travail des équipes de maintenance est particulièrement élevée, ce qui augmente les risques dus aux contraintes de temps, à la fatigue du personnel et au surcroît de responsabilités des superviseurs. La planification des temps d'arrêt doit donc tenir compte de tous ces facteurs. Si les opérateurs se sentent pressés par les délais, par exemple parce qu'ils ont l'impression que le réacteur doit redémarrer aussi vite que possible, ils risquent de brûler certaines étapes afin de travailler plus vite. Même si la direction de la centrale a rappelé la nécessité de travailler de façon sûre, ses actions peuvent transmettre des messages contradictoires au personnel. Pour réduire la pression des délais à respecter, il est impératif d'établir des calendriers réalistes, qui prévoient des temps suffisants pour l'exécution sûre de chaque opération de maintenance dans des conditions limitant les risques d'erreur.

Pour pallier le manque de personnel, les exploitants d'installations nucléaires de certains pays allongent les horaires de travail pendant les périodes d'arrêt, ce qui augmente la fatigue des opérateurs et donc réduit leur performance. Comme la multiplication des tâches à accomplir accroît d'autant les besoins de supervision, certaines centrales affectent des opérateurs à des postes de superviseur sans les avoir suffisamment formés à ces nouvelles responsabilités. Or, une supervision de mauvaise qualité, en particulier du personnel sous-traitant, peut être à l'origine d'erreurs supplémentaires. Compte tenu du volume de la maintenance pendant les périodes d'arrêt, il est impératif d'intégrer des stratégies de prévention des erreurs au processus de planification des travaux.

4.2 Exécution de la maintenance

La figure suivante présente l'organigramme générique des tâches à accomplir pour effectuer la maintenance préventive d'un équipement. L'organigramme applicable à la maintenance corrective est similaire, mais comprend également une tâche de diagnostic à une étape antérieure.

Figure 2. Organigramme des tâches d'une intervention de maintenance



Recueil des informations sur le travail à effectuer

Une fois les opérations de maintenance planifiées, la ou les personnes chargées de les exécuter doivent avoir accès aux informations requises, qui pourront être fournies sous la forme de lots de travaux contenant des instructions, des plans et des procédures. La tenue d'un briefing avant chaque opération de maintenance est une bonne pratique car elle permet de revenir sur les étapes critiques et les dangers potentiels. Des briefings avec instructions écrites pourront être organisés lorsque les travaux sont complexes ou inhabituels ou lorsque le risque d'erreur ou de blessure est élevé.

4.2.1 Obtention des autorisations des parties concernées

À cette étape, la ou les personnes chargées des travaux doivent obtenir des parties concernées (par exemple, le service d'exploitation) les autorisations

d'exécution requises. Lorsque ces autorisations sont délivrées par des services différents, il est impératif de veiller à la précision et à l'exhaustivité des échanges d'information. Les problèmes de communication entre opérateurs et superviseurs, entre le service de maintenance et le service d'exploitation ou entre les personnels d'un sous-traitant et de la centrale peuvent être à l'origine d'événements s'il subsiste des incompréhensions à propos des exigences liées au travail à effectuer. Pour éviter ces problèmes de communication, on pourra appliquer certaines stratégies, parmi lesquelles :

- Formation du personnel à des techniques de communication verbale permettant de limiter les risques d'incompréhension (communication sécurisée, alphabet phonétique).
- Définition des limites au-delà desquelles les instructions verbales sont insuffisantes et doivent être remplacées par des instructions écrites.
- Définition des objectifs et des informations à mentionner au cours des briefings avant intervention, comme les étapes critiques et le comportement attendu du système, et formation du personnel concernant ces informations.

4.2.2 Préparation du site en vue de la maintenance

La préparation d'un site en vue d'une opération de maintenance consiste à se procurer et organiser les outils et les pièces, mettre en place, le cas échéant, une signalétique avertissant des risques radiologiques et obtenir les échafaudages ou échelles requis. Certains des travaux (construction d'un échafaudage temporaire, par exemple) peuvent déjà avoir été réalisés. Si le site est bien préparé, les opérateurs peuvent mieux contrôler leur travail et la probabilité d'erreur est réduite.

Afin d'assurer la protection du personnel et des équipements et de contrôler l'état de tous les composants dans les zones de travaux, on établira des règles à suivre en matière d'isolement et de balisage. Un programme de formation aux procédures d'isolement et de balisage doit être mis en place et tous les employés concernés doivent être formés et suivre régulièrement des remises à niveau. Les systèmes et composants en panne doivent être identifiés par des étiquettes et des marquages appropriés, à la fois dans la centrale et dans la salle de commande. S'il est impossible de mettre hors service l'ensemble des équipements ou composants d'une zone d'isolement, les superviseurs doivent s'assurer que le superviseur des travaux et son équipe savent parfaitement lesquels des équipements sont encore en service et où ils sont situés. Les habilitations et les actions requises pour limiter les interactions ou contacts

involontaires doivent avoir été prises en compte avant le début des travaux de maintenance. L'identification correcte des matériels est également un facteur critique lorsqu'il existe un risque que l'équipe de maintenance intervienne sur le mauvais matériel.

4.2.3 Exécution des opérations de maintenance

C'est à cette étape que commencent réellement les travaux de maintenance.

En premier lieu, il est important de rappeler que les risques d'erreur humaine ne sont pas les mêmes selon que la maintenance est préventive ou corrective. Dans le cas de la première, les interventions sont généralement bien planifiées, il existe des procédures écrites pour corriger les défaillances et les dangers sont clairement identifiés, tandis que dans le cas de la seconde, les procédures peuvent être moins bien rédigées et les contraintes de production et de calendrier peuvent nécessiter de planifier les opérations dans des délais plus restreints. Pour réduire la fréquence des défaillances intempestives qui requièrent une maintenance corrective, on appliquera des procédures d'évaluation, des programmes d'inspection et un programme de maintenance préventive. Et pour limiter les risques d'erreur en cas de maintenance corrective, on veillera à disposer de procédures préalablement approuvées et d'un processus d'autorisation clairement défini.

Les opérations de maintenance doivent se faire selon des procédures et des instructions de travail préalablement établies. Ces procédures doivent être précises sur le plan technique et rédigées dans un style privilégiant la facilité d'utilisation (Wieringa, Moore et Barnes, 1998). On vérifiera cette facilité d'utilisation en effectuant des opérations de contrôle et de validation, et notamment la répétition technique commentée de chaque étape de la procédure afin de vérifier que l'ordre des étapes est cohérent avec l'implantation des équipements dans la centrale. On veillera également à ce que les procédures signalent les étapes ou actions critiques qui doivent déclencher un événement ou introduire une condition d'erreur latente pendant la maintenance, afin de prévoir des mécanismes de protection appropriés (par exemple, contrôle indépendant). L'une des méthodes les plus récentes consiste à joindre des photographies des équipements aux procédures, ordres de travail et briefings avant intervention dans le but de clarifier les tâches à exécuter. Concernant la rédaction des procédures, il n'existe toujours pas de directive claire quant à la façon d'obtenir le meilleur compromis possible entre exhaustivité et concision des consignes. La tendance semble être d'ajouter des informations à mesure que les problèmes sont identifiés, ce qui peut rendre les procédures de plus en plus difficiles à utiliser.

S'il est impératif de développer et d'entretenir une culture du respect des procédures dans les services de maintenance, il convient également d'établir le juste équilibre entre obéissance aux procédures et attitude de questionnement. Les opérateurs doivent parfaitement connaître les systèmes sur lesquels ils interviennent ainsi que la façon dont leur travail peut influencer sur d'autres systèmes de la centrale, de manière à éviter au maximum les situations propices aux erreurs. De plus, les objectifs communiqués par la direction doivent être suffisamment clairs pour que les opérateurs sachent quoi faire lorsqu'il leur est impossible de respecter une procédure à la lettre.

À l'époque où les installations nucléaires les plus anciennes ont été conçues, la facilité de la maintenance n'était pas un critère prioritaire. En conséquence, les opérateurs de maintenance sont parfois confrontés à des problèmes d'accessibilité, des environnements de travail inadaptés ou des situations nécessitant des efforts physiques importants. Certaines tâches sont exécutées dans des zones dont les niveaux élevés de bruit ou de rayonnements ionisants imposent aux opérateurs de porter des équipements de protection individuelle (EPI), par exemple des combinaisons en plastique. Ces EPI entravent les mouvements et les perceptions, rendent plus difficile le suivi des procédures étape par étape, et empêchent la communication verbale. Concernant ce dernier point, des casques sans fil peuvent être utilisés avec les combinaisons en plastique dans les environnements très bruyants ou à niveaux élevés de rayonnements ionisants. Par ailleurs, les opérateurs de maintenance peuvent être plus exposés aux dangers conventionnels tels que les chutes. Une interface homme-machine conçue de manière inefficace pour les interventions de maintenance accroît la difficulté des tâches à accomplir, ce qui peut augmenter le temps de travail requis, les erreurs et les coûts.

Dans les centrales existantes, certaines mises en conformité peuvent être réalisées pour réduire les risques d'erreur durant la maintenance. On peut par exemple améliorer le marquage et l'éclairage des équipements, ajouter des plateformes pour rendre certains matériels plus accessibles, ou s'équiper d'outils plus ergonomiques. Les remplacements d'équipements doivent être des opportunités de simplifier la maintenance. De plus, on peut faire appliquer des consignes de nettoyage et d'entretien pour encourager les employés à ranger systématiquement leur plan de travail dans le but de limiter les risques d'erreur et de confusion. Une fois le niveau de propreté et de rangement satisfaisant, on utilisera ce niveau comme indicateur pour identifier les problèmes émergents (concernant le moral des employés ou le degré de surveillance exercé par la hiérarchie, par exemple).

Comme certaines interventions de maintenance nécessitent le travail successif de plusieurs équipes, il est important que les opérateurs sachent

quelles informations transmettre aux membres de l'équipe suivante. Par exemple, ils doivent impérativement signaler l'état d'avancement des travaux, ainsi que les éventuels changements d'objectifs ou écarts par rapport au programme de travail initialement prévu. Les exploitants d'installations nucléaires veilleront à mettre en place une procédure garantissant la transmission correcte des informations entre opérateurs de maintenance au moment des changements d'équipe.

4.2.4 Finalisation de la maintenance

À la fin d'une intervention de maintenance, la zone et les équipements doivent être remis dans l'état qui convient. Des essais post-maintenance doivent être effectués pour vérifier que le système ou composant fonctionne comme prévu. Cependant, il est important que ces essais ne se substituent pas à une planification et une exécution correctes des travaux. On veillera à ce que les programmes des essais post-maintenance prévoient des délais suffisants pour la détection des erreurs éventuelles. Par exemple, on fera tourner un équipement jusqu'à ce que la pression ou la température aient atteints les valeurs requises.

Il arrive que les travaux effectivement réalisés par une équipe de maintenance diffèrent des travaux programmés parce que les conditions sur le terrain n'étaient pas les mêmes que prévu. Dans ce cas, les modifications du programme de travail initial doivent être décidées conformément à une procédure approuvée. Il conviendra également de transmettre les informations concernant ces modifications et leur mise en œuvre aux responsables de la planification afin qu'ils les intègrent aux futurs programmes de maintenance. Les débriefings après intervention sont un bon moyen d'identifier les points forts et les insuffisances de la procédure de planification de la maintenance pour améliorer la planification des futures interventions.

Si les essais post-maintenance doivent être effectués par le personnel d'exploitation, il est impératif que les opérateurs de maintenance participent aux essais ou qu'ils appliquent une procédure visant à transférer le projet au service d'exploitation en l'informant des éventuelles modifications du programme de travail. De cette façon, les changements testés seront les changements réellement apportés.

5. ÉVALUATION

Pour évaluer la performance de la maintenance, on utilise des outils tels que les auto-évaluations, les évaluations par des personnes indépendantes, les évaluations croisées et les observations sur le terrain. Les inspections réglementaires constituent un contrôle externe du système de gestion de la sûreté d'une centrale nucléaire. Le signalement des événements déclenchés par des interventions de maintenance et l'analyse de ces événements sont un moyen efficace de renforcer la sûreté. Les opérateurs de maintenance doivent être encouragés à signaler les incidents évités de justesse et les événements mineurs car ces informations sont une opportunité d'approfondir les connaissances et d'identifier les tendances émergentes en matière de performance. Les responsables de l'étude des causes premières doivent examiner les facteurs humains et organisationnels au cours de leurs enquêtes.

Les indicateurs de performance peuvent être des outils de surveillance très utiles. Des initiatives actuellement en cours dans plusieurs pays ont pour objectif de développer des indicateurs de performance valides, fiables et sensibles aux variations des facteurs humains et organisationnels mis en jeu durant la maintenance. Néanmoins, il convient de ne pas prendre de décisions en fonction de ces seuls indicateurs, mais plutôt d'utiliser ces indicateurs en association avec d'autres informations (CNRA, 2005). Les indicateurs utilisés par les exploitants de centrales nucléaires et les autorités de sûreté nucléaire sont notamment les suivants :

- Journaux des interventions de maintenance, des modifications apportées à la centrale ou des mises à jour des procédures de maintenance
- Taux de défaillance des équipements et temps d'indisponibilité des équipements de sûreté
- Reprises d'une intervention de maintenance mal exécutée
- Horaires de travail / charge de travail pendant les périodes d'arrêt

- Présence d'un superviseur sur le terrain
- Planification tardive des tâches à réaliser pendant les arrêts ; ajout de tâches après la date butoir
- Problèmes de calendrier pour les interventions de maintenance en période d'exploitation et en période d'arrêt

Le développement et la hiérarchisation par ordre de priorité des actions correctives nécessitent d'intégrer des données de performance issues de sources très diverses. En matière de surveillance de la performance d'une centrale, l'un des défis à relever est la surcharge de données. En intégrant les informations fournies par différents outils de mesure de la performance, il est possible d'analyser la pertinence des facteurs humains et organisationnels d'un programme de maintenance. Les connaissances acquises grâce aux outils d'évaluation doivent être transmises à l'ensemble de l'organisation afin de créer une culture de l'apprentissage continu, partagée par tous les employés. En outre, ces connaissances constituent un excellent retour d'information exploitable lors de la définition des exigences en matière de maintenance et d'essais et lors de la planification et l'exécution de la maintenance (voir figure 1). Grâce aux évaluations, la direction de la centrale peut mieux comprendre les points forts et les insuffisances des pratiques appliquées et des comportements observés durant les interventions de maintenance.

6. AUTRES FACTEURS AYANT UN IMPACT SUR LA PERFORMANCE DE LA MAINTENANCE

Les facteurs humains et organisationnels suivants sont d'autres paramètres susceptibles d'avoir une incidence sur la planification et l'exécution de la maintenance.

6.1 Culture managériale et organisationnelle

L'arrière-plan de la figure 1 représente la culture managériale et organisationnelle du site et du service de maintenance. Cette culture est omniprésente et peut avoir un impact sur le succès du programme de maintenance. Des divergences peuvent exister entre les cultures du personnel d'exploitation et du personnel de maintenance, ou entre celles des sous-traitants et de la centrale. Les interventions de maintenance sont parfois considérées comme des tâches moins prestigieuses ou moins importantes pour la sûreté que les activités d'exploitation et, de ce fait, donnent lieu à des formations, des procédures et une supervision de qualité inférieure. Les différences en termes de risque perçu et de support organisationnel peuvent avoir des répercussions négatives sur la culture de la sûreté des services de maintenance. Consciente des besoins spécifiques des services de maintenance, l'AIEA a publié un rapport décrivant les bonnes pratiques applicables pour renforcer la culture de la sûreté en maintenance (AIEA, 2005). Les exploitants et les autorités de sûreté doivent veiller en permanence à sensibiliser le personnel à l'importance de la maintenance et de sa contribution à la sûreté d'une centrale.

6.2 Disponibilité d'un personnel suffisamment qualifié

Partout dans le monde, les exploitants et les autorités de sûreté sont confrontés au problème du départ en retraite du personnel expérimenté. Le transfert des connaissances tacites des employés expérimentés vers les plus jeunes doit être planifié et géré. En particulier, il convient d'accorder aux opérateurs expérimentés des services de maintenance les incitations et le temps appropriés leur permettant d'agir en qualité de modèles et de mentors auprès de leurs collègues les plus jeunes (Kuronen et Rintala, 2005).

6.3 Recours accru à la sous-traitance

Les interventions de maintenance sont de plus en plus souvent confiées à des sous-traitants, pour compenser les baisses d'effectifs dues aux départs en retraite ou parce que le personnel de la centrale est insuffisant pendant une période d'arrêt ou à l'occasion d'un projet de prolongation de sa durée de vie. Que les interventions soient effectuées par le personnel de la centrale ou par celui d'un sous-traitant, les exploitants titulaires d'autorisation restent les responsables ultimes de la sûreté. Ils doivent s'assurer que les sous-traitants travaillent dans le respect des règles et procédures de la centrale. Toute initiative visant à améliorer les performances humaines doit prendre en compte les sous-traitants, de sorte que tous les employés, de la centrale comme des sous-traitants, appliquent des pratiques de travail similaires.

6.4 Formation

La stratégie de formation des opérateurs de maintenance doit être méthodique et validée et comprendre une analyse des besoins en fonction desquels les programmes de formation seront conçus, développés, appliqués et évalués. De nombreuses centrales nucléaires ont mis en place des initiatives de formation du personnel de maintenance aux facteurs qui influent sur les performances humaines. Certaines forment le personnel à l'emploi d'outils de prévention des erreurs humains, tels que les contrôles croisés, la communication sécurisée, les contrôles indépendants, les briefings avant intervention et débriefings après intervention et les revues systématiques du positionnement des organes d'isolement pour vérifier la configuration correcte des équipements. Certaines centrales ont créé des zones de travail de simulation à l'intérieur desquelles il est possible de tester les tâches et les outils de prévention des erreurs dans un environnement sans danger.

6.5 Conception de nouveaux réacteurs

Avec l'apparition de nouveaux modèles de réacteurs, les concepteurs de centrales, les exploitants titulaires d'autorisation et les autorités de sûreté doivent prêter une attention accrue à la question de la facilité de maintenance des équipements. Le retour d'expérience d'exploitation des installations existantes et les données de conception des centrales sont une source d'information utile pour le perfectionnement des futurs modèles de réacteurs. Les spécialistes des facteurs humains qui participent à la conception de nouvelles centrales doivent étudier les tâches de maintenance et les zones de travail des centrales existantes et identifier les points à améliorer. Il pourra s'avérer utile d'interviewer les opérateurs de maintenance au sujet de leurs inquiétudes concernant leur travail pour définir les impératifs de conception des

nouveaux réacteurs. Les stratégies réglementaires suivies pour délivrer les autorisations d'exploitation des nouveaux réacteurs doivent également tenir compte des facteurs humains qui entrent en jeu pendant la maintenance.

6.6 Application de nouvelles technologies

Les nouvelles technologies ont le potentiel de faciliter la maintenance et d'accroître sa fiabilité et sa performance. Lors de l'essai d'une nouvelle technologie, on veillera à bien tenir compte du contexte de son application et des besoins des utilisateurs finaux. Les besoins spécifiques des opérateurs plus âgés, qui tendent à être plus méfiants que les plus jeunes vis-à-vis des technologies électroniques, doivent également être envisagés. Les nouvelles pratiques, méthodes et outils doivent être présentés d'une façon qui permette au personnel de maintenance de bien comprendre l'intérêt de ces innovations en termes de fonctionnement et de sûreté (Oedewald et Reiman, 2005). Les nouvelles technologies appliquées sont notamment les suivantes :

- Dans certains pays, les opérateurs de maintenance consultent les procédures à respecter sur des assistants numériques personnels ou des ordinateurs de poche. La facilité d'utilisation de ces systèmes électroniques doit donc être optimisée pour garantir le succès des interventions.
- Les sessions de formation et de planification de la maintenance font de plus en plus appel à la simulation ou à la réalité virtuelle. La réalité virtuelle peut être très utile pour former les nouveaux employés ou pour recueillir des informations à propos de zones inaccessibles pendant l'exploitation normale de la centrale (Nystad, 2005). Elle pourrait également servir lors de la conception des nouveaux réacteurs et des tests de leur facilité de maintenance.

Cependant, parce qu'ils sont souvent plus complexes et contiennent un nombre plus important de composants électroniques, les nouveaux systèmes présentent aussi le risque de rendre plus difficile la détection et la correction de leurs défaillances ainsi que leur entretien.

7. CONCLUSIONS

Les données dont on dispose permettent d'affirmer que beaucoup d'événements observés dans les centrales ont pour origine des erreurs humaines survenues pendant une intervention de maintenance ou un essai périodique. Les titulaires d'autorisation doivent comprendre où et pourquoi ces erreurs peuvent se produire et concevoir des programmes de maintenance qui limitent au maximum les probabilités d'erreurs susceptibles de porter atteinte à la sûreté nucléaire. C'est pourquoi, ils doivent reconnaître la nécessité de faire participer des spécialistes des facteurs humains aux processus d'évaluation et de spécification des interventions de maintenance. Dans le cas contraire, les autorités de sûreté nucléaire doivent être prêtes à remettre en question les autorisations délivrées.

Cet avis définit un cadre de prise en compte systématique des facteurs humains et organisationnels ayant un impact sur la fiabilité de la maintenance. Il peut être appliqué à l'étude des facteurs qui influent sur les performances humaines au cours du processus de maintenance. L'une des étapes les plus importantes pour garantir l'efficacité et la fiabilité de la maintenance est le développement d'un processus de planification efficace. Les étapes ou actions critiques qui pourraient directement déclencher un événement ou introduire une condition d'erreur latente doivent être identifiés, de manière à ce que des stratégies appropriées de protection et de prévention des erreurs puissent être intégrées au processus de planification. Le programme de maintenance doit tenir compte des interactions entre les tâches de maintenance et les autres activités en cours dans la centrale, qui pourraient influencer sur, ou être modifiées par, le travail des opérateurs de maintenance. Pour garantir la transmission correcte d'informations entre les équipes, individus ou groupes de travail et ainsi éviter tout risque d'incompréhension qui pourrait entraîner des erreurs, il est impératif de mettre en place des processus efficaces de communication verbale et écrite. Ces processus doivent être formalisés et non laissés à la libre appréciation du personnel, afin d'empêcher l'apparition de lacunes et d'incohérences. Par ailleurs, il convient de prendre des dispositions permettant de vérifier que les opérateurs de maintenance comprennent les tâches à accomplir et leurs implications pour la sûreté nucléaire et d'assurer le contrôle

et la supervision appropriés des activités de maintenance. Ce point peut être d'une importance capitale lorsque des sous-traitants moins familiers des pratiques et des attentes de l'exploitant doivent intervenir sur le site.

Afin d'appuyer au mieux les opérateurs de maintenance, les procédures de maintenance doivent être techniquement exactes et adaptées au contexte dans lequel elles seront appliquées. Il existe un certain nombre de directives spécifiant la façon de rédiger les procédures. Les exploitants titulaires d'autorisation doivent vérifier que les auteurs des procédures maîtrisent et appliquent suffisamment ces directives. Les outils tels que les briefings avant intervention et débriefings après intervention, la communication sécurisée, les contrôles croisés et les contrôles indépendants sont des mesures efficaces pour identifier et limiter les erreurs en maintenance. Cependant, afin de ne pas diluer leur efficacité, il convient de les utiliser intelligemment en accordant la priorité aux activités qui présentent un risque pour la sûreté nucléaire. Enfin, les calendriers d'arrêt des centrales doivent prévoir des délais suffisants pour que les tâches de maintenance puissent être exécutées de façon sûre et avec le moins de risque d'erreur possible.

L'intégration des données fournies par les outils d'évaluation, par exemple des situations propices aux erreurs ou de l'historique de la maintenance, permet d'obtenir de précieuses informations sur la performance de la maintenance. Les exploitants titulaires d'autorisation doivent tenir compte de tous les retours d'expérience d'exploitation, qu'ils aient été obtenus à l'échelle de l'entreprise ou à l'échelle du secteur industriel, et mettre en œuvre les enseignements tirés de ces retours d'expérience.

Les nouvelles installations nucléaires doivent être conçues dans le but de faciliter les opérations de maintenance. En d'autres termes, les concepteurs de centrales doivent considérer l'ensemble des facteurs tels que les accès à la centrale, l'éclairage, le chauffage, l'outillage, etc. avant de finaliser leurs décisions. Les facteurs humains doivent être pris en compte non seulement à l'étape de l'évaluation et de la spécification de la maintenance, mais aussi à celle de la conception des installations et équipements qui nécessiteront ces tâches de maintenance. De même, lors de travaux de rénovation, le processus de conception mis en œuvre doit prévoir l'étude des opportunités de simplification des opérations de maintenance.

RÉFÉRENCES

Comité sur la sûreté des installations nucléaires (2004), Gestion et réglementation du changement organisationnel dans les installations nucléaires. Avis technique du CSIN n° 5.

Comité sur la sûreté des installations nucléaires (2005), *Safety of Modifications at Nuclear Power Plants*, NEA/CSNI/R(2005)10.

Comité sur la sûreté des installations nucléaires (2005), *Regulatory Inspection Practices to Bring About Compliance*, CNRA R(2005)1.

Dhillon, B.S. et Liu, Y. (2006), *Human error in maintenance: a review*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 12, n° 1, pp. 21-36.

Dunn S. (2004), *Managing human error in maintenance*, Maintenance Journal, Engineering Information Transfer Pty Ltd ; 17(3): pp. 12-17.

Health and Safety Executive (2000), *Improving Maintenance – A guide to reducing human error*.

Agence internationale de l'énergie atomique (2005), *Safety Culture in the Maintenance of Nuclear Power Plants*. Collection Rapports de sûreté, n° 42.

Kuronen, T. et Rintala, N. (2005), *The prerequisites for successful knowledge sharing in nuclear power plants*, actes de l'atelier « Better Nuclear Plant Maintenance, Improving Human and Organisational Performance Proceedings », 3-5 octobre 2005.

Nystad, E. (2005), *Improved human performance in maintenance by using virtual reality tools: experimental results and future applications*, actes de l'atelier « Better Nuclear Plant Maintenance, Improving Human and Organisational Performance Proceedings », 3-5 octobre 2005.

Oedewald, P. et Reiman, T. (2005), *Enhancing maintenance personnel's job motivation and organisational effectiveness*, actes de l'atelier « Better Nuclear Plant Maintenance, Improving Human and Organisational Performance Proceedings », 3-5 octobre 2005.

Reason, J. et Hobbs, A. (2003), *Managing Maintenance Error – A Practical Guide*. Ashgate Publishing Company : Hampshire.

Svenson, O. et Salo, I. (2002), Latency and Mode of Error Detection as Reflected in Swedish Licensee Event Reports. SKI Report 02:8.

Wieringa, D., Moore, C. et Barnes, V. (1998), *Procedure Writing – Principles and Practices*. Deuxième édition. Columbus: Battelle Press.