



Optimiser la maintenance

Mots-clés :

 Maintenance,
 Fiabilité,
 Coûts,
 Optimisation.

 par Alain DUBREUIL-CHAMBARDEL *, André LANNOY **, François PERCHET *
 *EDF-EPN, ** EDF-DER

Enjeu essentiel pour les entreprises, l'optimisation de la maintenance permet de gagner simultanément en compétitivité par la réduction des défaillances critiques conduisant à des pertes de production, par la réduction de la maintenance surabondante et en sécurité par une meilleure surveillance des matériels les plus critiques pour la sûreté grâce à une meilleure exploitation du retour d'expérience.

1. L'IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE POUR EDF

Les coûts de maintenance des centrales nucléaires interviennent pour une part significative dans le prix du kWh [1]. La maintenance doit d'une part garantir une production sûre, d'autre part atteindre les meilleures performances possibles en maîtrisant une bonne disponibilité des installations.

60 % des dépenses d'exploitation sont occasionnées par la maintenance, ce qui représente globalement une dizaine de milliards de francs pour l'ensemble du parc nucléaire. 30 % environ de ces dépenses de maintenance sont imputées à la maintenance corrective, destinée à remettre un équipement en bon fonctionnement après défaillance et 70 % à la maintenance préventive, destinée à éviter les défaillances et à réduire la probabilité de défaillance de l'entité matérielle.

Optimiser la maintenance du parc nucléaire est donc un enjeu essentiel pour EDF avec l'objectif de maîtriser l'évolution des coûts de la maintenance tout en maintenant, voire en améliorant, les objectifs de sûreté et de disponibilité.

La méthode OMF d'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité est au cœur de la recherche d'une compétitivité accrue, associée au maintien d'un niveau de sûreté irréprochable. Elle permet de choisir la politique de maintenance la mieux adaptée à l'équipement et d'optimiser les programmes de maintenance préventive en prenant en compte les contraintes. Elle est brièvement rappelée ci-après.

L'ESSENTIEL

- Optimiser les programmes et volumes de maintenance est un enjeu essentiel pour les entreprises.
- L'analyse OMF d'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité permet de choisir la meilleure politique de maintenance, d'optimiser les programmes de maintenance préventive en prenant en compte le retour d'expérience des équipements.
- Une telle analyse ne peut être menée sans l'exploitation d'un retour d'expérience technique intégré dans le système d'information de l'entreprise.

SYNOPSIS

- Optimizing maintenance programmes and volumes is an essential stake for the industry.
- RCM analysis (Reliability Centered Maintenance) helps for choosing the best possible maintenance programmes, for optimizing preventive maintenance programmes, taking into account the equipment operating experience.
- This analysis cannot be performed without analyzing the operating experience which should be integrated into the overall company information system.

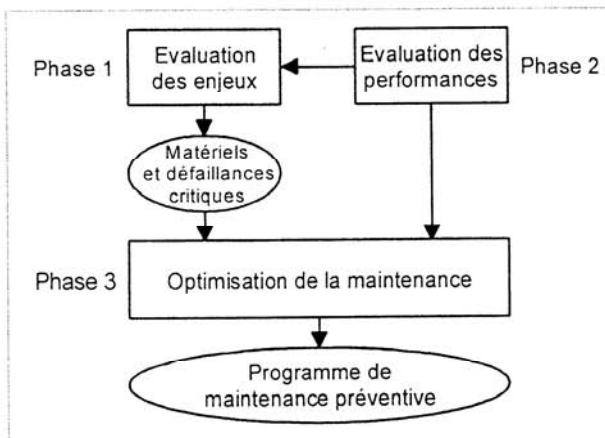
On verra en particulier que la hiérarchisation des équipements repose sur une notion de risque (le couple probabilité de la défaillance - gravité des conséquences) et que les EPS (les Evaluations Probabilistes de la Sûreté) sont des outils particulièrement utiles pour sélectionner et hiérarchiser les composants critiques. En outre, on notera qu'on ne peut évaluer les matériels et leurs politiques de maintenance, sans une collecte d'informations détaillées des défaillances et des opérations de maintenance, dans le cadre d'un retour d'expérience qu'il convient d'intégrer au système d'information de l'entreprise.

2. LA MÉTHODE OMF

Cette méthode a vu le jour dans l'aéronautique civile et militaire américaine des années 1980, sous le nom de RCM

(Reliability Centered Maintenance) dans le but de maîtriser les coûts d'exploitation des avions dans le contexte de plus en plus concurrentiel de cette industrie. En 1989, un projet de recherche [2, 3] a été engagé par EDF afin de développer la méthode, quelques outils supports (logiciels d'analyse de retour d'expérience et station de travail OMF) et l'appliquer, à titre de validation, à deux systèmes pilotes, le système thermohydraulique RCV de contrôle volumétrique et chimique des centrales REP, système qui permet le contrôle du volume et le conditionnement de l'eau du circuit primaire, et les groupes diesels de secours. La méthode OMF ayant été ainsi développée et ayant montré son applicabilité, il a été décidé de la généraliser aux systèmes les plus importants des centrales nucléaires REP des paliers 900 MW et 1300 MW [4]. Cette méthode initialement mise en œuvre pour la maintenance des composants actifs (pompes, robinets, ...) est maintenant étendue aux structures passives, dont la particularité est, en l'absence d'un vieillissement anormal, un taux de défaillance très bas [4].

La figure 1 présente la démarche et sa décomposition en trois grandes phases [4].



1. Les grandes phases de la méthode OMF.

2.1 Phase 1 - L'évaluation des enjeux

Cette phase permet de hiérarchiser les matériels dans leur contribution aux enjeux de sûreté, de disponibilité et de coûts de maintenance.

On juge en particulier la criticité d'un mode de défaillance mesurée par le couple gravité de ses effets-fréquence observée ou potentielle d'occurrence.

Une analyse fonctionnelle réalisée au niveau du système étudié permet d'identifier les fonctions du système et les matériels qui les remplissent [6]. Cette étape est prolongée par la recherche des modes et causes de défaillance les plus significatifs des matériels à l'aide de l'AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) [6]. Le retour d'expérience, son analyse et celle des programmes de maintenance déjà appliqués permettent d'estimer la fréquence d'occurrence.

Pour chaque matériel significatif, grâce à l'AMDEC (technique d'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), on identifie les modes de défaillance critiques et on caractérise chaque défaillance par le niveau matériel sur laquelle elle se produit, jusqu'au niveau du composant échangeable, par ses causes de défaillance (ou effets mesurables) et par la criticité, sûreté ou disponibilité ou coûts, évaluée de préférence à partir du retour d'expérience mais aussi à partir de dires d'experts. Un exemple d'AMDEC réalisée sur le système des diesels de secours des paliers 1300 MW est donné sur la figure 2.

Pour les systèmes importants pour la sûreté, les Evaluations Probabilistes de la Sûreté sont prises en compte. Une EPS consiste à identifier de façon la plus exhaustive possible tous les scénarios pouvant conduire à la fusion du cœur du réacteur et à estimer la probabilité d'occurrence. L'EPS utilise des outils de la sûreté de fonctionnement comme les arbres d'événements et les arbres de défaillances. L'EPS permet de hiérarchiser l'importance des modes de défaillance dans leur contribution aux scénarios accidentels, de mettre en évidence les matériels les plus critiques, ceux qui contribuent le plus à l'enjeu de la sûreté.

Deux indicateurs de sensibilité issus des EPS, ou facteurs d'importance, traduisent de manière pratique les seuils de criticité des matériels vis-à-vis de la sûreté :

- le Facteur FAR d'Augmentation du Risque : on suppose le matériel considéré indisponible chaque fois qu'il est requis, durant une année, et on évalue le nouveau risque global de fusion du cœur au niveau du réacteur ; ce facteur permet d'identifier quels sont les matériels dont la fonction est réellement importante vis-à-vis de la prévention du risque de fusion de cœur et donc les matériels pour lesquels on doit s'assurer de leur disponibilité;

- le Facteur FDR de Diminution du Risque : c'est une approche complémentaire du facteur précédent. On suppose que le matériel étudié est parfaitement fiable et remplit totalement sa mission chaque fois qu'il est requis ; un nouveau risque global de fusion du cœur peut ainsi être estimé ; le facteur permet d'identifier les matériels dont la défaillance contribue de manière importante au risque de fusion de cœur et pour lesquels une fiabilisation entraînera un gain sensible en sûreté.

Cette démarche "probabiliste" complète et enrichit l'analyse exhaustive des rôles des matériels étudiés et des conséquences de leurs défaillances prises une à une (initiation d'incidents ou d'accidents, respect des spécifications techniques d'exploitation, classement de sûreté).

2.2 Phase 2 - L'évaluation des performances

Le retour d'expérience joue un rôle central dans la méthode OMF. On voit qu'on ne peut pas engager une telle démarche sans retour d'expérience, comme le montre la figure 3.

La recherche des matériels critiques, puis des défaillances significatives (phase 1), la sélection des tâches

SYSTEME ETUDIE : LHP - LHQ 1300						GF : Groupe diesel motoalternateur 001GE					
EM : SET : Système d'injection						ET associé : Moteur diesel					
Mode de défaillance de l'ET associé : Arrêt intempestif						Repère fonctionnel associé : 001MO					
Effets sur le GF : Arrêt intempestif						Evidance du MD de l'ET associé : Evident					
						Gravité du MD du GF : GSA/GS1/GD/GM					
						Criticité du MD de l'ET : CS/EPS/CM					
Période d'étude du REX : 1988 - 1994			Echantillon étudié : -P4 - P'4			Nbre de tranches concernées : 20			Nbre de matériels concernés : 40		
Causes du mode de défaillance de l'ET		Moyens de détection de la défaillance	Nombre de situations observées (REX)				Moyens de détection de la dégradation	Caractéristiques du mode de défaillance de l'ET		Observations	
Composant	Effet mesurable		défaillance		dégradation			Fréquence potentielle	Indicateur de Criticité		
			L	N	L	N					
Corps de pompe d'injection	-Grippage -Usure					3 1	-Essai -Entretien				
Injecteur	-Usure -Corrosion -Déréglae -Desserrage	-Essai		1		3 1 2	-Essai -Entretien -Essai				
Joint	-Maintenabilité -Perte carac. joints -Usure	-Essai				1 3 1 1	-Essai -Essai -Mesure locale -Essai				
Tuyauterie de décharge	-Desserrage -Perçement	-Essai		1		1 1	-Essai -Sensoriel				
Piston de pompe d'injection	-Blocage -Grippage					1 1	-Essai -Essai				
Réglae de pompe d'injection	-Maintenabilité -Mauvais réglage					1 1	-Entretien -Essai				

2. Phase 1 - Evaluation des enjeux - AMDEC réalisée sur le système des diesels de secours : système d'injection du moteur diesel.

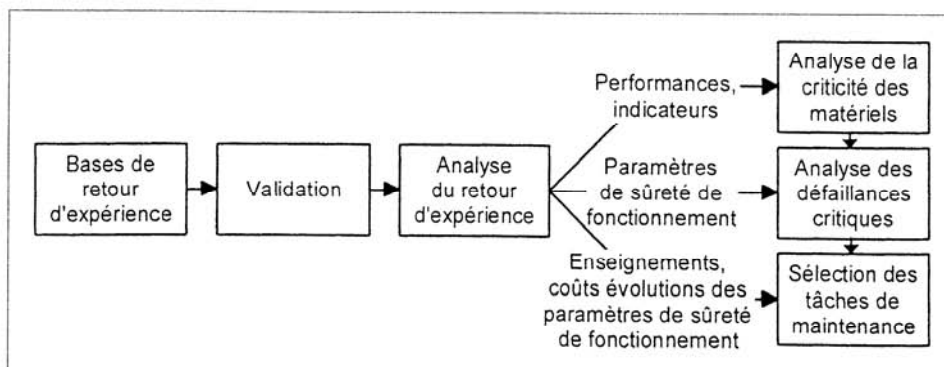
de maintenance (phase 3) nécessitent une connaissance approfondie des mécanismes de dégradation conduisant éventuellement aux défaillances. Pour ce faire on exploite les données archivées dans les différentes bases de données nationales et locales du retour d'expérience technique (Système de Recueil de Données de Fiabilité, base historique SAPHIR, base de GMAO SYGMA).

Les défaillances et dégradations sont comptabilisées à chaque niveau matériel, pour les modes et causes de défaillance. Des évolutions des paramètres de fiabilité sont recherchées, en fonction de l'âge et de l'année calendaire ainsi que l'historique de maintenance et les coûts d'intervention.

2.3 Phase 3 - L'optimisation de la maintenance

Les phases précédentes ont permis de répondre a priori à la question fondamentale : sur quels matériels et pour prévenir quelles défaillances doit-on faire de la maintenance préventive ? Il s'agit maintenant de déterminer cette tâche de maintenance et le programme qui y répond de manière optimale.

Pour chaque défaillance critique identifiée lors de la phase 1, on recherche la tâche de maintenance préventive : petit entretien, graissage, inspection, surveillance, contrôle, essais, remplacement systématique, modification de conception, la mieux adaptée, la plus efficace sur un plan



3. Phase 2 - Evaluation des performances - L'analyse du retour d'expérience.

SYSTEME ETUDIE : LHP/LHQ 1300 GF : Groupe moto-alternateur 001GE-PEC ELEMENT MATERIEL : Système d'injection			RECHERCHE ET SELECTION DES TACHES DE MAINTENANCE						
MODE DE DEFAILLANCE DE L'ET ASSOCIE : Arrêt intempestif			Etablie par : Date : 03/01/96						
CAUSES DU MODE DE DEFAILLANCE DE L'ET : Grippage, usure, corrosion, dérèglement, desserage, perte caractéristiques joints, percement, blocage, maintenabilité			Validé par : Date : 05/02/96						
			CRITICITE : CSA						
			EVIDENCE : Evident						
Type de tâche	Tâches proposées		Tâches existantes (R si réglementaires)			Observations	Tâches retenues		
	Libellé	Périodicité	Libellé	Périodicité	Réglementaire		Libellé	Périodicité	Réglementaire
Petit entretien, graissage applicable et efficace ↓ Inspection ou surveillance en fonctionnement applicable et efficace ↓ Contrôle applicable et efficace ↓ Examen visuel ensemble des têtes de pompes à injection ↓ Test, essai ou épreuve applicable et efficace ↓ Remplacement systématique applicable et efficace ↓ Modification	Nettoyage, graissage, contrôle du libre coulisement des crémaillères des pompes d'injection	2 mois	Nettoyage, graissage, contrôle du libre coulisement des crémaillères des pompes d'injection	2 mois			Nettoyage, graissage, contrôle du libre coulisement des crémaillères des pompes d'injection	2 mois	
	Contrôle visuel de position des crémaillères	1 AR	Contrôle visuel de position des crémaillères	1 AR			Contrôle visuel de position des crémaillères	1 AR	
	Examen visuel ensemble des têtes de pompes à injection	10 ans	Visite têtes pompes d'injections	12 AR			Examen visuel ensemble des têtes de pompes à injection	10 ans	
	Contrôle tarage injecteurs et pulvérisation	5 ans	Contrôle tarage injecteurs et pulvérisation	4 AR			Contrôle tarage injecteurs et pulvérisation	5 ans	

4. Phase 3 - Optimisation de la maintenance. Actions de maintenance préconisées pour le système d'injection des diesels de secours.

technico-économique. La figure 4 donne un exemple réel d'actions de maintenance préconisées sur le système d'injection des diesels de secours des paliers 1300 MW.

3. L'APPLICATION INDUSTRIELLE DE LA MÉTHODE

La mise en œuvre de la méthode à un échelon industriel a été décidée dès la phase de développement achevée, la méthode validée et les retombées, en termes de gains financiers ou de gains de fiabilité, estimées.

Cette méthode a été décidée sur une cinquantaine de systèmes par palier, ceux considérés comme les plus importants vis-à-vis des enjeux de sûreté, de disponibilité et de coûts du parc nucléaire :

- un programme d'études menées au niveau de l'ingénierie centralisée de l'entreprise a porté sur les systèmes complexes, ayant de forts enjeux vis-à-vis de la sûreté, pour lesquels il est requis d'utiliser les outils d'EPS,
- un programme d'études menées sur les sites, a été mis en place pour les autres systèmes, plus simples, aux forts enjeux de disponibilité et de coûts.

Ce programme industriel [4, 7] a permis de rapprocher les spécialistes de la conduite et de la maintenance dans un effort commun de compréhension des enjeux rattachés à la bonne fiabilité des matériels étudiés, en favorisant une approche plus fonctionnelle et en encourageant un pilotage de la maintenance par les performances.

A l'heure actuelle, la moitié des études OMF prévues a été réalisée. Des gains importants ont été obtenus avec une sûreté améliorée.

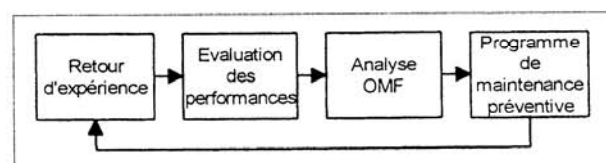
La méthode OMF s'avère être un véritable outil d'aide à la décision de maintenance, permettant de choisir entre différentes stratégies : faut-il attendre la défaillance ? quel matériel faut-il maintenir préventivement ? avec quelle fréquence ? faut-il renforcer les actions de surveillance ?

La traçabilité des décisions est par ailleurs améliorée.

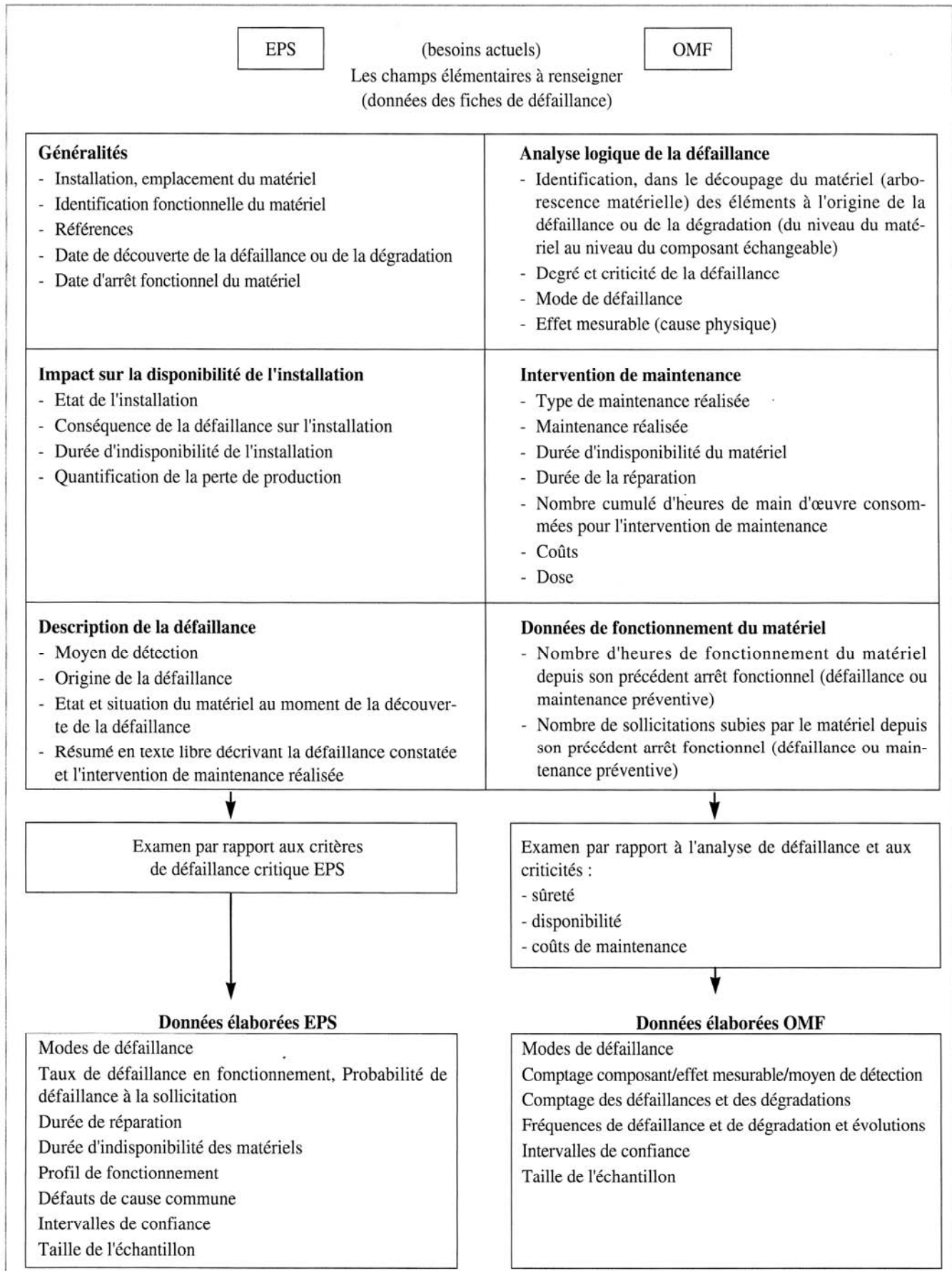
Toutefois globalement, en moyenne, la réduction des coûts de maintenance se situe de 5 % à 20 % des coûts de maintenance selon les systèmes étudiés.

4. VERS UN PROGRAMME OMF VIVANT

L'un des résultats des études OMF est l'établissement de programmes optimisés de maintenance préventive. Ces programmes sont ensuite appliqués. Ils doivent être cependant actualisés (il s'agit donc d'un processus en boucle, au sens des automaticiens, comme le montre la figure 5) car :



5. La boucle OMF : le processus d'optimisation de la maintenance.



6. Les données élémentaires (données de défaillance) nécessaires et les données élaborées pour la sûreté et pour la maintenance (données de sûreté de fonctionnement).

- les conditions d'environnement et d'exploitation peuvent varier,
- des vieillissements peuvent apparaître, et nécessiter une surveillance accrue,
- l'impact d'un programme de maintenance "optimisé" peut s'avérer négatif en termes de fiabilité et de réduction des coûts.

Il est donc important de prévoir une réactualisation périodique des programmes de maintenance, qui ne peut s'envisager sans :

- l'archivage des études OMF réalisées précédemment, assurant la traçabilité des analyses, et leur réactualisation,
- et surtout une structure pérenne de retour d'expérience technique relative aux défaillances et aux actions de maintenance des équipements les plus importants, et intégrée dans le système d'information de l'entreprise.

Le retour d'expérience est en effet une condition clé du succès de la démarche OMF. On a pu voir que la démarche repose fondamentalement sur la connaissance des défaillances et des dégradations et sur la détermination des paramètres de sûreté de fonctionnement des matériels et de leurs évolutions.

En outre toute appréciation de l'efficacité d'un programme de maintenance, toute comparaison entre unités ou dans le cadre d'un exercice de "benchmarking" ne peuvent se faire qu'après calcul d'indicateurs de progrès pertinents évalués à partir des informations du retour d'expérience.

Il faut en permanence rechercher l'optimisation des politiques de maintenance, compte tenu des enjeux multiples, en prenant en compte les dernières défaillances et les modifications de toute nature (technologiques, d'environnement, d'exploitation).

L'organisation d'une collecte et d'une analyse des défaillances est donc fondamentale.

C'est la raison pour laquelle un complément de collecte et d'analyse des données de défaillance et de maintenance, appelé MCD (Mode et Cause de Défaillance) a été élaboré. Il repose sur l'analyse fonctionnelle, citée au paragraphe 2.1. [6], ce qui permet l'analyse rapide et aisée de la défaillance.

Les données nécessaires, à collecter (cf. figure 6), sont liées :

- à l'analyse de défaillance,
- à l'intervention de maintenance réalisée,
- aux données de fonctionnement (nombre cumulé d'heures de fonctionnement et de sollicitations),
- à l'impact sur la disponibilité,
- au diagnostic des équipes de maintenance et aux actions correctives apportées.

L'analyse et le traitement des données collectées permettront de progresser à nouveau par une évaluation fine des performances des matériels, de l'efficacité des politiques de maintenance.

Compte tenu de son importante stratégie, d'une part pour les besoins de sûreté (EPS) et de maintenance (OMF) de l'entreprise et d'autre part pour d'autres applications liées à une bonne maîtrise technico-économique de la durée de vie, voire de la conception de nouveaux matériels, il est clair que le retour d'expérience doit être intégré au système d'information de l'entreprise, afin d'assurer l'accessibilité des données brutes au plus grand nombre et la cohérence des utilisations.

Il est irréaliste et illusoire de suivre l'ensemble des matériels. Il suffit de suivre un échantillon représentatif des matériels reconnus critiques OMF, c'est-à-dire critiques au sens des enjeux de sûreté, de disponibilité et de coûts de maintenance. Par conséquent les matériels sensibles au sens de la sûreté (c'est-à-dire ceux qui contribuent le plus au risque de fusion du cœur du réacteur) sont inclus dans cet échantillon.

5. CONCLUSION

La démarche OMF s'inscrit dans une démarche de recherche d'une meilleure qualité d'exploitation.

La démarche a permis de rationaliser les pratiques de maintenance. Son impact est positif en termes de cohérence, de traçabilité des choix de maintenance et en termes de rapprochement des spécialistes de la conduite et de la maintenance par la diffusion de la culture de sûreté de fonctionnement. Cette appropriation de la démarche par les exploitants sur site est certainement un des aspects les plus positifs.

L'intégration du retour d'expérience technique dans le système d'information est certainement le facteur clé, tant pour la validation incontestable des premiers résultats attendus que pour permettre de poursuivre cette adaptation des programmes de maintenance avec le temps. Le retour d'expérience joue un rôle stratégique tout au long de la démarche. Il est le moteur de l'optimisation de la maintenance, en rendant compte des évolutions et des progrès. Son importance apparaît encore avec plus d'acuité, au niveau d'un programme vivant.

Des progrès sont encore attendus. Citons l'extension de la méthode aux structures passives [5]. Citons également l'étude des liens avec la logistique et l'organisation de la maintenance. Dans ce cadre, la mise à disposition des résultats des études OMF et du retour d'expérience associé dans le système d'information de la maintenance est fondamentale.

Bibliographie

- [1] J.P. MERCIER, La maintenance des centrales nucléaires - Editions KIRK, 1987.
- [2] J.P. JACQUOT, P. LEGAUD, G. ZWINGELS-TEIN; Development of the RCM methodology for the EDF nuclear plants: a pilot application to the CVCS system - IAEA - Technical Committee on RCM - Vienne, Mai 1991.

[3] J.P. JACQUOT, A. DUBREUIL-CHAMBARDEL, A. LANNOY, A. VILLEMEUR, Optimisation de la maintenance par la fiabilité - Revue Epure, n° 44, pp 23-31, Octobre 1994.

[4] J.P. HUTIN, A. VILLEMEUR, L'optimisation de la maintenance par la fiabilité pour le parc nucléaire EDF - RGN - 1995 - n° 6 - Novembre-Décembre.

[5] Ph. BRYLA, F. ARDORINO, P. AUFORT, J.P. JACQUOT, L. MAGNE, B. MONNIER, P. PITNER, B. VERITE, B. VILLAIN, Development of a maintenance optimization procedure of structural components in nuclear power plants - ESREL'97 - Advances in safety and reliability - Pergamon - Volume 2 - pp 1221-1228 - LISBONNE - Juin 1997.

[6] Ph. SABY, Description générale des matériels et de leurs défaillances - Rapport interne EDF-DEPT-DM D4002-42-81/94-049 indice 2 - 1995. Outil logiciel GENEVIEVE : GEStioN Et Validatlon EVolutiVE des découpages fonctionnels - Décembre 1997.

[7] C. AZEVEDO, M. COURREGES, Optimisation de la maintenance par la fiabilité - Application à EDF - Congrès SOLE, Paris, 1995.

Alain DUBREUIL-CHAMBARDEL, ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris, a été ingénieur-chercheur, chef du groupe Sûreté de Fonctionnement des Installations Nucléaires au Département Etudes de Sûreté et de Fiabilité de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF. Actuellement au Département Maintenance - Exploitation du Parc Nucléaire, il pilote la mise en œuvre des études OMF réalisées par les services centraux et les sites EDF. Il est membre de l'ISdF.

André LANNOY, docteur-ingénieur en détonique de l'Université de Poitiers est ingénieur-chercheur, adjoint au chef du Département Surveillance - Diagnostic - Maintenance à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF. Il est chargé de mission au Département Maintenance (Exploitation du Parc Nucléaire). Vice-Président de l'ISdF et d'ESReDA (European Safety and Reliability Data Association).

François PERCHET, ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité, a passé une vingtaine d'années dans les services de conduite et de maintenance de plusieurs sites nucléaires. Il est actuellement chef du projet OMF du parc EDF, au Département Maintenance (Exploitation du Parc Nucléaire). Il a été détaché pendant deux ans à l'INPO (Institute for Nuclear Power Operation, Atlanta, USA).