

MAI 2000

N° ISSN 0397 - 4529

188

INTERACTIONS MAINTENANCE- EXPLOITATION ET SECURITE. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Les tâches de maintenance : définitions et caractéristiques contribuant à leur criticité

Corinne GRUSENMEYER
Département Homme au Travail
Laboratoire Ergonomie et Psychologie
Appliquées à la Prévention

Publication réalisée dans le cadre de l'étude A.8/1.011
« Interactions maintenance/exploitation
et fiabilité des systèmes industriels »

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE

**SIEGE SOCIAL :
30, RUE OLIVIER-NOYER, 75680 PARIS CEDEX 14**

**CENTRE DE RECHERCHE :
AVENUE DE BOURGOGNE, 54501 VANDOEUVRE CEDEX**

Résumé

Les activités de maintenance sont identifiées depuis longtemps comme des situations critiques pour la sécurité des opérateurs. Cette criticité résulte non seulement de la nature des activités concernées, mais aussi du contexte organisationnel dans lequel elles s'insèrent et des interactions entre opérateurs de maintenance et d'exploitation. Par conséquent, et sachant que relativement peu de travaux ont été consacrés à la maintenance, une étude relative aux interactions maintenance-exploitation et à leurs incidences sur la fiabilité des systèmes et la sécurité des opérateurs a été initiée.

Dans ce cadre, une analyse bibliographique a été menée. Elle visait d'une part, à acquérir des connaissances sur les activités de maintenance et à identifier, sur cette base, certaines caractéristiques de ces activités contribuant à leur criticité, d'autre part, à examiner les relations fonctionnelles et organisationnelles de la maintenance et de l'exploitation et leurs incidences sur la sécurité des activités de maintenance et, enfin, à appréhender les interactions des opérateurs concernés et leurs conséquences éventuelles.

Ce document, relatif au premier de ces objectifs, est consacré aux activités de maintenance. Dans un premier temps, la maintenance est définie. Puis, son objet (les équipements), ses missions (les différents types de maintenance) et ses moyens (les différentes opérations et activités de maintenance) sont précisés. Enfin, et à partir de ces différents éléments, quelques caractéristiques des activités de maintenance, susceptibles de contribuer à leur criticité en termes de sécurité, sont discutées.

Mots clés : Maintenance - Sécurité - Interactions maintenance-exploitation - Organisation du travail

Abstract

For a long time, maintenance operations have been identified as "critical" situations where safety is concerned. This critical aspect results not only from the nature of these activities but also from their organizational context and from interactions between maintenance and production operators. Consequently, and given that few studies have been devoted to maintenance, we have conducted some research into the interactions between maintenance and production and their consequences for reliability and safety.

Within this framework, a bibliographical analysis was made. It was aimed primarily at acquiring knowledge about maintenance activities and identifying, on this basis, some characteristics of these activities contributing to their criticality. Secondly, we considered functional and organizational relationships of maintenance and production and their effects on the safety of maintenance activities. Finally, we investigated the interactions between the operators concerned and their potential consequences.

This paper, concerning the first of these objectives, is dedicated to maintenance activities. Firstly, "maintenance" is defined. Then, its object (equipment), its missions (the different types of maintenance) and its means (the different operations and activities of maintenance) are specified. Lastly, from these elements, some characteristics of maintenance activities, which may contribute to their criticality in terms of safety, are discussed.

Key words : Maintenance - Safety - Maintenance-production interactions - Work organization

INTERACTIONS MAINTENANCE - EXPLOITATION ET SECURITE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Les tâches de maintenance : définitions et caractéristiques contribuant à leur criticité

Position du problème : la maintenance, facteur de performance pour les entreprises et source potentielle de risques pour les opérateurs

- | | | |
|---|---|------|
| 1 | Maintenance et sécurité | p. 1 |
| 2 | Evolution de la fonction maintenance dans les entreprises | p. 3 |
| 3 | Conséquences de ces évolutions | p. 5 |

I Définitions de la maintenance **p. 11**

II L'équipement, objet de la maintenance **p. 13**

- | | | |
|---|--|-------|
| 1 | Principales caractéristiques d'un équipement | p. 13 |
| 2 | Principaux états d'un équipement | p. 14 |

III Les missions : maintenance corrective, préventive et à échelle majeure **p. 17**

- | | | |
|-----|--|-------|
| 1 | La maintenance corrective | p. 17 |
| 1.1 | Définitions | p. 17 |
| 1.2 | Différents types de maintenance corrective | p. 18 |
| 2 | La maintenance préventive | p. 19 |
| 2.1 | Définitions | p. 19 |
| 2.2 | Différents types de maintenance préventive | p. 19 |
| 3 | La maintenance à échelle majeure | p. 20 |
| 3.1 | Définition | p. 20 |
| 3.2 | Différents types de maintenance à échelle majeure | p. 21 |
| 4 | Relations entre les caractéristiques et états des équipements et les différentes missions de maintenance | p. 21 |

IV Les moyens : différentes opérations et activités de maintenance **p. 23**

- | | | |
|-----|--|-------|
| 1 | Opérations et activités de maintenance corrective | p. 23 |
| 1.1 | Opérations et activités antérieures à la réalisation de l'intervention de maintenance corrective | p. 23 |
| 1.2 | Activités concomitantes à ou constitutives de l'intervention de maintenance corrective | p. 25 |

1.3 Opérations et activités ayant lieu à l'issue de l'intervention de maintenance corrective	p. 26
2 Opérations et activités de maintenance préventive	p. 27
2.1 La préparation de l'expertise	p. 27
2.2 La réalisation de l'expertise	p. 28
2.3 Activités menées à l'issue de l'expertise	p. 29
2.3.1 L'analyse et l'interprétation des résultats de l'expertise	p. 29
2.3.2 L'intervention après expertise	p. 30
3 Opérations et activités de maintenance à échelle majeure	p. 31
3.1 Préparation et planification des travaux	p. 31
3.2 Les interventions de maintenance à échelle majeure	p. 31
3.3 Opérations et activités effectuées à l'issue des interventions de maintenance à échelle majeure	p. 32

Conclusion. Quelques caractéristiques des activités de maintenance susceptibles

de contribuer à leur criticité **p. 35**

1 Diversité des activités de maintenance	p. 35
2 Incertitude intrinsèque aux activités de maintenance	p. 36
3 Absence de poste fixe de travail et forte mobilité des opérateurs	p. 37
4 Des activités nécessitant des actions directes sur les équipements et sollicitant des savoir-faire divers et souvent implicites	p. 38
5 Des activités soumises à d'importantes contraintes temporelles	p. 40

Références **p. 43**

POSITION DU PROBLEME : LA MAINTENANCE, FACTEUR DE PERFORMANCE POUR LES ENTREPRISES ET SOURCE POTENTIELLE DE RISQUES POUR LES OPERATEURS

1 Maintenance et sécurité

Les opérations de maintenance sont identifiées, depuis longtemps, comme des situations critiques pour la sécurité des opérateurs. Ainsi, Faverge (1970) estimait que les situations de récupération, c'est-à-dire celles "*pendant lesquelles on répare un engin qui vient de tomber en panne ou [au cours desquelles] on rétablit une situation perturbée par un incident, sont particulièrement propices aux accidents*"¹ (p. 302 ; c'est nous qui soulignons ; cf. également Faverge, 1967). Et cet auteur identifiait également "*l'instauration de consignes générales comme celles de placer un écriteau d'avertissement lorsqu'une machine est en panne ou une réparation en cours*" (1970, p. 309) comme des situations momentanément infiables, c'est-à-dire des situations dont le moment et le lieu sont aléatoires et qui entraînent des modes de prévention différents de ceux mis en place lorsque ces situations ont un caractère permanent.

Plus récemment, plusieurs travaux ont mis en exergue la criticité des opérations de maintenance. Selon l'AFNOR (1986 a), "*sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident..., sachant aussi que la maintenance doit préserver l'état du matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparaît que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite*" (p. 28). Un travail de Carlsson relatifs à 36 accidents du travail, survenus en Suède pendant la période 1979-1983, et impliquant des robots et systèmes automatisés, met ainsi en évidence que "*le réglage en cours d'opération et la réparation sont responsables de plus de 80% des accidents relatés*" (Vautrin, Edwards & Nicolaisen, 1992, p. 466). Une enquête relative à 54 accidents ayant eu lieu sur le même type d'équipements, en France, entre 1983 et 1988, montre que 54 % d'entre eux font suite à un incident, et que 6% de ces accidents se sont produits lors d'interventions de maintenance préventive (Vautrin et al., 1992). Forts de ces résultats, ces derniers auteurs sont amenés à conclure que les accidents sur ces matériels "*procèdent en général d'interventions dans les sites de production (...)*

¹ Dans son article de 1980, Faverge définit la récupération de la façon suivante : "*Récupérer, c'est œuvrer pour remettre à la valeur qu'elle doit avoir une variable qui s'en écarte, pour rétablir sur ces rails un processus qui tendrait à dérailler, pour faire disparaître des dysfonctionnements, des perturbations, ou des déviations, pour remettre en marche après une panne ou un incident. Récupérer n'est pas seulement réparer (un organe tombé en panne), mais aussi ajuster, réguler c'est-à-dire ramener à la norme*" (p. 203). Selon lui, les conduites de récupérations s'accompagnent généralement de risques et d'astreintes pour les opérateurs.

liées entièrement ou partiellement au cycle opératoire, ou (...) relatives à des opérations de maintenance, de réparation ou de changement de paramètres" (ibid., p. 471 ; sur ce point, voir également Neboit, 1999).

Abéla et Mazeau (1996) soulignent, pour leur part, que *"dans l'industrie chimique, comme dans de nombreux secteurs, les statistiques d'accidents montrent que les opérations de maintenance constituent la source la plus importante de risque"*. En outre, Hale et al. (1998) relatent plusieurs travaux mettant en évidence le fait que la maintenance est liée à une proportion importante d'accidents graves dans ce type d'industrie :

- des études du "British Health and Safety Executive", publiées en 1987, montrent qu'environ 30% des décès dans l'industrie chimique sont liés à des activités de maintenance, soit parce qu'ils ont lieu durant ces activités, soit parce qu'ils résultent d'opérations de maintenance défectueuses ;
- un travail de Koehorst (1989, cité dans Hale et al., 1998), effectué à partir d'une base de données relatives aux accidents dans le même secteur, révèle que 38,5% de ceux pour lesquels des substances dangereuses sont dégagées, ont lieu pendant la maintenance ;
- une analyse menée par Hurst et al. en 1991 de 900 accidents dans l'industrie chimique met en évidence que 38,7% d'entre eux trouvent leur origine dans les phases de maintenance des installations.

Et une étude de 294 accidents, également survenus dans l'industrie chimique, permet à ces auteurs (Hale et al., 1998) de montrer que 30 à 40% d'entre eux se déroulent pendant les activités de maintenance (17% de ces derniers ont lieu lors de la préparation de l'intervention, 76% au moment de l'intervention elle-même, 7% pendant ou juste après la reprise en main par la production), sans compter la proportion non négligeable d'accidents (8% de ceux examinés) qui, bien que survenus lors d'autres phases (telles que celles de démarrage, d'arrêt ou de production normale), peuvent être associés à ces opérations (cas, par exemple, de la non détection d'une corrosion ou d'une usure). Enfin, une analyse, menée par la Direction des Relations du Travail du Ministère de l'Emploi et de la Solidarité (1999), des accidents du travail sur "machines" survenus en 1997 met en évidence que 20% d'entre eux se sont produits lors d'opérations de maintenance.

La relation étroite qu'entretiennent la maintenance et la sécurité est ainsi, et depuis longtemps, largement soulignée.

2 Evolution de la fonction maintenance dans les entreprises

Une fonction désormais stratégique

La maintenance constitue, par ailleurs, une des fonctions des entreprises les plus importantes, dont le développement s'est amplifié de façon sensible. Une enquête nationale menée par l'AFNOR auprès de 440 entreprises montre ainsi que *"la maintenance est une fonction pour laquelle la majorité [d'entre elles] consacrera dans les mois et les années à venir un intérêt croissant"* (AFNOR, 1986 a, p. 3). Et un sondage CNPF-test réalisé auprès de 300 chefs d'entreprise de 50 salariés et plus, représentatives des 13325 entreprises recensées par l'INSEE dans le secteur secondaire, révèle que, parmi les différents modes de recherche d'amélioration de la qualité, 30% des chefs d'entreprises utilisent *"la recherche systématique des pannes du matériel de production"* (AFNOR, 1986 a, p. 8).

La maintenance fait ainsi l'objet de nombreuses réflexions et connaît une évolution importante depuis quelques années. La multiplication des politiques de maintenance (telles que la "Total Productive Maintenance", l'Assurance Capacité de Production, la Maintenance Base Zéro ou encore les Contrats Internes de Maintenance ; sur ce sujet, voir AFNOR, 1986 a ; Lavina, 1994), les normes relatives à la maintenance, le développement des outils informatiques de gestion de la maintenance ou encore le nombre de formations à la maintenance proposées constituent d'ailleurs quelques indicateurs de l'intérêt porté à cette fonction dans les entreprises. L'AFNOR (1986 a) considère même que les entreprises de demain ne seront essentiellement composées que de personnel de maintenance : *"insensiblement les agents de fabrication feront une partie du travail de maintenance, et à terme il ne sera plus possible de faire la différence entre homme de maintenance et opérateur de fabrication"* (p. 141).

De nombreux éléments motivent l'intérêt des entreprises pour cette fonction : des facteurs technologiques, des facteurs économiques, mais aussi des facteurs politico-organisationnels et humains.

Le contexte économique des entreprises et, parallèlement, la complexité croissante des matériels et équipements, ainsi que leur coût d'acquisition de plus en plus élevé, ont donné progressivement de plus en plus d'importance à l'amortissement de ces investissements, à l'évitement d'avaries susceptibles d'entraîner leur immobilisation et, par conséquent, à la recherche d'une augmentation de leur disponibilité et d'une diminution des coûts et temps de maintenance (Leplat & Savoyant, 1972 ; AFNOR, 1986 b ; Lavina, 1994 ; Luxhoj et al., 1997). Selon l'AFNOR (1986 a), *"le coût annuel de la maintenance représente généralement de 8 à 10% de la valeur d'acquisition du"*

matériel" avec de fortes variations selon les secteurs, mais surtout ce coût "*a tendance à croître en valeurs absolue et relative*" du fait "*du développement de l'automatisation des équipements de production*" (p. 22)². Ainsi, "*après être restée longtemps le parent pauvre dans la mutation des entreprises, (...) la fonction maintenance est depuis plusieurs années considérée comme un facteur de performance de premier ordre*" (Brangier, Cuny, Polin & Cru, 1997, p. 12). Elle constitue désormais "*un important gisement de productivité*" (ibid., p. 12), dont le coût économique devient un enjeu majeur. La maintenance évoque aujourd'hui la maîtrise économique de la disponibilité des technologies productives, elle est synonyme de "*compétitivité à plein temps et au coût optimal*" (AFNOR, 1986 a, p. 8). Elle devient une "fonction stratégique" (Jean, 1999), dans la mesure où la fiabilité des équipements constitue désormais une condition fondamentale de la performance et où "*c'est de plus en plus dans leur capacité à assurer la disponibilité optimale des équipements que les entreprises à haut niveau d'automatisation peuvent faire la différence avec leurs concurrentes*" (ibid.).

Evolution conséquente de l'organisation de la maintenance

La mécanisation du travail, les impératifs de cadence et de disponibilité, la nécessité de fabriquer des produits ayant une qualité élevée et constante et, plus généralement la compétitivité des entreprises imposent par conséquent de "*positionner la maintenance à la place qui lui revient (...) et de bien définir les responsabilités entre maintenance et production*" (AFNOR, 1986 b, p. 367). Les objectifs économiques se traduisent ainsi en termes de structures. "*Il faut en effet doter la maintenance d'une organisation qui permette de résoudre les problèmes, de la manière la plus économique possible : c'est le seul moyen de peser réellement sur les coûts de maintenance*" (AFNOR, 1986 b, p. 367 ; c'est nous qui soulignons).

La fonction maintenance connaît ainsi un développement qualitatif et quantitatif (Jean, 1999) et la conception des relations que doivent entretenir les fonctions maintenance et exploitation dans l'entreprise évolue. Il devient en effet nécessaire de mobiliser ses ressources humaines, d'améliorer les relations entre exploitation et maintenance en vue d'une meilleure efficacité (rapidité de réaction, meilleure utilisation de l'expertise des exploitants sur le fonctionnement de leurs équipements, concertation sur les améliorations et l'acquisition d'équipements, etc. ; cf. Pidol & Hadjidakis, 1991) et de ne plus faire de la maintenance "*une entreprise dans l'entreprise*" (Lavina, 1994, p. 24), mais l'affaire de tous. Une interpénétration croissante des fonctions maintenance et

² Sur la base de la même source (AFNOR, 1986 a), 600.000 personnes, dont plus de 50.000 cadres travaillent dans les activités de maintenance (y compris les entreprises prestataires de service), ce qui représente un chiffre d'affaires de près de 200 milliards de francs.

exploitation est, par conséquent, observée : *"Produire, c'est aujourd'hui de plus en plus maintenir une installation"* (Jean, 1999 ; voir également Pidol & Hadjidakis, 1991).

Ainsi, alors que dans les organisations traditionnelles, l'ensemble des tâches de maintenance était assuré par un service ou un département indépendant, on assiste maintenant, et sous des formes variées, à :

- un transfert des tâches de maintenance vers l'exploitation ("auto-maintenance") et les entreprises sous-traitantes (cf. Pidol & Hadjidakis, 1991 ; Lavina, 1994 ; Fadier & Mazeau, 1996 ; Brangier, Cuny, Polin & Cru, 1997 ; Brangier & Linquié, 2000) ; les entreprises spécialisées dans le domaine de la maintenance ont d'ailleurs connu un important développement ;
- parallèlement, un développement de services "légers" de maintenance, essentiellement centrés sur l'encadrement, la programmation et la gestion des interventions effectuées, et l'exploitation des informations relatives à la vie des matériels et équipements (cf. Lavina, 1994 ; Jean, 1999).

En effet, *"afin de gagner en flexibilité et/ou de se centrer sur le cœur de leurs métiers, les entreprises tendent à alléger au maximum leurs services techniques. A cette fin, elles confient autant que possible l'entretien courant et la maintenance de premier niveau aux opérateurs de production. Pour le reste, elles font de plus en plus appel à des entreprises extérieures"* (Brangier et al., 1997, p. 13). L'organisation et les formes de prise en charge de la maintenance dans les entreprises se sont par conséquent multipliées, même si, dans nombre d'entre elles, la fonction maintenance se démarque encore souvent de la fonction exploitation.

3 Conséquences de ces évolutions

Il reste que l'application de ces nouvelles politiques de maintenance, et plus généralement les évolutions relatives à cette fonction, ne sont pas, si l'on s'en réfère à un certain nombre de travaux, sans avoir un certain nombre de conséquences.

Difficultés lors de la mise en place des nouvelles politiques de maintenance

Des difficultés peuvent être rencontrées lors de la mise en place des nouvelles politiques de maintenance, les modifications de l'organisation du travail n'ayant pas toujours été suffisamment

accompagnées. Ainsi, selon Lavina (1994), de nombreuses erreurs ont été commises :

- allégement des structures par les départs anticipés en retraite sans conservation du savoir-faire ;
- compression trop brutale d'effectifs conduisant à une rupture des cycles de maintenance et à négliger la maintenance préventive faute de moyens ;
- faible intégration, dans l'entreprise, de compétences techniques adaptées aux nouveaux matériels, etc.

Difficultés associées à l'externalisation de la maintenance

La tendance, au sein de nombreuses entreprises industrielles, à sous-traiter de multiples interventions à des entreprises extérieures conduit par ailleurs à une séparation des fonctions de réalisation et de supervision des activités de maintenance (les premières étant prises en charge par les sous-traitants et les secondes par les services internes de maintenance ; cf. Jean, 1999), qui n'est pas sans conséquences.

En effet, d'une part, la nature du travail de la maintenance interne est sensiblement modifiée : celui-ci *"s'oriente de plus en plus vers une activité de préparation des chantiers, repérage avec l'entreprise sous-traitante, ainsi que de leur suivi, étapes de remise en service du matériel et requalifications"* (Dechez, 1991, p. 10). L'éloignement de ces opérateurs des activités d'exécution peut occasionner une perte de connaissances et de compétences de ces derniers sur les équipements et rendre difficile le maintien de leurs savoirs dans le domaine. Ces opérateurs peuvent ainsi se sentir dépossédés de leur métier (cf. Pereira, Remoiville & Trinquet, 1999) et la qualité des opérations de maintenance qu'ils doivent gérer peut s'en trouver modifiée (cf. Jean, 1999). Ainsi, une enquête menée par Brangier, Cuny, Polin et Cru (1997) révèle que *"alors que les responsables de maintenance d'hier, souvent issus de la population ouvrière, connaissaient parfaitement leurs machines et étaient en mesure d'évaluer exactement les besoins d'intervention extérieure (...), cela ne serait plus tout à fait le cas des responsables de maintenance de la nouvelle génération"* (p. 14).

D'autre part, les sous-traitants peuvent éprouver des difficultés à réaliser des tâches de stricte exécution sans développer leurs propres techniques et méthodes (Jean, 1999). A ces difficultés s'ajoutent celles liées plus strictement au statut de ces opérateurs, du fait du lien de subordination introduit (Pereira et al., 1999), des exigences de plus en plus importantes des entreprises utilisatrices en termes de conditions de travail ou de délais de réalisation, ou encore de l'extériorité de ces opérateurs au site (Brangier et al., 1997 ; Jean, 1999 ; Pereira et al., 1999 ; Brangier & Linquier, 2000).

En outre, les "interfaces supplémentaires" et les rapports sociaux introduits par une telle externalisation de la maintenance peuvent rendre difficiles le travail en commun, la coordination et les transmissions d'informations entre ces différents opérateurs. Certaines entreprises ont ainsi été amenées à reconsidérer leur politique de maintenance et à réintégrer en leur sein la réalisation de ces activités (Jean, 1999).

Difficultés liées au déplacement de la frontière entre les métiers d'exploitants et de "mainteneurs"

Ces évolutions dans la prise en charge de la fonction maintenance au sein des entreprises contribuent également à déplacer la frontière entre les deux métiers, que constituent l'exploitation et la maintenance (cf. Fadier & Mazeau, 1996) : réorganisation des services de maintenance et d'exploitation dans l'entreprise, modifications des exigences en termes de compétences des opérateurs concernés, du partage des tâches entre ces opérateurs et de leurs attributions, ce qui n'est pas non plus sans poser problème.

Selon Lavina (1994), ces modifications des domaines de la maintenance et de l'exploitation expliquent en effet que les progrès en maintenance aient bien souvent été freinés, les thèmes conflictuels pour ces opérateurs étant nombreux (cas de la mise à disposition des installations pour maintenance préventive, de la formulation précise et opportune des demandes de travail ou de la réalisation de la maintenance de premier niveau par les opérateurs d'exploitation, par exemple).

Par ailleurs, des difficultés relatives à l'identification des attributions des opérateurs de maintenance et d'exploitation peuvent être occasionnées. Hagau (1995) relate que, dans une entreprise métallurgique, la mise en place de cellules de maintenance associées à des lignes de fabrication particulières (maintenance géographique) conduit à générer des confusions relatives à la prise en charge des opérations courantes d'entretien des matériels (graissage, nettoyage, etc.). L'organisation formelle ayant prévu une réalisation de ces tâches par les opérateurs des cellules de maintenance, mais promouvant dans le même temps un transfert des activités d'entretien vers les opérateurs d'exploitation, ni les opérateurs de maintenance ni ceux de la production n'étaient décidés à s'approprier ces tâches, chacun considérant qu'elles relevaient des attributions de l'autre (cf. Hagau, 1995).

De plus, les compétences et activités des agents d'exploitation et de maintenance peuvent être modifiées. Foot et Petit (1996) montrent ainsi que la mise en place au sein de la RATP d'un Nouveau Service en Station et d'une politique de Rapprochement de l'Exploitation et de la Maintenance a contribué, sans que cela n'ait été réellement envisagé, à une perte de compétences des agents d'exploitation sur les équipements, à une transformation de celles des agents de

maintenance et à une modification de leurs relations avec les opérateurs d'exploitation. Dans d'autres cas, les activités des opérateurs d'exploitation pourront être élargies, l'organisation mise en place visant à "*transférer certaines interventions de maintenance de premier niveau vers l'équipe d'exploitation*" et à solliciter la maintenance "*pour des opérations plus lourdes et plus planifiées*" (Fadier et Mazeau, 1996, p. 1473).

Conséquences en termes de sécurité

Pour ces différentes raisons, ces nouvelles formes de prise en charge de la maintenance peuvent avoir des conséquences sur la sécurité des opérateurs.

Certains facteurs de risques peuvent, par exemple, être associés à la sous-traitance de ces activités, du fait de la situation de précarité des opérateurs concernés (Jean, 1999), de leur extériorité au site (absence d'information sur le fonctionnement de l'entreprise, les règles de sécurité ou la gestion des accès, par exemple), des conditions d'obtention des contrats auprès des entreprises utilisatrices³ ou encore de la difficulté, pour des opérateurs dont le travail est caractérisé par une forte "nomadisme", à mettre en place des modes de prévention collectifs (cf. Pereira et al., 1999).

L'enquête menée par Brangier, Cuny, Polin et Cru (1997 ; Brangier & Linquier, 2000) souligne, par ailleurs, que de façon générale :

- ces évolutions de la maintenance peuvent conduire à sous-estimer la durée des travaux et le matériel nécessaires, ce qui est susceptible d'accroître les risques encourus par les intervenants ; les contraintes temporelles pesant sur les interventions peuvent en effet influencer sur la qualité de la préparation des interventions et des outillages, sur la gestion des imprévus ou encore la durée du travail des intervenants (Pereira et al., 1999) ;
- la réduction des effectifs des opérateurs de maintenance, associée à une sous-traitance des opérations les moins courantes, peut poser le "*problème majeur de disparition des connaissances des risques spécifiques encourus sur les installations*" (Brangier et al., 1997, p. 15) ;
- les pressions temporelles liées aux exigences en termes de délais, susceptibles d'occasionner des relégations des aspects sécuritaires, ne seraient désormais plus caractéristiques des interventions réalisées en urgence, mais s'observeraient également lors d'interventions programmées sur arrêts machines ;

³ Quel que soit le type de contrat négocié, "*c'est l'entreprise la moins-disante qui est pratiquement toujours retenue (...) des efforts constants doivent être consentis par les sous-traitants, efforts qui se déclinent (...) trop souvent en terme de pression sur les salariés (et dont les) répercussions sur les conditions de sécurité sont bien connues*" (Pereira et al., 1999, p. 8).

- enfin, la réduction des effectifs des services de maintenance, la modification de leurs compétences et la contrainte que leur imposent les objectifs économiques, se traduisent par des conflits entre une logique commerciale et une logique industrielle, qui pèsent directement sur la sécurité.

En outre, les interactions entre opérateurs de maintenance et d'exploitation et la prise en charge des tâches de maintenance par ces opérateurs peuvent être déterminantes pour leur sécurité (cf. Krawsky, 1970 ; De La Garza & Weill-Fassina, 1995 a ; Abéla et Mazeau, 1996). Selon la Direction des Relations du Travail du Ministère de l'Emploi et de la Solidarité (1999), 40% des accidents du travail sur "machines" en 1997, ayant eu lieu lors d'opérations de maintenance, *"sont survenus suite à un incident de production ("bourrage" de la machine, mauvais positionnement d'une pièce, défaut...) ou dans des phases de réglage ou de nettoyage"* (p. 88), c'est-à-dire à des périodes où les opérateurs de maintenance et d'exploitation sont susceptibles d'interagir. Les enquêtes de l'inspection du travail relatives à 116 accidents mortels ou très graves, survenus sur machines lors du premier semestre 1998, témoignent du fait que nombre d'entre eux ont eu lieu lors d'activités de récupération d'un incident de production (Direction des Relations du Travail du Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 1999), activités qui semblent être prises en charge par les opérateurs d'exploitation. En effet, *"dans près de 65% des cas d'accidents, les inspecteurs du travail relèvent dans leur enquête que l'accident a pour cause un défaut d'organisation, un mode opératoire déficient, l'absence de méthode, une consigne inexistante ou encore un défaut de formation au métier et à la sécurité"* (ibid., p. 90 ; c'est nous qui soulignons).

Ces différents éléments, associés au fait que relativement peu de travaux ont été consacrés à la maintenance, ont amené l'INRS à initier une étude relative aux interactions maintenance-exploitation et à leurs incidences sur la fiabilité des systèmes et la sécurité des opérateurs (la sous-traitance des activités de maintenance ne sera pas abordée en tant que telle ici ; pour plus d'informations sur ce sujet, le lecteur pourra consulter Brangier et al., 1997 ; Pereira et al., 1999).

Dans ce cadre, une analyse bibliographique a été menée. Cette analyse bibliographique avait plusieurs objectifs :

- d'une part, acquérir des connaissances sur les activités de maintenance et tenter, sur cette base, d'identifier un certain nombre de caractéristiques de ces activités permettant d'expliquer leur criticité pour la sécurité des opérateurs ;

- d'autre part, mieux comprendre les relations fonctionnelles et organisationnelles qu'entretiennent les deux fonctions, que sont la maintenance et l'exploitation, dans la mesure où elles peuvent être déterminantes pour les interactions des opérateurs concernés et la sécurité des activités de maintenance (cf. Brangier et al., 1997 ; Hale et al., 1998) ;
- enfin, tenter d'appréhender et de caractériser les interactions des opérateurs de maintenance et d'exploitation, et mieux cerner les conséquences de ces dernières pour la sécurité des opérateurs.

Ce premier document est consacré aux tâches de maintenance. L'acquisition d'un certain nombre de connaissances relatives aux tâches et activités de maintenance constituait en effet un prérequis indispensable à toute étude portant sur les interactions entre opérateurs de maintenance et d'exploitation. Dans un premier temps, la maintenance sera définie. Puis, son objet, ses missions (les différents types de maintenance) et ses moyens (les différentes opérations et activités de maintenance) seront précisés. Enfin, et sur cette base, nous tenterons d'identifier quelques caractéristiques de ces activités susceptibles de contribuer à leur criticité en termes de sécurité.

Précisons que les définitions, qui seront proposées, sont pour bon nombre d'entre elles issues des travaux de normalisation ou menés en ingénierie, peu d'études de psychologie du travail ou d'ergonomie ayant, jusqu'à présent, été consacrées à la maintenance. Soulignons également que l'objectif n'est pas ici de balayer l'ensemble du domaine de la maintenance. Ainsi, la gestion et les méthodes de maintenance, l'étude des défaillances ou du comportement des matériels, l'intégration de critères de maintenabilité lors de leur conception, ou la conception et l'utilisation des aides à la maintenance⁴ ne seront évoquées que très ponctuellement (concernant ces deux derniers points, le lecteur pourra se reporter respectivement à Hagau, 1995 ; Ribert, 1998).

Les relations fonctionnelles et organisationnelles de la maintenance et de l'exploitation, de même que leurs conséquences éventuelles pour la sécurité des opérateurs seront examinées dans un deuxième volet (NST n° 189). Enfin, les interactions des opérateurs de maintenance et d'exploitation (les outils cognitifs, les phases et modes d'interaction de ces opérateurs) et leurs incidences possibles sur la sécurité feront l'objet d'un troisième document (NST n°190).

⁴ Ce point mériterait à lui seul des études plus précises. Une recherche visuelle des organes permettant d'isoler, de consigner ou de mettre à disposition les équipements, n'est en effet dans la plupart des cas pas suffisante, du fait de la complexité des matériels. Pourtant, ces opérations ne semblent pas toujours effectuées à partir des schémas des installations (Abéla & Mazeau, 1996). Et l'utilisation de ces documents, lorsqu'elle est effective, pose également question : ceux-ci peuvent davantage proposer une représentation du fonctionnement de l'installation, qu'une schématisation des équipements adaptée aux interventions de maintenance ; ils ne correspondent pas toujours à la situation actuelle, faute d'une réactualisation suivie, et peuvent être mis en doute par les opérateurs (crainte de l'inexactitude du document, inadéquation des informations fournies avec l'interprétation de la situation par l'opérateur, etc.).

I DEFINITIONS DE LA MAINTENANCE

De nombreuses définitions de la **maintenance** ou de l'**entretien**⁵ sont proposées dans la littérature.

Leplat et Savoyant (1972) définissent ainsi l'entretien de la façon suivante : *"L'entretien constitue une fonction qui vise à maintenir les machines et plus généralement l'équipement⁶ technique en bon état de fonctionnement, et à le remettre dans cet état en cas de dysfonctionnement ou de panne. Plus succinctement l'entretien vise à assurer la fiabilité du système"* (p. 141).

Selon Villemeur (1988) la maintenance constitue la *"combinaison de toutes les actions techniques et des actions administratives correspondantes⁷, y compris les opérations de surveillance et de contrôle, destinées à maintenir ou à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise"* (p. 736).

Si l'on s'en réfère à la norme AFNOR NF X 60-010, la maintenance concerne *"[l']ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé"* (AFNOR, 1986 a, p. 14).

Enfin, Fadier et Mazeau (1996) considèrent, pour leur part, la maintenance comme *"l'ensemble des actions (et activités) destinées à maintenir ou rétablir un produit ou une application dans un état où ils peuvent accomplir une fonction requise"* (p. 1471).

La maintenance a donc :

- comme **objet**, le (ou les) équipement(s) dont elle a la charge ; ces derniers peuvent être décrits selon un certain nombre de caractéristiques et de données, et leur état peut varier (état de panne ou de fonctionnement, par exemple) ;

⁵ Les distinctions entre les deux terminologies, entretien d'une part, et maintenance d'autre part, ne sont pas toujours très consistantes. Pour certains auteurs, l'entretien recouvre essentiellement la maintenance corrective. Ainsi, selon Monchy par exemple, *"entretenir, c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production"* (1996, p. 18). Pour l'AFNOR (1986 a), ce terme *"très utilisé dans les industries les plus traditionnelles, signifie le plus souvent "tenue du matériel en bon état" (...) et fait penser d'abord à l'action préventive, de même que son acception "grand public" (p. 14 ; c'est nous qui soulignons). Si l'on se réfère à la définition proposée par Leplat et Savoyant (1972), l'entretien désigne la fonction maintenance dans son intégralité. Ces divergences sont liées à des évolutions dans l'emploi de ces termes. Il y a quelques années, la fonction maintenance était généralement désignée sous le terme d'entretien et les opérations de maintenance préventive étaient sans doute moins importantes qu'elles ne le sont aujourd'hui. Par conséquent, nous ne ferons pas, pour notre part, de distinction entre ces deux notions.*

⁶ Le terme d'équipement sera utilisé tout au long de ce document dans une acception très large. Il pourra s'agir d'un bien ou, en référence à ce que Villemeur (1988) définit comme étant une entité, de *"tout élément, composant, sous-système, système, dispositif, équipement, unité fonctionnelle que l'on peut considérer individuellement"* (p. 726).

⁷ Le temps administratif correspond à la *"période de temps pendant laquelle les opérations de maintenance sont en attente ou préparées mais n'ont pas encore démarré ou sont suspendues"* (Villemeur, 1988, p. 746).

- comme **objectif**, l'aptitude de ces équipements à remplir une fonction requise, c'est-à-dire l'obtention de certains états, données et caractéristiques de ces équipements ; cet objectif général se compose de trois missions principales (AFNOR, 1986 a et b ; Hale et al, 1998) :
 - permettre à un équipement de revenir à un état de plein fonctionnement après un dysfonctionnement ou une panne (maintenance corrective) ;
 - prévenir les détériorations et déviations significatives du fonctionnement d'un équipement, susceptibles de menacer non seulement la production mais aussi la sécurité (maintenance préventive) ;
 - améliorer ces équipements et prendre en charge les travaux neufs (maintenance à échelle majeure) ;
- comme **moyens**, la réalisation d'un certain nombre d'opérations sur ces équipements ; maintenir "*c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, modifications, etc.) qui visent à conserver les caractéristiques et les performances d'un matériel*" (Lavina, 1994, p. 13) ; la pratique de la maintenance pendant la durée de vie d'un matériel implique "*des actions de surveillance et de suivi : visites, contrôles, inspections (systématiques ou non) [et] diverses opérations, préventives ou correctives : dépannages, réparations, changements de pièces d'usure, révisions partielles ou totales, et le cas échéant, améliorations*" ; "*actions et (...) opérations [qui] permettent de conserver le potentiel de ce matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production*" (AFNOR, 1986 a, p. 15-16).

Ces différents éléments constitutifs de la maintenance seront examinés maintenant.

II L'EQUIPEMENT, OBJET DE LA MAINTENANCE

Sur la base des définitions précédentes, la maintenance est en interaction constante avec les équipements. L'état, les caractéristiques ou les données relatives à ces équipements déterminent les activités de maintenance à mener, et ces dernières ont pour objectif de modifier ces états, caractéristiques ou données si nécessaire. Les principales caractéristiques et états d'un équipement seront par conséquent définis successivement.

1 Principales caractéristiques d'un équipement

Un équipement peut être décrit selon un certain nombre de caractéristiques, dont les principales sont les suivantes :

- sa **fiabilité**, c'est-à-dire son *"aptitude (...) à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné"*, caractéristique qui peut s'exprimer *"par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné"* (AFNOR, 1986 a, p. 16) ; selon Faverge (1970), *"la fiabilité d'un élément dans l'intervalle de temps (0, t) est la probabilité qu'il ne tombe pas en panne dans cet intervalle"* (p. 303) ;
- sa **maintenabilité**, définie comme son *"aptitude dans des conditions données d'utilisation pour lesquelles il a été conçu (...) à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits"* (AFNOR, 1986 a, p. 16 ; AFNOR 1986 b, 1994 ; Villemeur, 1988)⁸ ;
- sa **durée de fonctionnement**, à savoir la *"durée pendant laquelle un bien accomplit effectivement la fonction qui lui a été assignée"* (AFNOR, 1986 a, p. 16) ;
- sa **disponibilité**, c'est-à-dire son *"aptitude (...) sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées"* (AFNOR, 1986 a, p. 16 ; Villemeur, 1988) ;
- sa **durée de vie**, à savoir la *"durée pendant laquelle un bien a accompli la fonction qui lui a été assignée"* (AFNOR, 1986 a, p. 16) ;

⁸ La maintenabilité vise à minimiser les conséquences des pannes, en favorisant la rapidité et l'économie de la réparation et en limitant les désordres et perturbations causées à l'environnement et aux hommes (cf. AFNOR 1986 b).

- sa **durabilité**, qui constitue *"la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données"* (AFNOR, 1986 a, p. 16) ou, selon Villemeur (1988), *"[l']aptitude d'une entité à demeurer en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données d'utilisation et de maintenance jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint"* (p. 724).

2 Principaux états d'un équipement

En fonction de ses caractéristiques (notamment sa fiabilité, sa maintenabilité et sa durée de fonctionnement), un équipement pourra prendre successivement et, de façon plus ou moins probable ou fréquente, différents états. Ces principaux états sont les suivants :

- l'**état de disponibilité**, défini comme *"[l']état d'une entité caractérisée par son aptitude à accomplir une fonction requise"* (Villemeur, 1988, p. 728) ;
- l'**état de panne**, c'est-à-dire *"[l']état d'une entité caractérisée par une inaptitude à accomplir une fonction requise"* (ibid., p. 728) ;
- l'**état de fonctionnement**, à savoir *"[l']état d'une entité pendant lequel cette entité accomplit une fonction requise"* (ibid., p. 728).

Ces différents états peuvent résulter de différents événements, notamment de :

- une **défaillance**, c'est-à-dire *"[l']altération ou [la] cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise"* (AFNOR, 1986 a, p. 107) ;
- un **défaut**, défini comme un *"écart entre une caractéristique d'une entité et la caractéristique voulue, cet écart dépassant les limites d'acceptabilité"* (Villemeur, 1988, p. 722) ;
- une **usure**, à savoir la *"conséquence du phénomène de "frottement" entraînant une émission de débris avec perte de côte, de forme, de poids"* (Monchy, 1996, p. 123), ou une **dégradation** (Faverge, 1980) ;
- une **panne**, c'est-à-dire *"l'inaptitude d'une entité à accomplir une fonction requise"* (Villemeur, 1988, p. 740) ; différents types de pannes sont distingués selon leur durée, la facilité avec laquelle elles peuvent être détectées et la relation conditionnelle ou non entre leur

manifestation et la capacité de l'équipement concerné à remplir sa fonction (cf. Villemeur, 1988)⁹ :

- les pannes **intermittentes** sont celles subsistant pendant une durée limitée, après laquelle l'équipement redevient apte à accomplir une fonction requise, sans avoir été soumis à une opération de maintenance corrective ;
- les pannes **fugitives** constituent des pannes intermittentes de l'équipement, difficiles à observer ;
- les pannes **permanentes** persistent tant que n'ont pas eu lieu les opérations de maintenance corrective correspondantes ;
- les pannes **latentes ou cachées** sont caractérisées par le fait que, bien qu'existantes, elles n'ont pas encore été détectées ;
- un **dysfonctionnement**, ce dernier correspondant à un trouble dans le fonctionnement de l'équipement.

L'objectif de la maintenance constitue, par conséquent, l'obtention, le maintien et le renouvellement de l'état de disponibilité de l'équipement. Notons que les différents événements susceptibles de modifier cet état peuvent être rapprochés de ce que Faverge (1980) désigne sous le terme de "**seuil de récupération**". Selon ce dernier en effet, *"le signal initiateur d'une activité de récupération peut être une divergence plus ou moins grande de l'état normal, il s'agira quelquefois d'une panne qui met en arrêt la fabrication, mais aussi d'un dérèglement ou d'une perturbation manifesté sur un cadran par une déviation plus ou moins accusée de l'index ; il arrivera même qu'on prenne en considération des signes avant-coureurs de perturbations éventuelles ou des signes indirects de perturbations difficiles à observer directement"* (p. 203). Soulignons également que le niveau-seuil du signal déclencheur est, selon cet auteur, pour une part subjectif.

⁹ Notons que d'autres typologies relatives, par exemple, à l'événement à l'origine de la panne (panne infantile, accidentelle ou d'usure ; cf. Faverge, 1967) existent.

III LES MISSIONS : MAINTENANCE CORRECTIVE, PREVENTIVE ET A ECHELLE MAJEURE

L'objectif général de la maintenance constitue donc l'aptitude des équipements à remplir une fonction requise (état de disponibilité) et comprend, comme cela a été précisé précédemment, trois missions principales, auxquelles la littérature se réfère généralement par la distinction de trois types de maintenance¹⁰ (cf. AFNOR, 1986 a ; Villemeur, 1988 ; Fadier & Mazeau, 1996) :

- la maintenance corrective,
- la maintenance préventive,
- la maintenance à échelle majeure (grands travaux de construction ou de modification).

Ces différents types de maintenance seront examinés successivement.

1 La maintenance corrective

1.1 Définitions

De nombreuses définitions de la **maintenance corrective** sont proposées dans la littérature. Elles se distinguent les unes des autres sur deux points principaux, l'élément déclencheur de ce type de maintenance (ce dernier constitue tantôt une panne, tantôt une défaillance) et les opérations de maintenance concernées (selon les définitions proposées, la maintenance corrective comprend ou non des opérations d'amélioration).

Ainsi, pour l'AFNOR (1986 a), la maintenance corrective constitue la maintenance "*effectuée après défaillance du matériel*" (p. 17 ; c'est nous qui soulignons) et comprend "*le dépannage ou la réparation après panne*" (p. 19), encore appelée **maintenance curative** (cf. Leplat & Savoyant, 1972) ainsi que "*un certain nombre d'opérations d'amélioration visant la suppression ou la diminution des pannes et anomalies, l'augmentation de la durée de vie des organes, la réduction des consommations, standardisation des composants et amélioration de la maintenabilité, etc.*" (p.

¹⁰ Les activités et opérations de maintenance sont en effet généralement regroupées selon leur origine (une panne ou un programme d'interventions, par exemple) et leurs objectifs. Il existe, toutefois, d'autres typologies basées, par exemple, sur le type d'équipement qui en fait l'objet. Lavina (1994) distingue ainsi, quatre sortes de maintenance, selon qu'elles concernent les équipements industriels de production, les bâtiments et les installations de bâtiment, un parc de matériel roulant ou des systèmes en réseau (comme les logiciels, par exemple ; sur ce sujet, voir Chauvin, 1991). Notons qu'il se réfère néanmoins à la typologie classique, puisqu'il différencie, dans le cadre des responsabilités associées à la mission principale de la maintenance, la réparation et la remise en état de l'outil de production (maintenance corrective), le diagnostic permanent de l'état des équipements et installations (maintenance préventive) et la réalisation de travaux neufs d'installation ou d'aménagements jugés opportuns (grands travaux de construction ou de modification).

19). Selon Villemeur (1988), elle concerne la "*maintenance effectuée après la détection de panne et destinée à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise*" (p. 736 ; c'est nous qui soulignons), et ne semble pas comprendre les opérations d'amélioration évoquées précédemment.

Dans la mesure où, d'une part, les distinctions effectuées entre les notions de panne et de défaillance ne sont pas toujours très consistantes¹¹ et, d'autre part, les opérations d'amélioration, évoquées par l'AFNOR, nous paraissent correspondre à ce que certains auteurs évoquent sous le terme de "maintenance améliorative" (cf. définition page 21) et nécessiter des opérateurs des activités très différentes de celles menées lors d'une réparation ou d'un dépannage, nous adopterons la définition de Villemeur, en considérant néanmoins que les éléments déclencheurs de ces opérations peuvent constituer des pannes, mais également des dysfonctionnements, défaillances et défauts ayant pour simple conséquence un état de fonctionnement non optimal de l'équipement¹².

1.2 Différents types de maintenance corrective

Différents types de maintenance corrective paraissent pouvoir être distingués selon :

- le délai de réponse existant entre la manifestation de la panne (ou de la défaillance) et le déclenchement de l'opération de maintenance correspondante ;
- la nature provisoire ou définitive de l'intervention de maintenance effectuée.

Ainsi, la maintenance corrective peut être **immédiate**. L'intervention de maintenance constituera alors fréquemment une solution **provisoire**, c'est-à-dire un dépannage (le dépannage désigne en effet des interventions de maintenance provisoires effectuées dans un délai bref, à partir de la signalisation d'une panne ; cf. Bertrand & Weill-Fassina, 1993 ; AFNOR, 1986 a).

Elle peut également être **différée**. Dans ce dernier cas, elle "*n'est pas déclenchée immédiatement après une détection de panne mais est retardée conformément à des règles de maintenance données*" (Villemeur, 1988, p. 736). L'intervention de maintenance correspondante sera en principe **définitive** (cf. la définition de la réparation, page 25).

¹¹ Par exemple, Villemeur (1988) considère que "*une panne résulte toujours d'une défaillance*" (p. 33), en même temps qu'il précise "*une panne est généralement la conséquence d'une défaillance ; néanmoins, elle peut exister sans défaillance préalable*" (p. 740 ; c'est nous qui soulignons).

¹² De la même façon que Bertrand et Weill-Fassina (1993) estiment qu'une panne est la manifestation d'un dysfonctionnement, nous considérons qu'une panne peut être la manifestation d'une défaillance. Ainsi, une défaillance peut ne pas occasionner de panne (i.e. une inaptitude de l'équipement à accomplir une fonction), mais une simple altération de cette aptitude. Par ailleurs, une panne donnée peut résulter de diverses défaillances (des manifestations identiques peuvent être occasionnées par des défaillances différentes).

En outre, un type particulier de maintenance corrective immédiate est désigné sous les termes de "**maintenance opérationnelle**" ou "**télémaintenance**" (cf. Monchy, 1996). Ce type de maintenance, particulièrement développé dans les entreprises de transport, repose sur le suivi en temps réel de l'état et du fonctionnement de l'équipement grâce à un central de surveillance, et sur la réalisation d'interventions ou d'opérations de reconfiguration de l'équipement dès qu'un défaut est détecté. Il s'agit donc "*de maintenir et de restituer en permanence la disponibilité des installations techniques [aux exploitants]*" (Lasserre-Soria, 1995, p. 1 ; c'est nous qui soulignons). Par exemple, dans les Centres en Route de la Navigation Aérienne, la maintenance opérationnelle est "*chargée de pallier, en temps réel, aux dégradations accidentelles des performances des installations pour répondre à tout moment aux besoins de l'exploitation*" (Courteix-Kherouf, 1995, p. 75), l'objectif visé étant une disponibilité opérationnelle maximale de ces installations pour les contrôleurs aériens (pour une analyse des pratiques de sûreté de fonctionnement dans ce domaine, voir Morvan-Kauffmann, 1999).

2 La maintenance préventive

2.1 Définitions

La **maintenance préventive** concerne la "*maintenance effectuée à intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'une entité*" (Villemeur, 1988, p. 736 ; AFNOR, 1986 a). Leplat et Savoyant (1972) la définissent comme "*l'ensemble des mesures et interventions exécutées à intervalles réguliers pour devancer les avaries*".

2.2 Différents types de maintenance préventive

Deux types de maintenance préventive sont généralement différenciés :

- la **maintenance programmée ou systématique**, c'est-à-dire la "*maintenance préventive effectuée conformément à un calendrier*" (Villemeur, 1988, p. 736), "*dont le critère d'exécution est un échéancier*" (Fadier & Mazeau, 1996, p. 1471) ou opérée "*selon un échéancier établi d'après le temps ou le nombre d'unités d'usage*" (AFNOR, 1986 a, p. 17) ;
- la **maintenance non programmée**, c'est-à-dire la "*maintenance préventive qui n'est pas effectuée conformément à un calendrier mais par exemple après réception d'une indication relative à l'état d'une entité*" (Villemeur, 1988, p. 736) ; ce type d'opérations est désigné par l'AFNOR (1986 a) sous le terme de **maintenance conditionnelle**, et défini comme celle

opérée *"en fonction d'un événement défini préalablement et révélateur de l'état de dégradation du bien (information d'un capteur, mesure d'une usure...)"* (p. 17) ; selon Leplat et Savoyant (1972), la subordination de ces interventions à des événements prédéterminés en fait un type de maintenance *"moins aveugle que l'entretien préventif [systématique] dans la mesure où l'on ne change que des pièces ou organes réellement sur le point de tomber en panne"*.

Soulignons que Fadier et Mazeau (1996) effectuent une distinction supplémentaire, relative à la nature de l'indication utilisée pour déclencher une opération de maintenance non programmée. Ainsi :

- la maintenance conditionnelle concerne, selon ces auteurs, les seuls cas où le critère d'exécution de la maintenance est lié à l'identification d'un état particulier (usure, par exemple),
- par contre, si la maintenance est opérée en fonction d'un événement défini préalablement (cf. supra la définition de la maintenance conditionnelle proposée par l'AFNOR, 1986 a), c'est-à-dire si le critère d'exécution est issu de la connaissance de l'évolution de l'équipement, les opérations effectuées relèvent de la **maintenance prédictive** (Fadier & Mazeau, 1996).

3 La maintenance à échelle majeure

3.1 Définition

Outre les deux types de maintenance évoqués précédemment, De la Garza Corona (1995) distingue une forme supplémentaire de maintenance : la **maintenance à échelle majeure liée aux grands travaux de modification ou de construction d'équipements**. Elle concerne les opérations de maintenance effectuées dans le but de permettre l'accomplissement de fonctions nouvelles ou supplémentaires, ou les mêmes fonctions dans de meilleures conditions. Ce type de maintenance est fréquemment effectué lors d'arrêts programmés du fonctionnement des équipements (périodes que les entreprises désignent souvent sous les termes "d'arrêts programmés", "arrêts pour maintenance" ou "travaux d'été" ; cf. Bauman & Van Cott, 1986 ; Kandaroun & Huez, 1992 ; Bourrier, 1996).

3.2 Différents types de maintenance à échelle majeure

Deux types de maintenance à échelle majeure peuvent être différenciés :

- la **maintenance "améliorative"**, définie comme l'ensemble des activités et actions visant à améliorer la fiabilité et la maintenabilité du système (cf. Fadier & Mazeau, 1996) ou consistant *"à modifier un équipement ou un sous-ensemble (...) de façon à augmenter sa sécurité, sa fiabilité, et sa maintenabilité, donc sa disponibilité"* (Monchy, 1996, p. 74) ; l'objectif est de réduire le coût de la maintenance ou des opérations d'exploitation (augmentation des capacités de production par introduction d'automatismes, par exemple ; cf. AFNOR, 1986 a) ; ce type de maintenance comprend les opérations d'amélioration relevant de la maintenance corrective selon l'AFNOR (cf. pages 17-18) ;
- les **travaux de construction, d'installation, de démarrage et de mise au point ou travaux neufs** (cf. AFNOR, 1986 a) ; opérations qui comprennent l'installation (la mise en place) de nouveaux biens ou équipements, leur mise au point (essais préliminaires, réglages et modifications nécessaires), et leur mise en service après installation (Monchy, 1996).

Bien que ces dernières opérations soient sous la responsabilité d'un service particulier dans un certain nombre d'entreprises, les travaux neufs sont de plus en plus souvent pris en charge par la maintenance. Selon Monchy (1996) en effet, environ 70% des services de maintenance sont responsables des travaux neufs.

4 Relations entre les caractéristiques et états des équipements et les différentes missions de maintenance

L'examen de ces différentes missions de la maintenance montre que celles-ci se distinguent en fonction du caractère aléatoire ou planifié de l'élément déclencheur des opérations en question (panne ou usure par exemple). L'AFNOR (1986 a) souligne ainsi que *"la distinction entre maintenance corrective et préventive repose sur le fait que la première, comme la panne, est aléatoire tandis que l'autre est prévue et doit même être largement planifiée"* (p. 17). La maintenance à échelle majeure se caractérise, pour sa part, par un degré de planification encore plus important.

Elles se différencient également selon la nature exclusivement ou partiellement intrinsèque à l'équipement de cet élément déclencheur : panne de l'équipement, planning de maintenance élaboré sur la base de données relatives à cet équipement ou analyse à plus long terme de la fiabilité et de la durabilité de l'équipement, par exemple. Selon l'AFNOR (1986 a), la maintenance corrective

correspond en effet à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires, tandis que la maintenance préventive correspond à une volonté de programmation et de planification des travaux. La maintenance à échelle majeure relève, quant à elle, d'une volonté de planification à plus long terme.

La maintenance corrective correspond ainsi à une mission de récupération des états de panne ou de fonctionnement non optimal des équipements, la maintenance préventive à une mission d'anticipation et/ou de régulation de ces états (augmentation de la durabilité), et la maintenance à échelle majeure à une mission de planification, modification et amélioration des états probables des équipements (cf. tableau 1).

MAINTENANCE	↔	EQUIPEMENT
OBJECTIF GLOBAL	→	Etat de disponibilité
CORRECTIVE	←	Etat de panne
	→	Etat de disponibilité
	←	Etat de fonctionnement non optimal
	→	Etat de fonctionnement optimal
PRÉVENTIVE Echéancier ⇒ SYSTÉMATIQUE CONDITIONNELLE	→	Durabilité (augmentation)
	←	Données relatives à la durée de vie, la durée de fonctionnement, l'usure, le nombre de pannes, les paramètres significatifs des dégradations probables
	→	Durabilité (augmentation)
	→	Durabilité (augmentation)
A ECHELLE MAJEURE AMELIORATIVE	→	Meilleures conditions et états de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, durée de vie...)
TRAVAUX NEUFS	→	Nouvel équipement : nouvelles fonctions, nouvel état de disponibilité
→ OBJECTIF ← RELATION DE DETERMINATION		

Tableau 1. Relations entre le type de maintenance et les caractéristiques et états des équipements

IV LES MOYENS : DIFFERENTES OPERATIONS ET ACTIVITES DE MAINTENANCE

Afin d'atteindre son objectif et de remplir ses trois missions principales, un certain nombre d'opérations et d'activités sur les équipements peuvent être réalisées par la maintenance. Ce sont à ces opérations et activités que nous nous intéresserons maintenant. Certaines d'entre elles constituent, en référence à la définition de la maintenance proposée par Villemeur (cf. page 11), des actions techniques de maintenance (diagnostic de panne ou réparation, par exemple), d'autres plutôt des actions administratives (cas de la gestion de la fiche historique de l'équipement concerné).

Ces différentes activités seront présentées en fonction du type de maintenance dont elles relèvent et de leur déroulement temporel. Trois grandes étapes dans ce déroulement seront généralement distinguées : ce qui a lieu antérieurement, de façon concomitante et à l'issue de la réalisation de l'intervention de maintenance. Précisons que certaines activités et opérations de maintenance peuvent être communes aux différents types de maintenance et que de nombreux liens existent entre ces différents types de maintenance (par exemple, suite à une révision menée avec un objectif correctif, des travaux de maintenance à échelle majeure, tels qu'une rénovation de l'équipement concerné, peuvent être programmés). En outre, des variations dans le déroulement temporel de ces activités peuvent être observées (courts-circuits ; boucles de rétroaction, si les contrôles ou les tests effectués à l'issue de l'intervention ne sont pas satisfaisants ; variations dans l'agencement des différentes opérations, etc.). Par conséquent, le déroulement temporel et la classification des opérations et activités de maintenance proposés ici ne sont qu'indicatifs.

1 Opérations et activités de maintenance corrective

1.1 Opérations et activités antérieures à la réalisation de l'intervention de maintenance corrective

Comme cela a été précisé précédemment, le premier événement dans le déroulement d'une intervention de maintenance corrective est la survenue d'un élément déclencheur tel qu'une panne, une défaillance ou encore un défaut (Fassina, 1962). Différentes opérations peuvent ensuite être menées :

- la **détection de la panne** (Fassina, 1962 ; AFNOR, 1986 b), c'est-à-dire "[l']action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une [panne] ou l'existence d'un élément défaillant" (AFNOR, 1986 b, p. 394) ;

- la **localisation de la panne**, à savoir "[l']*action conduisant à rechercher précisément l'[les] élément[s] par le[s]quel[s] la [panne est survenue]*" (AFNOR, 1986 b, p. 394 ; Fassina, 1962) ;
- le **diagnostic de la panne**¹³, considéré comme une chaîne d'activités (Caverni et al., 1990) , dont les principales constituent la compréhension, c'est-à-dire "[l']*organisation d'un ensemble d'éléments en une structure significative*", la finalisation de cette organisation "*par une décision explicite d'action ou de refus d'action*" et la mise en œuvre de cette décision de façon à "*modifier l'ensemble d'éléments pour qu'il s'organise en une structure plus satisfaisante en relation à des objectifs définis*" (ibid. p. 158) et dont le but est une résolution de problème (Fassina, 1962) ; le diagnostic de panne consiste ainsi en "[l']*identification de la cause probable de la [ou des] [pannes] à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test*" (AFNOR, 1986 b, p. 394)¹⁴ ;
- l'**identification du niveau d'urgence de l'intervention**, dans le cas d'opérations de maintenance corrective, pour lesquelles le délai de réponse entre la détection de la panne et le déclenchement de l'intervention de maintenance n'est pas prédéfini (maintenance opérationnelle exclue ; voir par exemple, la situation décrite par Abéla et Mazeau, 1996) ;
- la **préparation de l'intervention** ; il s'agit d'une analyse de l'intervention à mener dans l'objectif de réduire le temps d'indisponibilité de l'équipement, le temps d'intervention et le coût des stocks de pièces, de permettre une réponse adaptée aux besoins des exploitants et d'améliorer les conditions de travail et la sécurité du personnel de maintenance¹⁵ ; cette analyse peut concerner différents points : la nature du travail à effectuer ; les points clés de l'intervention, susceptibles de nécessiter une visite sur place ; les procédures de sécurité, la documentation (instructions de maintenance du matériel, par exemple), les outillages, moyens et pièces nécessaires ; la définition du mode opératoire de l'intervention ; la détermination des intervenants, de leur nombre, du temps prévu pour l'intervention et de son critère principal (rapidité, coût ou précision, par exemple) ;

¹³ Le diagnostic et la localisation de la panne peuvent ne pas constituer deux étapes distinctes.

¹⁴ Au sens actif, le diagnostic constitue "*la procédure de recherche en vue de l'identification*" et "*au sens passif, le résultat de cette procédure, c'est-à-dire l'état identifié*" (Leplat & Savoyant, 1972).

¹⁵ En fonction du type de maintenance corrective, la préparation de l'intervention pourra être plus ou moins importante, voire inexistante. Selon l'AFNOR (1986 a ; voir également Jabot, 1963) en effet, seuls les travaux importants, répétitifs et/ou nécessitant un arrêt de l'exploitation peuvent être préparés. Dans le cas d'une réparation, cette phase de préparation vise à "*établir la liste du matériel nécessaire et déterminer les temps d'exécution d'où l'on déduira les prix et les délais, et surtout ne confier aux exécutants qu'un travail bien défini ainsi que la méthode et les moyens les plus convenables pour l'exécuter*" (Muffat, 1961, cité par Leplat & Savoyant, 1972).

- **l'autorisation de l'intervention de maintenance** ; une autorisation de l'intervention de maintenance par l'exploitation peut être nécessaire, parce qu'elle a été prévue dans la procédure de maintenance (Abéla et Mazeau, 1996), pour des raisons de sécurité ou parce que l'équipement reste sous la responsabilité de l'exploitation pendant la durée de l'intervention, par exemple (Bourrier, 1996) ;
- la **consignation, condamnation et/ou dépose** (mise à disposition) des équipements, opérations conditionnées par le type d'équipement à maintenir et/ou la nature de l'intervention de maintenance à effectuer (révision, réparation ou dépannage ; cf. infra) ;

la consignation concerne *"l'ensemble des dispositions permettant de mettre et de maintenir en sécurité (si possible par un moyen physique) une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en marche d'une machine, fermeture d'un circuit électrique, ouverture d'une vanne...) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants"* (Lupin & Marsot, 1995, p. 63 ; Kandaroun & Huez, 1991) ; elle constitue la résultante *"des actions suivantes : séparation de la machine de toutes les sources d'énergie ou autres auxiliaires [qui doit] être apparente (...) ; si nécessaire (...) condamnation en position de "séparation" de tous les appareils de séparation ; prise des mesures permettant de s'assurer qu'en aval des points de séparation, il n'existe plus d'énergie potentielle (...), d'énergie cinétique (...) ; vérification, par un mode opératoire sûr, de l'effet des mesures [précédentes]"* (AFNOR, 1991, p. 25) ; la condamnation vise, pour sa part, à *"empêcher toute mise en route ou sous tension intempestive ; éviter des dégâts sur un équipement partiellement démonté ; éviter tout dégagement de gaz, air comprimé..., tout écoulement de liquide pouvant léser une personne travaillant dans le secteur ; éviter à toute personne non habilitée une action dangereuse"* (Monchy, 1996, p. 305) ; enfin, une dépose constitue une *"mise à disposition d'un module d'un système grevant sa disponibilité"* (Monchy, 1996, p. 372), permettant de démonter le module ou l'équipement en question en dehors du site (dans l'atelier central de maintenance, par exemple).

1.2 Activités concomitantes à ou constitutives de l'intervention de maintenance corrective

L'intervention de maintenance corrective proprement dite, peut prendre différentes formes. Il peut s'agir de :

- une **réparation**, c'est-à-dire une *"intervention définitive et limitée de maintenance corrective après [panne]"* (AFNOR, 1986 b, p. 394) consistant *"formellement, à ramener le système de son état actuel [panne] défini par le diagnostic, à l'état normal"* (Leplat & Savoyant, 1972) ;

- un **dépannage**, à savoir une *"action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, au moins provisoirement"* (AFNOR, 1986 b, p. 394) ;
- une **révision** (si elle est déclenchée par une panne), c'est-à-dire *"[l']ensemble des actions d'examen, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné"* (ibid., p. 394) ; notons qu'une révision implique, dans tous les cas, la dépose de différents sous-ensembles et peut être partielle ou générale, selon l'étendue de l'opération.

Par ailleurs, par consigne, pour des raisons de sécurité, ou parce que l'équipement est sous leur responsabilité pendant la durée de l'intervention, un **suivi des interventions de maintenance** corrective peut être effectué par les opérateurs (cf. Bourrier, 1996). Il consiste à se tenir informé des opérations de maintenance menées *"autant pour les isollements successifs que pour l'utilisation du reste des installations"* (Abéla & Mazeau, 1996), le but étant d'éviter la réalisation simultanée de deux interventions incompatibles, de coordonner les travaux pour limiter les risques liés à la proximité des intervenants ou encore d'éviter l'action sur des organes ou équipements qui permettent un isolement ou sur lesquels une intervention est menée.

1.3 Opérations et activités ayant lieu à l'issue de l'intervention de maintenance corrective

A l'issue de la réalisation de l'intervention de maintenance corrective, un **contrôle**, c'est-à-dire une *"vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement (susceptible de) comporter une activité d'information, inclure une décision (acceptation, rejet, ajournement), déboucher sur des actions correctives"* (AFNOR, 1986 b, p. 393) peut être effectué (Fassina, 1962). Il s'agit de s'assurer du fonctionnement de l'équipement après réparation, dépannage ou révision, et par conséquent, du bien-fondé de l'opération effectuée.

Par ailleurs, si l'intervention de maintenance corrective a nécessité une consignation, une dépose et/ou une mise à disposition de l'équipement, une **déconsignation**¹⁶, une **repose** et/ou une **remise en configuration de marche** devront être effectuées. Ces opérations consistent, entre autres, à ôter les séparations et condamnations effectuées et à s'assurer de l'effet de ces mesures.

Un **test** de cet équipement (nouveau contrôle) pourra alors être réalisé, après avoir été remis en configuration, déconsigné et/ou reposé. Il s'agit d'effectuer une *"comparaison des réponses d'un dispositif à des sollicitations prédéterminées avec des réponses "signatures" significatives d'un bon*

¹⁶ Une déconsignation constitue *"l'ensemble des dispositions permettant de remettre en état de fonctionnement une machine, un appareil ou une installation préalablement consigné, en assurant la sécurité des intervenants et des exploitants"* (Lupin & Marsot, 1995, p. 63).

fonctionnement" (Monchy, 1996, p. 371) et de s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement avec toutes les sources d'énergie et les auxiliaires nécessaires.

En outre, une **réactualisation et une analyse des informations contenues sur la fiche historique de l'équipement** concerné par l'intervention peuvent être menées. Ces fiches regroupent généralement tous "*les renseignements et documents concernant les pannes (fréquence, importance, localisation) et les interventions de maintenance effectuées*" (AFNOR, 1986 a, p. 65).

2 Opérations et activités de maintenance préventive

Selon Hagau (1995), la maintenance préventive est composée de quatre étapes principales :

- la préparation de l'expertise ;
- la réalisation de l'expertise ;
- l'interprétation des résultats de l'expertise ;
- l'intervention après expertise.

Ces quatre étapes seront examinées successivement.

2.1 La préparation de l'expertise

La **préparation de l'expertise** constitue la principale activité menée avant toute intervention de maintenance préventive. Elle est relative, comme précédemment la préparation de l'intervention de maintenance corrective, à l'analyse des procédures de sécurité et de la documentation concernant l'expertise à mener, et à la définition du mode opératoire, des outillages et matériels nécessaires (appareils de mesure, par exemple), ainsi que des intervenants et du temps prévu d'intervention.

Elle vise, en outre, une prise en compte de l'ensemble des événements se rapportant à l'équipement, de façon à ce que l'expertise menée soit fonction de celles effectuées par le passé, à venir, et de l'ensemble des informations relatives à l'équipement en question (cas des visites annuelles, par exemple ; cf. Dechez, 1991).

La préparation de l'expertise concerne, par conséquent et pour une large part, l'analyse technique du comportement du matériel (cf. Leplat & Savoyant, 1972 ; Monchy, 1996) :

- choix des équipements ou points clés à expertiser, en fonction de leur criticité ;
- consultation, analyse et exploitation (ou établissement en cas de nouvelle acquisition) des fiches historiques des équipements, de la documentation technique et des fiches d'expertise (ces dernières comprennent la procédure et les consignes d'expertise, les plans etc.) ;

- dans le cas d'une expertise de maintenance préventive programmée ou systématique, détermination, vérification ou modification de la fréquence de l'expertise à réaliser (examen de l'échéancier ou du calendrier des expertises) ;
- dans le cas d'une expertise de la maintenance conditionnelle, détermination, vérification ou modification des paramètres significatifs des dégradations probables de l'équipement et des seuils à partir desquels les valeurs observées des paramètres ne seront plus acceptables.

Elle est considérée comme une phase essentielle pour le contrôle de l'efficacité de la maintenance, dans la mesure où *"c'est lors de la préparation que sont comptabilisées toutes les dépenses (...) et que sont établies [les] prévisions de dépenses"* (Leplat & Savoyant, 1972).

2.2 La réalisation de l'expertise

L'intervention de maintenance préventive ("expertise") peut prendre différentes formes, celles de (cf. AFNOR, 1986 b) :

- une **inspection**, c'est-à-dire une *"activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie [et qui] n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies"* (p. 393) ; cas des rondes sur les matériels en fonctionnement, par exemple ;
- un **contrôle**, défini comme la *"vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement"* (p. 393 ; selon Hagau (1995), le contrôle fait partie de la troisième étape de maintenance préventive, à savoir l'interprétation des résultats après expertise) ;
- une **visite de maintenance** : *"opération de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de premier niveau"*¹⁷

¹⁷ Les différentes opérations de maintenance sont classées en cinq niveaux, selon leur ampleur (AFNOR 1986 b ; Monchy, 1996) :

- la maintenance de premier niveau, encore appelée "entretien de régime" (cf. Leplat & Savoyant, 1972), concerne les *"réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement"*, ainsi que les *"échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que (les) voyants ou certains fusibles"* (AFNOR, 1986 b, p. 395) ; le stock de pièces nécessaire à ces opérations de maintenance est très faible (AFNOR, 1986 a) ;
- le deuxième niveau de maintenance est relatif aux *"dépannages par échanges standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que (le) graissage ou (le) contrôle du bon fonctionnement"* (AFNOR, 1986 b, p. 395) ;
- la maintenance de troisième niveau comprend les opérations suivantes : *"identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive, telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure"* (ibid., p. 395) ;
- le quatrième niveau de maintenance concerne *"tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction (ainsi que) le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés"* (ibid., p. 396) ;
- le cinquième niveau est relatif aux *"rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure"* (ibid., p. 396).

(p. 393) ;

- un **test**, c'est-à-dire une *"opération permettant de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte"* (p. 394).

La périodicité de ces différentes opérations (inspections, contrôles, visites et tests) est :

- dans le cas d'une maintenance programmée, fixée par un calendrier ou un échéancier établi sur la base des préconisations du constructeur, de l'expérience acquise relativement à la maintenance corrective de l'équipement ou de critères tels que la Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (MTBF) ; la périodicité de l'expertise est prédéterminée (visite tous les 6 mois ou toutes les 500 heures d'usage, par exemple) ;
- dans le cas d'une maintenance conditionnelle, continue ou périodique, et définie selon les paramètres significatifs des dégradations probables de l'équipement (par exemple, contrôles de pression ou de température en continu, mesures périodiques du niveau de vibration d'un équipement).

2.3 Activités menées à l'issue de l'expertise

2.3.1. L'analyse et l'interprétation des résultats de l'expertise

Les données issues de l'expertise sont ensuite examinées. Dans le cas de la maintenance conditionnelle, cette analyse consiste à déterminer si les valeurs prises par les paramètres choisis et significatifs de l'état de l'équipement sont ou non acceptables par rapport aux seuils qui ont été définis. Selon les conclusions de l'interprétation des résultats de l'expertise, une intervention pourra être envisagée, auquel cas, le choix de la période d'intervention et sa nature devront être définis. Cette phase d'analyse consiste donc à effectuer un diagnostic sur la base des opérations de surveillance menées (AFNOR, 1986 a ; Leplat & Savoyant (1972) utilisent d'ailleurs la notion de "entretien suivant diagnostic" pour se référer à ce type de maintenance).

Dans le cas de la maintenance systématique ou programmée, une intervention peut être effectuée directement et systématiquement (par exemple, vidange tous les 3 mois, graissage toutes les 500 heures d'usage) ou être envisagée après examen des résultats de l'expertise (à l'issue des rondes ou des tests effectués périodiquement, par exemple).

Dans les deux situations, l'interprétation des résultats de l'expertise peut donner lieu à un rapport d'expertise.

2.3.2 L'intervention après expertise

La réalisation de l'intervention après expertise est fonction du type de maintenance préventive et des résultats de l'expertise. Elle n'est pas systématique. Néanmoins, et comme le précise l'AFNOR :

- les inspections ou opérations de surveillance peuvent donner lieu à des *"interventions légères, corrections de petites pannes, intervention de premier niveau"* (1986 a, p. 17), telles que des réglages, par exemple ;
- *"un contrôle peut (...) déboucher sur des actions correctives"* (1986 b, p. 393) ;
- *"certaines opérations de maintenance peuvent être effectuées suite à des anomalies constatées lors de la visite (de maintenance) proprement dite"* (1986 b, p. 393) ; ainsi, *"si on ignore les durées de vie des pièces et composants du matériel, ces visites imposent très souvent des travaux de maintenance décidés sur le champ, parce qu'urgents ou planifiés"* (1986 a, p. 19).

Par ailleurs, l'intervention menée pourra prendre différentes formes :

- simples réglages, nettoyages, graissages, ajustements de niveaux, vidanges, etc. (cf. Monchy, 1996) ;
- opérations de réparation plus ou moins importantes ou révisions¹⁸ ;
- remplacements de pièces ou d'organes ou **échanges standards** (ces derniers étant définis comme la *"reprise d'un élément, d'un sous-ensemble ou d'un ensemble usagé, et [la] vente au même client d'un élément, d'un ensemble ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état"* (AFNOR, 1986 b, p. 395)).

Selon la forme de l'intervention, d'autres opérations et activités de maintenance pourront s'ajouter aux précédentes (identification du niveau d'urgence de l'intervention, préparation de l'intervention, autorisation de l'intervention, consignation, etc.). La gestion de la fiche historique de l'équipement permettra de préparer la prochaine analyse technique du comportement du matériel, ainsi que les expertises futures.

¹⁸ Une révision constitue une opération de maintenance préventive, si un échéancier ou la mesure d'une usure en est à l'origine (AFNOR, 1986 b).

3 Opérations et activités de maintenance à échelle majeure

3.1 Préparation et planification des travaux

La maintenance à échelle majeure, qu'il s'agisse d'opérations de type amélioratif ou de travaux neufs, est souvent réalisée lors d'un arrêt ou d'une révision (cf. Monchy, 1996). Une première étape de ce type de maintenance consiste, par conséquent, en une large phase de **préparation et de planification des travaux**. Celle-ci concerne :

- l'établissement et la définition d'un cahier des charges (analyse économique et technique des travaux à mener) ;
- le choix et la réception éventuels des nouveaux matériels ou équipements,
- l'étude technique de leur implantation ou des modifications à opérer,
- comme précédemment pour la maintenance corrective et préventive, l'analyse des procédures de sécurité et de la documentation relative aux interventions à mener, la définition des modes opératoires, des outillages et matériels nécessaires, ainsi que celle des intervenants et du temps prévu des interventions.

3.2 Les interventions de maintenance à échelle majeure

Dans le cas d'opérations de type amélioratif, les interventions consécutives à cette phase de préparation peuvent constituer :

- des **modifications** ; il s'agit "[d']opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement ou d'en changer les caractéristiques d'emploi" (AFNOR, 1986 b, p. 395) ;
- des **modernisations**, définies comme le "*remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciels, apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien*" (AFNOR, 1986 a, p. 104) ; ces opérations consistent ainsi à remplacer des composants âgés ou à leur adjoindre des composants d'une génération technologique nouvelle (Monchy, 1996) ;
- des **rénovations**, comprenant l'inspection complète de tous les organes de l'équipement, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques des pièces et sous-ensembles de l'équipement, leur réparation, s'ils sont défectueux, usés, corrodés ou douteux ou l'achat d'éléments neufs, si les réparations ne sont pas possibles, la conservation des éléments expertisés comme "bons", ainsi que le remontage et

la vérification de la "remise à niveau" par comparaison avec les performances initiales (AFNOR, 1986 a ; Monchy, 1996) ;

- et/ou des **reconstructions**, c'est-à-dire la *"remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes"* (AFNOR, 1986 a, p. 104) ; ces dernières opérations, qui interviennent après une durée de vie économique de l'équipement, peuvent permettre d'éviter le remplacement du matériel.

Soulignons qu'une rénovation peut faire suite à une révision générale et que des opérations de modernisation ou de modification peuvent être effectuées à l'occasion d'une rénovation ou d'une reconstruction.

Quant aux interventions de maintenance menées lors de travaux neufs (construction, installation, démarrage et mise au point d'équipements), elles peuvent revêtir des formes extrêmement variées. Ainsi, *"l'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre. Il peut s'agir de la construction d'un quai ou d'un bâtiment, de la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur (préparation de l'emplacement, raccordement à la source d'énergie, etc.) ou même de la réalisation intégrale de la machine elle-même"* (AFNOR, 1986 a, p. 54).

3.3 Opérations et activités effectuées à l'issue des interventions de maintenance à échelle majeure

Différentes opérations pourront être effectuées, une fois l'équipement choisi, modifié, modernisé, rénové, construit ou reconstruit :

- une **vérification de conformité** par rapport au cahier des charges ou à la commande ;
- l'**installation** de l'équipement : *"mise en place d'un bien et de ses accessoires, et si nécessaire, raccordement de ses diverses entrées et sorties aux équipements dont il est tributaire"* (AFNOR, 1986 a, p. 158) ;
- sa **mise au point**, c'est-à-dire l'ensemble des *"essais, réglages et modifications nécessaires à l'obtention de l'état spécifié"* (ibid., p. 158), les **essais** constituant *"des opérations à faire subir au bien afin de s'assurer qu'il peut accomplir une fonction requise"* (ibid., p. 157) ;
- sa **mise en service**, à savoir *"[l']ensemble des opérations nécessaires, après installation du bien, à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles"* (AFNOR, 1986 a, p. 158).

D'autres opérations et activités pourront, comme précédemment, être observées (consignation, dépose des équipements, etc.). Par ailleurs, les travaux de maintenance améliorative seront, comme toute modification, à porter sur le dossier relatif à l'équipement (corrections des plans, schémas, etc.), et les travaux neufs "*doivent être l'opportunité de prévoir le recueil de données de fiabilité et leur mémorisation*" (AFNOR, 1986 a, p. 54).

CONCLUSION. QUELQUES CARACTERISTIQUES DES ACTIVITES DE MAINTENANCE SUSCEPTIBLES DE CONTRIBUER A LEUR CRITICITE

L'examen de la littérature et les éléments présentés ci-dessus permettent d'identifier quelques caractéristiques des activités de maintenance, susceptibles de contribuer à leur criticité du point de vue de la sécurité. On s'attachera plus particulièrement ici à certaines d'entre elles, qui sont particulièrement manifestes : la diversité des activités de maintenance, le fort degré d'incertitude qui les caractérise, l'importante mobilité des opérateurs qu'elles exigent, le fait qu'elles nécessitent des actions directes sur les équipements ou encore les fortes contraintes temporelles, auxquelles elles sont généralement soumises.

1 Diversité des activités de maintenance

Une première caractéristique qui ressort de l'examen des moyens, dont dispose la maintenance pour remplir ses missions, est que ceux-ci sont extrêmement variés. Les opérations et activités de maintenance sont en effet diverses, à la fois du point de vue de leur ampleur, de leur complexité (voir, par exemple, la définition des différents niveaux de maintenance proposée page 28, note 17), des compétences qu'elles requièrent ou des moyens qu'elles supposent.

Cette variabilité importante des activités de maintenance est d'ailleurs mise en exergue dans un certain nombre de travaux. Selon l'AFNOR (1986 a), "*au contraire de la fabrication où les tâches sont répétitives, les travaux de maintenance sont très divers, d'où l'importance [du contrôle de la réalisation] qui amène à disposer progressivement d'informations et de données pour préparer les travaux ultérieurs*" (p. 67 ; c'est nous qui soulignons). A l'occasion d'une étude des activités de maintenance des voies ferrées, De La Garza et Weill-Fassina (1995 a et b) notent que "*le travail d'entretien des voies est un travail d'équipe comportant des tâches diverses*" (p. 74 ; c'est nous qui soulignons). Cette diversité des activités de maintenance et la variabilité des modes opératoires utilisés lors de ces opérations sont également soulignées par Bounot et al. (1996) lors d'une étude de la maintenance des bus.

Cette caractéristique des activités de maintenance est importante à considérer du point de vue de la sécurité des opérateurs. En effet, d'une part, elle rend sans doute plus difficile l'acquisition d'expérience par les opérateurs vis-à-vis d'une tâche donnée. Etant donné l'étendue des activités, la probabilité, pour un opérateur donné, de réaliser la même intervention à plusieurs reprises est relativement faible. D'autre part, elle contribue à expliquer que seuls certains travaux de maintenance pourront être préparés, ce qui laisse ainsi une large place à la gestion, en situation, d'aléas par les opérateurs. En effet, et comme le souligne l'AFNOR (1986 a), "*dans le domaine de la*

maintenance, (...) la prévision [est] difficile et même dans certains cas impossible" (p. 73) et "les travaux de maintenance corrective restent globalement impossibles à prévoir" (p. 76 ; c'est nous qui soulignons).

2 Incertitude intrinsèque aux activités de maintenance

Les activités de maintenance sont, par ailleurs, (et ce point n'est pas indépendant du précédent) caractérisées par un fort degré d'incertitude.

Les observations que font De La Garza et Weill-Fassina (1995 a et b) des activités de maintenance des voies ferrées, les conduisent en effet à estimer que, malgré une planification générale, la situation de travail des agents sur de petits chantiers d'entretien "*reste ouverte et peu stable. Chaque chantier est éphémère, plus ou moins unique, mobile, en évolution permanente en fonction de l'avancement des travaux, même si les techniques et procédés ne varient pas considérablement. Les adaptations et réajustements en sont partie intégrantes*" (p. 74). Matziaras (1984) souligne, lors d'une analyse des situations de coactivité des équipes de conduite et d'entretien dans les centrales thermoélectriques classiques et nucléaires, que "*les tâches d'entretien en général sont marquées d'un caractère aléatoire, non seulement en ce qui concerne leur durée, mais aussi [du point de vue de] leur complexité, compte tenu des facteurs nouveaux qui apparaissent au cours du diagnostic ou de la réparation de la panne*" (p. 9 ; c'est nous qui soulignons). Selon Bourrier (1996), l'incertitude constitue une caractéristique intrinsèque aux activités de maintenance, dans la mesure où, même dans le cas d'arrêts programmés, les situations non planifiées et les réparations fortuites sont fréquentes et ce, quelle qu'ait été la préparation des travaux. Les analyses des activités de maintenance, menées par Garrigou et al. (1998 ; voir également Garrigou et al., 1994), lors d'arrêts programmés sur une chaufferie nucléaire, confortent d'ailleurs ce constat. Elles mettent, en effet, en évidence des différences majeures entre les activités planifiées et celles qui sont menées : "*les opérations de maintenance étaient soumises à un nombre d'aléas et d'événements imprévus que les différents acteurs devaient gérer en temps réel*" (Carballeda et al., 1994, p. 205). Elles montrent en outre que les activités de régulation et le développement, par les opérateurs concernés, de stratégies permettant de gérer la variabilité et l'incertitude intrinsèque aux activités de maintenance ne sont pas exceptionnelles, mais font partie intégrante des opérations de maintenance et ont un coût (cognitif, psychique et/ou physique) important (Carballeda et al., 1994). La difficulté à prévoir les étapes d'une intervention de maintenance est également soulignée par Rousseau et Monteau (1991).

Or, et comme le soulignait Faverge, "*il a été constaté que le risque d'accident du travailleur était plus important lorsque ce dernier se trouvait dans une situation inhabituelle de travail*" (1970, p.

309). Par conséquent, l'incertitude et la variabilité des situations de travail, auxquels les opérateurs devront faire face, ne sont sans doute pas neutres en termes de sécurité.

3 Absence de poste fixe de travail et forte mobilité des opérateurs

De plus, et sur la base des éléments présentés antérieurement, il apparaît que le travail de maintenance se caractérise, dans la majorité des cas, par une absence de poste fixe de travail et une forte mobilité des opérateurs. Un examen des moyens et des lieux d'intervention spécifiés par l'AFNOR pour les différents niveaux de maintenance le confirme. En effet, selon l'AFNOR (1986 a) :

- la maintenance de premier niveau *"peut être effectué(e) par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation"* (p. 80) ;
- le deuxième niveau de maintenance peut être assuré *"par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'aide de l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions"* (p. 80) ;
- la maintenance de troisième niveau peut être effectuée *"par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance"* (p. 81) ;
- les opérations du quatrième niveau de maintenance seront exécutées *"dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (...) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires"* (p. 81)¹⁹.

Cette caractéristique est en outre soulignée dans quelques travaux. Ainsi, à l'occasion d'une étude des équipes de conduite dans les centrales nucléaires, Chabaud et al. (1987) observent d'une part, une présence physique assez importante des agents de maintenance en salle de conduite et, d'autre part, un nombre relativement important de consultations du pupitre de conduite, ainsi que d'interventions directes (sur le pupitre) et indirectes (relevés de valeurs ou tâches de liaison par exemple) de ces agents dans cette salle (ce qui conduit d'ailleurs les auteurs à intégrer les agents de maintenance au collectif de travail dont les activités se déroulent en salle de conduite). Dans le cadre de leur étude sur la maintenance des voies ferrées, De la Garza et Weill-Fassina (1995 a) estiment que *"sont (...) importants à considérer comme sources de variabilité, les contextes techniques et environnementaux (...) qui influent sur les modalités tant de production que de sécurité. [Les] différentes tâches (...) ont lieu dans un environnement à chaque fois particulier"* (p. 74-75 ; c'est nous qui soulignons). De la même façon, l'analyse du travail des mécaniciens

¹⁹ Le lieu de réalisation des interventions de maintenance de niveau 5 n'est pas spécifié par l'AFNOR.

d'entretien chargés de la maintenance des bus, menée par Bounot et al. (1996), met en évidence que *"le mécanicien d'entretien (...) n'a pas de poste de travail. Il dispose de différentes aires de travail"* (p. 25). Enfin, l'analyse du travail des chefs de travaux de centrales thermoélectriques et nucléaires, menée par Matziaras (1984), lui permet d'observer que *"tout besoin (...) en information, outillage, pièces de rechange ou documents se transforme en déplacements vers des lieux concrets"* (p. 25) et, par conséquent, de conclure que le travail d'entretien en centrales est un "travail mobile". Sans compter que l'insuffisance des moyens de la maintenance (en termes de pièces de rechange, de documentation ou d'outillage, par exemple) peut contribuer à accroître encore cette importante mobilité (Matziaras, 1984).

Or, et comme le soulignent Bounot et al. (1996), l'absence de poste fixe de travail, la mobilité nécessitée par les activités de maintenance et la variété des situations, dans lesquelles les opérateurs concernés sont amenés à intervenir, sont susceptibles de peser sur la sécurité de ces derniers, dans la mesure où elles rendent, par exemple, plus difficile la connaissance par ces opérateurs des risques présentés par ces différents environnements. Ainsi, Rousseau et Monteau (1991) sont-ils conduits, lors d'une analyse d'opérations de type amélioratif menées par des équipes de monteurs électriciens, à mettre en exergue *"[l']importance du repérage de la configuration des lieux d'intervention et de l'aire de travail, qui sur les chantiers, dépasse le poste – au sens traditionnel du terme"* (p. 16).

De plus, l'utilisation d'un outillage portable suppose que ce dernier ait été vérifié ou préparé en relation avec l'intervention de maintenance concernée. Sans quoi, l'absence d'outil adapté à l'activité peut conduire à l'utilisation d'un outil inapproprié (catachrèse²⁰), dans la mesure où elle permet de se garder d'un déplacement supplémentaire et, par conséquent, un gain de temps. Bounot et al. (1996) montrent d'ailleurs que ces utilisations non conventionnelles d'outils accroissent les risques d'accidents.

4 Des activités nécessitant des actions directes sur les équipements et sollicitant des savoir-faire divers et souvent implicites

Par ailleurs, et contrairement à de nombreuses autres tâches, pour lesquelles un éloignement des opérateurs des processus de travail ou des équipements est observé, dans les activités de maintenance, la réalisation d'un certain nombre d'opérations manuelles et d'interventions directes sur les équipements reste nécessaire, même si certaines d'entre elles, comme les activités de diagnostic par exemple, peuvent être effectuées à distance (télémaintenance). Ainsi, et comme le

²⁰ La catachrèse est définie par Faverge (1970) comme *"l'utilisation d'un outil ou d'un instrument à la place d'un autre, par exemple l'utilisation d'une clef pour frapper à la place d'un marteau"* (p. 310) et identifiée par cet auteur comme une situation momentanément infiable et dangereuse.

soulignent De La Garza et Weill-Fassina (1995 a), les tâches de maintenance constituent des *"tâches à dominante manuelle [qui] peuvent demander, dans leur préparation et leur exécution, des raisonnements complexes (...) et des ajustements de modes opératoires à des situations dynamiques et rarement identiques"* (p. 75 ; c'est nous qui soulignons).

Cette proximité des équipements constitue sans aucun doute un élément contribuant de façon importante à la criticité des activités de maintenance pour la sécurité des opérateurs. L'analyse que font Bounot et al. (1996) de 330 accidents du travail, survenus lors d'opérations de maintenance effectuées sur des bus, montre en effet qu'une forte proportion d'entre eux sont liés à la manipulation de pièces. De plus, certaines activités de maintenance (telles que celles de diagnostic, par exemple) peuvent supposer un examen ou une action des opérateurs, alors même que les actionneurs de l'équipement sont disponibles et que ce dernier dispose de toutes ses sources d'énergies.

Cette réalisation d'actions directes sur les équipements apparaît d'autant plus critique que la maintenance n'est encore que rarement prise en compte dans la conception des équipements ou des installations (Vautrin et al., 1992 ; Demor, 1996), et que la préparation des interventions de maintenance ne tient pas toujours compte du contexte dans lequel se feront effectivement les interventions. Ainsi, *"les conditions matérielles d'intervention peuvent (...) être extrêmement difficiles (postures, efforts, exposition aux risques)"* (Daniellou et al., 1994, p. 183).

En outre, les stratégies d'exploration, la recherche et le traitement d'informations (bruits, fumées, vibrations, etc.) très variables dans leur nature et leur forme (information formelle ou informelle), ainsi que la diversité des modalités sensorielles (vision, audition, toucher, goût, olfaction) et des savoir-faire qui peuvent être mobilisés dans les activités de maintenance (cf. Bounot et al., 1996 ; Garrigou et al., 1998) rendent sans doute difficile la prise en compte de ces activités dans la conception des équipements et/ou la préparation des travaux. Et ce, d'autant plus que ces savoir-faire ne sont pas toujours aisément explicitables par les opérateurs (cf. Bounot et al., 1996) et que les activités de maintenance s'appuient fréquemment *"sur des connaissances incorporées, passant par le corps" faisant appel à différentes modalités sensorielles, élaborées au travers de l'expérience, au travers de gestes techniques, et d'une exploration de l'environnement"* (Garrigou et al., 1994, p. 401), qui ne sont pas le plus souvent connues, ni reconnues, par l'entreprise.

Ces différents éléments sont sans doute à mettre en relation avec le fait que les dispositifs de sécurité des équipements ne sont souvent plus actifs lors de la réalisation de ces opérations. En effet, dans la mesure où ces derniers peuvent gêner, voire empêcher les interventions, les opérateurs n'ont d'autre choix, pour effectuer les opérations de maintenance, que de shunter les sécurités.

5 Des activités soumises à d'importantes contraintes temporelles

Enfin, et c'est là la dernière caractéristique à laquelle nous nous attacherons, les activités de maintenance sont fréquemment soumises à d'importantes contraintes temporelles.

C'est bien évidemment le cas de la maintenance corrective, et plus spécifiquement du dépannage, dans la mesure où son objectif premier consiste à remettre l'équipement, le plus rapidement possible, dans un état de fonctionnement. En effet, *"les contraintes économiques de la production de l'unité arrêtée sont impératives"* (Pereira et al., 1999, p. 24) dans de telles situations. Elles peuvent alors conduire à reléguer *"au second plan, toutes les autres considérations, y compris, parfois, les mesures élémentaires de sécurité. Par exemple, on s'efforcera de mettre en arrêt le moins possible d'éléments du système productif. Le dépannage de l'élément ou partie du système défaillant sera réalisé dans un environnement immédiat toujours en activité"* (ibid., p. 24). Des situations dangereuses peuvent alors être occasionnées, ne serait-ce que du fait des risques d'accidents électriques et/ou matériels que présente la réalisation d'interventions sur une installation en activité (Pereira et al., 1999).

Toutefois, il semble que la maintenance préventive et la maintenance à échelle majeure soient également soumises à des contraintes temporelles importantes. En effet, pour des raisons économiques évidentes, les équipements ou installations concernés doivent rester le moins longtemps possible dans un état de non fonctionnement. Ces travaux s'inscrivent alors souvent dans des délais calculés au plus juste (Pereira et al., 1999), même lorsqu'il s'agit de constructions d'ouvrages neufs. Dans une note technique relative à ce type de travaux en thermique industrielle, la CNAMTS signale ainsi que ceux-ci *"se déroulent souvent en urgence, dans des périodes courtes où les temps de préparation des chantiers ainsi que la mise en relation des acteurs (représentants du donneur d'ordre et de l'entreprise extérieure) sont réduits"* (1999, p. 42).

De plus, l'intense coactivité, spécifique de ces périodes de maintenance à échelle majeure (Bauman & Van Cott, 1986 ; Kandaroun & Huez, 1992 ; Bourrier, 1996), est également *"génératrice de risques"* (Pereira et al., 1999 ; CNAMTS, 1999). Et la complexité de la coordination de l'ensemble de ces activités n'est que rarement compatible avec les délais d'exécution serrés. Par conséquent, *"la qualité de la préparation, de l'organisation et des mises à disposition des installations concernées, influent sur la qualité et la sécurité des opérations projetées"* (Pereira et al., 1999, p. 27). En outre, le fait que différents corps de métiers soient amenés à intervenir simultanément sur les installations peut *"rend[re] les interfaces de coordination complexes et génère[r] des écarts d'appréciation sur les conditions de travail en sécurité de l'ensemble composite des intervenants. Autrement dit, individuellement, les conditions de sécurité peuvent être respectées,*

mais les répercussions de sa propre activité sur les autres équipes ne sont pas toujours maîtrisées" (Pereira et al., 1999, p. 27).

Enfin, parce que ces risques sont souvent accrus par la difficulté pour les intervenants à gérer les aléas, dysfonctionnements, et écarts aux prévisions dans le respect impératif de la durée générale de l'arrêt (Pereira et al., 1999), il n'est pas rare que des retards s'accumulent et que l'exploitation reprenne son activité aux dates prévues initialement, alors même que les travaux ne sont pas encore terminés. Les situations de coactivité, ainsi occasionnées, deviennent alors à leur tour potentiellement dangereuses : les mesures de prévention associées à ces "reliquats" de travaux ne sont pas toujours prévues, et la réalisation de ces interventions est susceptible de gêner la reprise de l'exploitation (matériel encombrant l'espace de travail, nombre important d'opérateurs dans un espace de travail limité, etc. ; cf. Pereira et al., 1999).

Ainsi, et comme le souligne la CNAMTS (1999), le caractère d'urgence et/ou de moindre définition des tâches constitue en lui-même un facteur aggravant des risques professionnels.

REFERENCES

- Abéla E., Mazeau M. (1996). Sécurité des travaux dans l'industrie chimique. Un exemple d'intervention. *Actes de la Journée d'Etude de la Société des Electriciens et Electroniciens "L'ergonomie : Facteur de sécurité et d'innovation"*, Toulouse, 21 novembre.
- AFNOR (1986 a). *Comment réussir votre maintenance*. Paris, Association Française de Normalisation, Collection "Guides de l'utilisateur", 163 p.
- AFNOR (1986 b). *Recueil de normes françaises. Fiabilité, maintenabilité, disponibilité*. Paris, Association Française de Normalisation, 567 p. (2^e édition).
- AFNOR (1991). *Norme française NF EN 292-2. Sécurité des machines. Notions fondamentales, principes généraux de conception. Partie 2 : Principes et spécifications techniques*. Association Française de Normalisation.
- AFNOR (1994). *Norme française NF EN 292-1. Sécurité des machines. Notions fondamentales, principes généraux de conception. Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie*. Association Française de Normalisation, 35 p.
- Bauman M.B., Van Cott H.P. (1986). Work structure, organizational communication and organizational effectiveness. *Proceedings of the International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems*. Knoxville, Tennessee, April 21-24, 265-270.
- Bertrand L., Weill-Fassina A. (1993). Forme des représentations fonctionnelles et contrôle des actions dans le diagnostic de pannes. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, D. Dubois (eds.), *Représentations pour l'action*. Toulouse, Octarès, 247-269.
- Bounot J., Mazeau M., Jules D. (1996). La maintenance des bus : Analyse des sources d'accidents. *Performances Humaines et Techniques*, 83, 20-30.
- Bourrier M. (1996). Organizing maintenance work at two american nuclear power plants. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 4, 2, 104-112.
- Brangier B., Cuny M., Polin A., Cru D. (1997). *Prévention des risques professionnels dans les activités de maintenance sur site*. Metz, Rapport d'étude de l'ARACT Lorraine, 40 p.
- Brangier B., Linquier N. (2000). Maintenance sur site. Repenser la prévention des risques professionnels. *Travail et Changement*, Janvier-février, 19-21.
- Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (1999). Travaux de construction d'ouvrages et de maintenance d'ouvrages existants en thermique industrielle. Note Technique. *Travail et Sécurité*, n° 590, 42-44.
- Carballeda G., Daniellou F., Garrigou A. (1994). Les opérateurs acceptent le coût de la performance : Que fait l'ergonome ? *Actes du XXIX^e Congrès de la SELF "Ergonomie et Ingénierie"*. Tome 2, Paris, Eyrolles, 204-211.

- Caverni J.P., Nguyen-Xuan A., Hoc J.M., Politzer G. (1990). Raisonnements formels et raisonnements en situation. In J.F. Richard, C. Bonnet, R. Ghiglione (eds.), *Traité de Psychologie Cognitive, Le Traitement de l'information symbolique*, Tome 2, Paris, Bordas, 103-165.
- Chabaud C., Delvolvé N., Dorel M., Marquié J.C., Queinnec Y., De Terssac G. (1987). *Etude sur l'organisation des équipes de conduite dans les centrales nucléaires*. Rapport d'étude de l'Université de Toulouse le Mirail, Toulouse.
- Chauvin C. (1991). Maintenance de logiciels. Les apports de la recherche. *Performances Humaines et Techniques*, 55, 13-16.
- Courteix-Kherouf S. (1995). *Evolutions technico-organisationnelles et activité collective : La cellule dynamique de travail*. Thèse de Doctorat en Psychologie du Travail, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, 223 p. (Rapport CENA RR 95021).
- Daniellou F., Carballada G., Garrigou A. (1994). Travail de formalisation et travail de régulation : une double contrainte. Le cas de la maintenance d'une industrie à risques. *Actes du XXIX^e Congrès de la SELF "Ergonomie et Ingénierie"*, Tome 2, Paris, Eyrolles, 181-187.
- De La Garza Corona C. (1995). *Gestions individuelles et collectives du danger et du risque dans la maintenance d'infrastructures ferroviaires*. Thèse de Doctorat d'Ergonomie, Ecole Pratique des Hautes Etudes (Paris), 228 p.
- De La Garza C., Weill-Fassina A. (1995 a). Les modalités de gestion collective des risques ferroviaires sur des chantiers d'entretien des voies. *Recherche, Transports, Sécurité*, 49, 73-84.
- De La Garza C., Weill-Fassina A. (1995 b). Méthodes d'analyse des difficultés de gestion du risque dans une activité collective : l'entretien des voies ferrées. *Safety Science*, 18, 157-180.
- Dechez B. (1991). Les activités de maintenance avec ou malgré la GMAO. *Performances Humaines et Techniques*, 55, 9-12.
- Demor S. (1996). *Les risques et leur gestion au cours de la récupération de dysfonctionnements dans un système automatisé de production séquentielle*. Mémoire de DEA d'Ergonomie, CNAM-EPHE, Paris, Octobre 1996, 65 p.
- Direction des Relations du Travail (1999). *Conditions de Travail. Bilan 1998*. Gap, Publication du Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 341 p.
- Fadier E., Mazeau M. (1996). L'activité humaine de maintenance dans les systèmes automatisés : Problématique générale. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 30, 10, 1467-1486.
- Fassina A. (1962). L'entretien : Méthode de recherche des pannes et apprentissage. *Bulletin du CERP*, 11, 3, 269-285.
- Faverge J.M. (1967). *Psychosociologie des accidents du travail*. Paris, PUF, 159 p.

- Faverge J.M. (1970). L'homme agent d'infiabilité et de fiabilité du processus industriel. *Ergonomics*, 13, 3, 301-327.
- Faverge J.M. (1980). Le travail en tant qu'activité de récupération. *Bulletin de Psychologie*, 33, 344, 203-206.
- Foot R., Petit S. (1996). *Les relations entre l'exploitation, la maintenance et les équipements dans les stations et gares de la RATP*. Rapport de recherche GIP Mutations Industrielles, Noisy Le Grand, 185 p.
- Garrigou A., Carballeda G., Daniellou F. (1994). L'opérateur, la pompe et la gamme : Le rôle du geste dans le professionnalisme et la fiabilité du fonctionnement d'industries à risques. *Actes du XXIX^e Congrès de la SELF "Ergonomie et Ingénierie"*. Tome 1, Paris, Eyrolles, 397-402.
- Garrigou A., Carballeda G., Daniellou F. (1998). The role of 'know-how' in maintenance activities and reliability in a high-risk process control plant. *Applied Ergonomics*, 29, 2, 127-131.
- Hagau S. (1995). *Maintenance et maintenabilité, facteurs indissociables en interaction pour la conception des machines-outils*. Mémoire de DEA, Paris, CNAM - EPHE, 46 p.
- Hale A.R., Heming B.H.J., Smit K., Rodenburg F.G.Th., Van Leeuwen N.D. (1998). Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry. *Safety Science*, 28, 1, 21-44.
- Jabot R. (1963). Pour une préparation rapide et efficace des travaux d'entretien. *L'Etude du Travail*, 136, 38-45.
- Jean R. (1999). Les conditions socio-organisationnelles de la maîtrise technique dans les projets d'automatisation. *Actes de la Journée d'Etudes "Les apports de l'ergonomie dans les projets d'automatisation" de la Société des Electriciens et des Electroniciens*, Paris, 15 juin 1999.
- Kandaroun R., Huez D. (1991). *Le travail de consignation en arrêt de tranche : Entre vite et fiable... Une analyse ergonomique des activités de consignation à la centrale B 3/4 du CPN de Chinon*. Rapport EDF-GDF, Paris, 73 p.
- Kandaroun R., Huez D. (1992). Le collectif dans les activités de maintenance en centrale nucléaire. *Actes du XXVII^e Congrès de la SELF*, Lille, 23-25 septembre, 107-109.
- Krawsky G. (1970). *Problèmes de sécurité et d'organisation relatifs à l'utilisation et l'entretien de ponts roulants*. Rapport INRS, 18 p.
- Lasserre-Soria L. (1995). *Rapport d'étude sur les interactions chefs de salle/superviseurs. Bilan intermédiaire de l'étude au CRNA Nord*. Rapport CENA NR 95539, Toulouse, 34 p.
- Lavina Y. (1994). *Audit de la maintenance*. Paris, Les Editions d'Organisation, 254 p.
- Leplat J., Savoyant A. (1972). Entretien et fiabilité. In *Fiabilité et Sécurité. Etudes de Physiologie et de Psychologie du Travail* (pp. 141-198), n° 7, Luxembourg, Direction Générale "Diffusion des connaissances", CID, Commission des Communautés Européennes, Case Postale 1003.

- Lupin H., Marsot J. (1995). *Sécurité des machines et des équipements de travail. Moyens de protection contre les risques mécaniques*. Rapport INRS, ED 807, 95 p.
- Luxhoj J.T., Riis J.O., Thorsteinsson U. (1997). Trends and perspectives in industrial maintenance management. *Journal of manufacturing systems*, 16, 6, 437-453.
- Matziaras I. (1984). *Origines d'incidents en coactivité dans les centrales thermoélectriques. (Situations de coactivité des équipes de conduite et d'entretien dans les centrales thermoélectriques classiques et nucléaires)*. Mémoire de DEA en ergonomie d'ingénierie, Paris, CNAM Université de Paris XIII, 67 p.
- Monchy F. (1996). *La fonction maintenance. Formation à la gestion de la maintenance industrielle*. Paris, Masson, 457 p.
- Morvan-Kauffmann E. (1999). *Rôle adaptatif de l'opérateur humain dans les grands systèmes critiques. Le cas de la maintenance en ligne dans un Centre en Route de la Navigation Aérienne*. Thèse de Doctorat en Ergonomie, Université Paul Sabatier, Toulouse, 166 p.
- Neboit M. (1999). Intégrer la prévention des risques dans les projets d'automatisation. *Actes de la Journée d'Etudes "Les apports de l'ergonomie dans les projets d'automatisation" de la Société des Electriciens et des Electroniciens*, Paris, 15 juin 1999.
- Pereira V., Remoiville A., Trinquet P. (1999). *Sous-traitance sur sites industriels : Evaluation des risques professionnels*. Rapport APRIT ARESI-BTP, Marseille, Avril 1999, 37 p.
- Pidol J., Hadjidakis G. (1991). La maintenance. Réflexion conduite par Aluminium Dunkerque. *Performances Humaines et Techniques*, 55, 6-8.
- Ribert C. (1998). *Evaluation de l'utilisation et de l'efficacité de systèmes d'aide à la maintenance en télédiffusion. Une approche psycho-ergonomique*. Thèse de Doctorat en Sciences Humaines mention Psychologie, Université de Metz, Metz, 330 p.
- Rousseau C., Monteau M. (1991). La fonction de prévention chez l'opérateur. Mise en évidence de conduites sécuritaires au cours d'une activité de chantier. *Les Notes Scientifiques et Techniques de l'INRS*, 88, 54 p.
- Vautrin J.P., Edwards R., Nicolaisen P. (1992). Robots et ensembles automatisés. Impact de leur utilisation sur les conditions de travail au sein de la communauté européenne. *Les Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS*, 149, 455-478.
- Villemeur A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des Systèmes industriels. Fiabilité, facteurs humains, informatisation*. Paris, Eyrolles, 795 p.