

# Ergonomie et maintenance des systèmes complexes : sécurité et santé des salariés

E. Fadier, E. Hermann, M. Mazeau

*L'analyse des accidents et des maladies professionnelles fait apparaître que les personnels de maintenance constituent une part importante des salariés concernés. Cet article tente de comprendre ce phénomène, du fait des exigences des tâches de maintenance, à travers une approche supportée par les études de plus en plus nombreuses des activités de maintenance, spécialement dans des secteurs où elles sont le mieux organisées : aéronautique, chimie, nucléaire, pétrochimie, etc. Il ressort de ces analyses que les exigences des tâches des opérateurs de maintenance sont souvent sous-estimées et que les postes de travail des opérateurs de maintenance comme l'organisation de leur travail ne tiennent pas toujours compte des connaissances accumulées sur le fonctionnement de l'homme et des organisations.*

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Maintenance ; Activité collective ; Activité humaine ; Tâche ; Ergonomie ; Facteur humain ; Sécurité ; Communication ; Coopération ; Coactivité ; Organisation du travail ; Procédures

## Plan

■ Introduction	1
■ Impact de l'évolution technique et économique	1
■ Définition de l'activité de maintenance	3
■ Caractéristiques du travail de maintenance	3
Tâche difficile à prescrire	3
Activité à forte exigence physique	4
Activité à fortes exigences mentales	4
Activité à fortes exigences psychiques	5
Activité à fortes exigences sociales	7
Activité dans un environnement dangereux	8
■ Conclusion	8

## ■ Introduction

La maintenance des années 2010 n'a plus grand-chose à voir avec celle des années 1980 et 1990 pourtant encore proches. Techniquement, la fiabilité des équipements, la sophistication des outils de diagnostic, la modularité des nouvelles installations ont changé la donne. Du point de vue de l'organisation, la sous-traitance est devenue courante, sinon la règle. Mais les statistiques accumulées, en France ou ailleurs, les études de cas spécifiques dans des industries à risques, le retour d'expérience et les analyses a posteriori d'accidents d'opérateurs de maintenance montrent des résultats décevants sur le plan de la sécurité : les accidents des personnels de maintenance restent fréquents et graves.

## ■ Impact de l'évolution technique et économique

L'évolution récente et rapide du monde économique et technique occidental est connue :

- mondialisation des marchés, y compris de celui de la maintenance (que ce soit en aéronautique ou dans l'industrie) et recherche des coûts les plus bas, ou du meilleur rapport performance/coût ;
- innovation technique constante sur les produits et les processus (rendant plus difficile la pérennisation des compétences, et la fréquentation longue des systèmes par les mêmes spécialistes) ;
- accroissement de l'incertitude économique même à très court terme, contribuant à fragiliser les expertises collectives sur un système ou une technologie.

Cette évolution technicoéconomique des entreprises et de leur contexte a conduit le plus souvent les responsables d'entreprise à modifier leur organisation de la maintenance, généralement en se recentrant sur le cœur de leur activité, celui qui :

- est « identitaire », la raison d'être de l'entreprise, ses activités « nobles » et directement visibles par le client ;
- a un impact direct sur les coûts à court terme et/ou le positionnement commercial ;
- semble maîtrisable financièrement avec des outils simples ;
- réduit les risques, qu'ils soient techniques, sociaux ou humains.

Tout cela a conduit à écarter la maintenance du « cœur de métier » de l'entreprise. Fréquemment, cette activité est externalisée ou sous-traitée, y compris dans des pays lointains, lorsque c'est possible, comme en aéronautique. En même temps, la maintenance des systèmes complexes est devenue un domaine majeur de la sécurité et de la santé des salariés<sup>[1]</sup>, comme de la fiabilité et de la compétitivité des entreprises.

Cette évolution a entraîné une externalisation importante de la maintenance, sans que l'on en perçoive toujours bien les impacts à moyen ou long terme. Deux thèmes limitent les pressions de coût sur ces services :

- la crainte de perte de la continuité de service. Ce serait intolérable par les clients, même si elle est rare, courte, et/ou associée à des situations exceptionnelles. Il faut donc assurer suffisamment de maintenance pour rendre cette interruption (perceptible) de service très exceptionnelle ;
- la crainte de l'accident, a fortiori collectif, qui dégrade l'image de marque de l'entreprise et peut coûter très cher, que ce soit en perte de clientèle et/ou en dédommagements.

La notion d'activité humaine particulière dans le domaine de la maintenance doit être replacée dans ce contexte très différent de celui des années 1980 et 1990.

Dans la maintenance, la qualité de l'intervention humaine joue un rôle crucial dans la performance ultérieure du système<sup>[2]</sup>. La prise en charge progressive croissante par les automatismes et les systèmes informatiques de certaines opérations mises en jeu dans les procédés de fabrication et d'exploitation a induit, dès les années 1980, une évolution importante des situations de travail<sup>[3,4]</sup> :

- complexité croissante des systèmes ;
- utilisation d'interfaces informatisées ;
- intervention de l'homme en situation dégradée ;
- variabilité des situations de travail ;
- fiabilité de plus en plus dépendante du travail collectif ;
- relation de plus en plus étroite entre « sécurité – conditions de travail – qualité et coût ».

On peut y rajouter dans beaucoup de domaines une fiabilisation croissante des systèmes qui rendent les interventions humaines plus rares, et par conséquent une moindre fréquentation de ces situations par les opérateurs chargés de la maintenance, ce qui peut accroître les risques par difficultés à construire des représentations et des compétences : certaines pannes ont une telle rareté que beaucoup d'opérateurs ne les verront qu'une fois (ou jamais) au cours de leur vie professionnelle, et ne pourront donc pas y associer une expérience quelconque, sauf exercices et entraînements sur simulateurs.

Dans ces années 1980, l'introduction des nouvelles technologies a pu faire croire que le rôle de l'opérateur serait de moins en moins important pour la bonne marche des systèmes, puisque progressivement ses fonctions pourraient être remplacées par des systèmes automatiques/informatiques. Ceci engendre un certain nombre de paradoxes liés à l'introduction massive de nouvelles technologies, comme par exemple la corrélation entre la complexité du système technique et le rôle et la place de l'opérateur. Les travaux de Fadier et al.<sup>[5]</sup> ont montré que le recours à l'informel devient la base de l'activité pour le maintien de la productivité, tout en fragilisant l'environnement sécuritaire : en développant des « activités limites tolérées à l'usage » (ALU).

Cette analyse est confirmée par les analyses venant du terrain<sup>[6-10]</sup> quels que soient les domaines industriels sur lesquels portent les observations et les études (aéronautique, chimie, nucléaire, pétrochimie, etc.).

Par ailleurs, ces études montrent bien l'impact de la qualité de la maintenance sur la sécurité et la santé des opérateurs (et du public), en premier lieu les opérateurs de maintenance, mais aussi les exploitants : « Les statistiques indiquent que, en Europe, 10 à 15 % des accidents mortels sur le lieu de travail sont liés à des travaux de maintenance. »<sup>[11]</sup>.

Dans cet article, nous précisons le rôle du « facteur humain » dans les interventions de maintenance, ainsi que les conditions à prendre en compte pour que l'homme puisse jouer son rôle spécifique de dernière barrière de sécurité en cas de défaillance : l'opérateur (dont l'opérateur de maintenance) est un puissant facteur de fiabilisation des systèmes car assigné à une mission précise, il peut – dans certaines conditions – repérer des signes précurseurs même faibles de problèmes à venir, y compris hors du champ de sa mission. Il constitue un capteur intelligent, qui inévitablement n'est pas infaillible.

L'opérateur de maintenance ne devrait pas être mis en situation d'échec (ne comprenant pas ce qui se passe et/ou ce qu'il convient de faire, etc.) et de producteur « d'erreurs », ce qui peut

entraîner à engager sa sécurité ou celle du système ou son intégrité physique. Nous utilisons le terme « erreur » par raccourci même si le terme est impropre car fortement connoté négativement : il vaudrait mieux parler d'action rationnelle du point de vue de celui qui la fait au moment où il la fait, mais n'aboutissant pas à un résultat pertinent, compte tenu des éléments de la situation que l'opérateur n'a pas pu percevoir ou traiter convenablement, ou qui n'ont pas pu donner lieu aux actions jugées nécessaires par l'opérateur, que ce soit faute de moyens techniques, organisationnels, en compétence, en temps, en interface homme-machine (IHM), etc. Il s'agit de véritables « pièges » pour l'opérateur individuel ou collectif<sup>[12]</sup>.

Il faut aussi noter l'évolution importante de la normalisation, qu'elle soit imposée par les autorités de tutelle (nucléaire, aéronautique, santé, etc.) ou par les secteurs d'activités eux-mêmes ou la réglementation internationale du travail, ainsi que la croissance importante de la documentation liée à la maintenance.

Les résultats en fiabilité de la maintenance, comme son coût humain (en temps, en pénibilité, en prise de risques et accidents, etc.), sont conditionnés par quatre grands ensembles de variable :

- la conception des systèmes (cf. les travaux réalisés dans le nucléaire par exemple)<sup>[13-16]</sup> : la maintenance est de mieux en mieux intégrée à l'ingénierie de conception, mais les difficultés sont réelles pour concevoir en anticipant toutes les possibilités de défaillance, toutes les activités nécessaires de réparation des systèmes dès la conception et surtout les risques induits pour les salariés et leur santé. Les techniques de conception assistée par ordinateur (CAO), aussi bien que les méthodologies de conception de systèmes, apportent beaucoup d'aide sur ces aspects de la conception, sans pour autant permettre de réaliser le « sans-faute » à chaque fois ;
- l'intégration organisationnelle entre maintenance et exploitation<sup>[2,17]</sup> : la maintenance est largement déterminée par l'organisation des relations maintenance-exploitation. Les équipements ne sont pas financés et installés pour être en maintenance durablement : la maintenance est plutôt un « mal nécessaire », qui doit donc peser le moins possible sur l'exploitation. Des tensions plus ou moins grandes entre maintenance et exploitation ont toujours existé, et pèsent sur la sécurité et la santé des personnes, ainsi que sur la fiabilité des systèmes. En particulier, les modalités de consignation définissent les énergies en présence dans l'équipement en maintenance<sup>[18]</sup>. Elles dépendent de barrières procédurales et techniques qui ne sont efficaces que s'il existe une coopération active entre les deux services concernés ;
- la compétence individuelle et collective des personnels chargés de la maintenance, largement tributaire des formations délivrées, de l'entraînement, de l'ancienneté sur le site, et de la culture de retour d'expérience : les systèmes d'habilitation sont très largement répandus, mais ne remplacent pas chez les salariés les savoir-faire particuliers que sont les « savoir-où », pour ne citer que cet exemple, liés à la fréquentation périodique d'un atelier (ou est l'armoire électrique permettant la coupure de telle partie de l'installation, la vanne d'urgence permettant d'isoler telle ligne, etc.). De ces savoir-faire on peut en particulier mettre en exergue les « savoir-faire de prudence » constitués par les opérateurs, qui « se développent avec la confrontation à des situations à risques et avec la conceptualisation de ces situations. D'autres dimensions des compétences sont concernées : les organisateurs de l'activité, les instruments. Ils participent à la conceptualisation. »<sup>[19]</sup> ;
- la documentation : la prescription a fait de grands progrès dans la maintenance depuis quelques années (en partie du fait de la nécessité de rédiger des contrats de sous-traitance, ainsi que d'application dédiées à la gestion électronique de documents). La rédaction des procédures n'est pas une chose simple, et de nombreuses procédures peuvent comporter des implicites, des erreurs liées à leur mode de conception (par copier-coller d'une procédure proche), des expressions complexes sources d'ambiguïté<sup>[8]</sup>, etc. Les procédures sont rarement à jour intégralement, preuve en est les ajouts manuscrits que l'on peut y trouver sur les supports papiers<sup>[7]</sup>. En maintenance, la documentation est souvent plus difficile à élaborer que celle destinée aux opérations d'exploitation et/ou de fabrication : il faut

imaginer ce qui « ne devrait pas arriver » (la panne), et comment la réparer, le « comment » dépendant étroitement d'une variété de contextes que la procédure ne peut pas prendre exhaustivement en compte du fait de leur variété (état du processus lors de la panne, nécessité de maintenir en marche d'autres processus connexes, urgence liée à la panne elle-même du fait de l'instabilité de l'état de panne – par exemple en chimie – et/ou à la production, etc.).

## ■ Définition de l'activité de maintenance

La définition normative de la maintenance<sup>[20,21]</sup> répartit ce domaine en différentes branches (Fig. 1), et à chacune de ces branches correspond une activité bien déterminée décrivant des actions et des fonctions à réaliser dans le cadre d'une activité humaine assez vaste, faisant référence à des activités physiques et mentales de l'homme.

On distingue classiquement :

- « maintenance préventive : maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien »<sup>[20]</sup>. La maintenance préventive peut être :
  - systématique (suivant un échancier),
  - conditionnelle (selon un critère d'usure) ;
- « maintenance corrective : elle est exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise »<sup>[20]</sup>. Elle peut être :
  - palliative (dépannage provisoire, permettant de remettre en fonctionnement le système, même de façon moins performante en attendant une maintenance curative),
  - curative (celle qui permet de remettre le système dans son état de fonctionnement nominal) ;
- maintenance améliorative : pour modifier les systèmes afin d'en faciliter et/ou réduire leur maintenance (fréquence, coût, dangerosité des interventions, etc.).

On peut illustrer ces définitions par le schéma ci-dessous (Fig. 1).

Si les objectifs sont les mêmes, les conditions auxquelles sont soumis les opérateurs ne sont pas totalement identiques :

- en maintenance préventive, la préparation du travail des opérateurs est généralement plus poussée : l'organisation du travail, de la coactivité des équipes spécialisées, et entre les opérateurs d'une même équipe, des approvisionnements, etc. est « normalement » assurée à l'avance. Cela n'empêche pas de devoir constamment réaliser des ajustements en fonction des aléas, et/ou de travailler dans l'urgence lorsque les temps nécessaires aux différentes tâches ont été sous-dimensionnés<sup>[6]</sup> : il n'y a comme une entrée normale de tout système sociotechnique ;
- en maintenance corrective (ou correctrice), la reprise de la production et/ou du service aux clients est prioritaire, et peut conduire à des situations d'urgence, compte tenu des sommes perdues par unité de temps.

On distingue cinq phases dans les chantiers de maintenance :

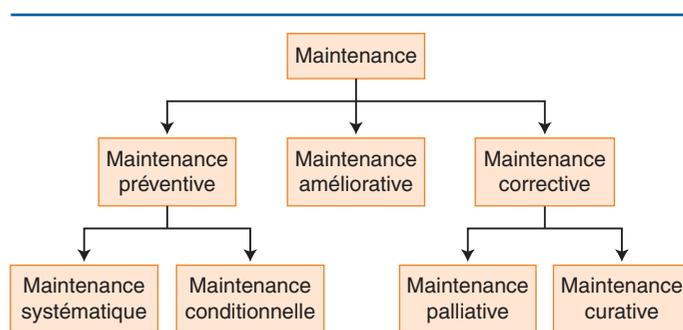


Figure 1. Différents types de maintenance.

- la planification du chantier (très importante en maintenance préventive) ;
- la préparation des interventions (approvisionnement, information des exploitants, consignation, etc.) ;
- la réalisation des interventions sur les systèmes (démontage, diagnostic, réparation/remplacement, remontage, etc.) ;
- le contrôle du résultat des interventions et la remise à disposition des exploitants ;
- la traçabilité des actions réalisées au cours des interventions (rapports d'intervention, pièces changées et/ou réparées, alimentation de la base de données de retour d'expérience, etc.).

On ne peut pas prioriser ces étapes quant à leur importance par rapport à la sécurité : une traçabilité mal faite, ou mal exploitée par le retour d'expérience peut avoir des conséquences aussi graves qu'une consignation mal faite, une planification peu rigoureuse, etc.

## ■ Caractéristiques du travail de maintenance

« Tout d'abord, le taux de fréquence des accidents dans les activités de maintenance est une fois et demie celui de la moyenne constatée par la Caisse nationale de l'assurance maladie (CNAM). Ensuite, le taux d'occurrence des maladies professionnelles hors troubles musculosquelettiques (TMS) est six fois supérieur à la moyenne nationale. Le taux de mortalité est lui huit fois supérieur à la moyenne nationale, ce qui représente la valeur la plus élevée tous secteurs confondus et une mortalité supérieure à celle des métiers du bâtiment et des travaux publics (BTP) [...]. Enfin, 18,6 % des décès par accident concernent les métiers de la maintenance alors que ces derniers ne représentent que 2,5 % des salariés de la CNAM »<sup>[22]</sup>.

Ceci est également vrai au niveau mondial d'après les chiffres rassemblés dans une étude réalisée en 2008<sup>[23]</sup> :

- huit à dix fois plus d'occurrence de présenter une maladie professionnelle en France ;
- 22 % des accidents du travail en Australie ;
- 30 % des accidents du travail dans l'industrie chimique au Royaume-Uni ;
- 45 % des accidents mortels au Québec.

Tous ces chiffres montrent une activité clairement plus dangereuse pour la sécurité et la santé des salariés que les autres activités (exploitation, logistique, etc.) réalisées dans les mêmes domaines industriels.

De tels chiffres s'expliquent par les caractéristiques de l'activité de maintenance, telles que de nombreuses études, d'une homogénéité assez étonnante quel que soit le secteur, les font apparaître.

## Tâche difficile à prescrire

Dans l'industrie, l'hypothèse selon laquelle la fiabilité des opérations reposerait sur l'exécution correcte du travail prescrit, le respect de consignes rigoureusement définies est battue en brèche dès les années 1980<sup>[24]</sup>. Par exemple, en 1989, les auteurs d'une étude<sup>[25]</sup> notent déjà qu'en activité de maintenance, les opérateurs ne peuvent pas exécuter fidèlement les procédures prescrites. Ils sont conduits à :

- compléter les procédures existantes pour les parties implicites des procédures ;
- en redéfinir « d'autres » afin de les adapter aux réalités d'une situation ;
- définir des « procédures » lorsque celles-ci n'existent pas.

C'est une constante de toutes les analyses d'activité que d'observer de tels phénomènes. L'exécution stricte de procédures, même très bien adaptées aux opérateurs de maintenance, et aux situations auxquelles ils sont confrontés, ce qui n'est pas toujours le cas<sup>[8]</sup>, est une activité difficile pour l'être humain : soit l'opérateur ne comprend pas pleinement ce qu'on lui demande de faire, et les erreurs sont inévitables, soit il comprend ce qu'on lui demande et, dans certains cas, interprétera la consigne, en toute quiétude, dans la grande majorité des cas avec d'excellents motifs :

- pour gagner du temps, afin que les exploitants puissent utiliser le plus vite possible leurs équipements ;
- pour courir moins de risques (pour lui, ses collègues, le système ou les produits, etc.) ;
- parce qu'il a expérimenté dans le passé que dans la configuration où il se trouve, la procédure n'est pas optimale ;
- parce qu'il sait que la procédure n'a pas été mise à jour ;
- parce que l'équipement concerné est connu pour constituer une exception (montage, fonctionnement, etc.) ;

Ces « excursions » hors de la procédure sont le plus souvent positives mais rendent les erreurs possibles, surtout s'il n'a pas été tenu compte des spécificités de fonctionnement de l'opérateur : il se fatigue, il a des baisses d'attention, il oublie, il raisonne sur la base d'une représentation mentale de la réalité qui peut dans certains cas précis être en décalage avec cette réalité, etc.

D'autre part, les procédures ne sont qu'un des éléments des raisonnements qu'il est obligé de construire, en parallèle avec les autres connaissances de l'opérateur, ses discussions avec des collègues, des souvenirs d'interventions sur le même système, le temps dont il estime disposer, son état de fatigue, etc.

Enfin, l'exécution stricte des procédures peut conduire à des accidents, les prescriptions se référant quelquefois à des situations « idéales », différentes de celles auxquelles sont confrontés les opérateurs<sup>[26]</sup>.

Dans les procédures, le plus simple est de prescrire l'objectif à atteindre sous contrainte : remplacer l'équipement usagé par un équipement neuf en moins d'une semaine, remettre en marche le système en panne « à tout prix », réparer avant l'arrivée de l'équipe de jour, etc. hors, le contexte dans lequel doit être atteint l'objectif peut modifier totalement les étapes nécessaires pour l'atteindre.

Dans une étude concernant les erreurs liées aux « facteurs humains » en maintenance dans le secteur de la pétrochimie<sup>[27]</sup>, les auteurs écrivent :

« Malgré l'attention apportée à la violation de règles dans la littérature sur les facteurs humains (Reason)<sup>[28]</sup>, les abus (...) ont été rarement rapportés dans les échecs. Les mainteneurs interrogés au sujet des violations de procédures possibles ont rapporté qu'il y a relativement peu de tâches de maintenance précisées dans les procédures, par rapport à des opérations réalisées en salle de contrôle, et donc il y avait relativement peu de règles à enfreindre. »

Les progrès de la prescription sont en partie une nécessité liée à l'externalisation des missions de maintenance, avec :

- ses aspects positifs :
  - formalisation des tâches à réaliser et des procédures pour les réaliser (même si cela existait bien avant sur certains sites),
  - gains de coûts, au moins à court terme ;
- et ses aspects plus négatifs dans certains cas :
  - perte de savoir-faire de l'exploitant au profit du détenteur du contrat de maintenance,
  - compétence inégale des intervenants en maintenance (anciens des métiers de bouche dans des travaux de chimie),
  - perte de la fréquentation longue d'un système par les spécialistes de la maintenance, du fait des changements des titulaires des contrats de sous-traitance, et impossibilité d'acquérir une expérience suffisante du système s'il est complexe,
  - sous-traitance en cascade et/ou mouvante rendant difficile le suivi des salariés, quant à leur dosimétrie ou leur exposition aux produits toxiques par exemple,
  - application très limitative des « ordres de travaux » (« vérification des longerons de cabine avion limitée à ceux prescrits sans jeter un oeil à ceux d'à côté... »<sup>[8]</sup>),
  - repli sur le stricte contour du réglementaire<sup>[8]</sup>.

La maintenance, qu'elle soit préventive et a fortiori curative, ne peut être entièrement organisée à l'avance comme une opération classique de fabrication : les aléas sont inévitables, on l'a dit, et si dans les arrêts programmés, ce travail d'adaptation repose sur les préparateurs, dans le détail, l'opérateur de maintenance spécialisé en mécanique, électricité, hydraulique, etc. est confronté à des prises de décisions à forts enjeux, sous temps contraint, et sans certitude totale sur la fiabilité des informations dont il dispose.

## Activité à forte exigence physique

La maintenance sur les sites industriels est influencée par les conditions d'ambiance physique au poste de travail (efforts, températures extrêmes, postures, travaux bras levés, etc.) auxquelles ne sont plus soumis les opérateurs d'exploitation, souvent situés en salle de contrôle commande, au moins dans le processus continu. De même en fabrication, les contraintes physiques (travail statique important et travail répétitif) sont allégées pour éviter l'apparition de TMS, d'absentéisme, etc. En maintenance, comme les opérations sont présumées non répétitives, les contraintes physiques pour les opérateurs, sur chaque chantier, ne sont pas toujours prises parfaitement en compte : des efforts physiques sont pourtant nécessaires pour démonter les organes à changer ou réparer, les transporter, les remonter.

Les points d'accrochages des outils de levage ne sont pas toujours prévus dès la conception. Des postures difficiles (bras en l'air, travail à genoux, accroupis, etc.) peuvent être nécessaires pour atteindre les organes à réparer, et cela pendant des temps non négligeables. Dans certains cas, la maintenance de certains systèmes n'a pas été prévue de façon « réaliste ». Certains sous-ensembles ont pu être conçus pour la durée de vie de l'installation, et donc jugés hors périmètre des tâches de maintenance : si la durée de vie de l'installation est rallongée, cela peut entraîner la réalisation d'opérations non prévues lors de la conception, etc.

Des observations montrent que les équipes de maintenance peuvent être conduites à négocier les outils de levage quelquefois en nombre insuffisant (le calcul est fait « en moyenne », sans prendre en compte le fait que plusieurs équipes peuvent avoir besoin du même moyen de levage en même temps, et que ce dernier restera inutilisé plusieurs jours, etc.) et que dans le cas de manque d'outils, lorsque c'est possible, les opérateurs préfèrent le plus souvent faire un effort physique et/ou prendre un risque de blessure musculaire plutôt qu'interrompre leur tâche et ne pas pouvoir remettre en service en temps prévu, ou tout simplement attendre sans rien faire.

Au final, ce travail non répétitif peut être plus lourd physiquement, parce qu'il est conçu et organisé avec moins de retour d'expérience qu'en fabrication ou en exploitation : des situations inconfortables, pénibles ou dangereuses étant réputées exceptionnelles, malgré l'enseignement du passé qui prouve le contraire, peuvent être reconduites en l'état sur d'autres sites.

## Activité à fortes exigences mentales

### Technique et organisation

La sécurité des opérateurs de maintenance des systèmes industriels est moins une question technique que d'organisation ; il s'agit de gérer au mieux la coactivité entre ceux qui sont chargés d'opérations de maintenance et ceux qui sont affectés à l'exploitation, ainsi que la succession des différentes équipes de maintenance, tout en préservant au mieux les capacités de production. Les opérations de maintenance doivent être réalisées en suivant un ordre très précis, correspondant à une recherche de minimisation des durées d'arrêt et à la logique de l'approvisionnement en équipements. « Le déroulement des visites programmées (petites et grandes visites) nécessite de séquencer plusieurs centaines d'interventions. Cette planification constitue « le fil rouge » de déroulement des tâches prévues afin de synchroniser les différentes ressources nécessaires (approvisionnement, mobilisation des différents métiers, organisation des interventions des sociétés extérieures, etc.) »<sup>[8]</sup>.

Mais on l'a déjà dit, il est quasiment impossible de définir à l'avance et de façon très fine les conditions d'une opération de maintenance sur une installation complexe. Le degré de précision nécessaire peut être différent selon les opérateurs et selon les tâches à accomplir : de l'implicite est inévitable, le contexte modifie la tâche à réaliser, de multiples acteurs peuvent agir sur l'équipement pendant la maintenance, modifiant ainsi l'état du système en maintenance, etc.

Le planning « théorique » construit avant le début des travaux est confronté à la réalité des retards d'approvisionnement, de nouvelles interventions non prévues avant démontage et

s'avérant indispensables, des absences de personnels spécialistes d'un domaine ou d'un sous-ensemble, des résultats de tests, etc. : « au fur et à mesure qu'avance la visite, cette planification « théorique » nécessite d'être « recalée » sur la réalité du contexte avion afin de faire glisser les interventions prévues initialement »<sup>[8]</sup>.

On observe donc des opérateurs :

- qui dépassent les limites de la « feuille de travail », et la zone du système dans laquelle ils ont le droit d'intervenir, car la cause de la panne peut être hors de cette zone ;
- qui appliquent des procédures officieuses, mais couramment utilisées, au vu et su de tout le monde, dans l'atelier, inventées par les opérateurs avec l'aval ou non de la maîtrise ;
- qui modifient les procédures papiers qui leurs sont confiées pour en faire profiter leurs collègues (plan de câblage d'une armoire électrique, avertissement sur un organe monté différemment des autres, etc.) ;
- une organisation du travail collective pour réaliser en équipe ce qui prendrait beaucoup plus de temps seul, avec une entraide entre les compagnons, de façon différente à ce qui est prévu.

### Diagnostic et exécution

Les tâches de maintenance (et pas seulement en maintenance corrective) sont caractérisées par l'imbrication étroite entre activités de diagnostic et activités d'exécution :

- compte tenu de ce qui est constaté sur le terrain, est-on encore dans le cadre de la procédure prévue, sinon l'écart est-il significatif, doit-on appeler l'encadrement ?
- comment retourner à la procédure prévue dont on a dû s'éloigner pour faire face à un aléa, etc. ?

Ces questions ne sont pas toujours posées consciemment (sinon la difficulté serait probablement résolue, même avec une perte de temps, etc.) mais donnent lieu à des actes, qui peuvent conduire à des erreurs, en fonction des compétences, des biais cognitifs, etc.

Les situations de travail, en maintenance comme en production, sont donc caractérisées par :

- la présence de défaillances techniques : celles-ci sont particulièrement dommageables lorsqu'elles frappent des systèmes de diagnostic, car elles peuvent rendre impossible la solution ;
- l'instabilité des processus : les machines en panne « franche » sont plus faciles à gérer que les machines en panne « en pointillés » pour reprendre l'expression d'un responsable d'atelier ;
- des situations de coactivité (avec les opérateurs chargés de la production qui continuent ou qui attendent, e.g. coactivité entre électriciens et mécaniciens, instrumentation et mécaniciens, etc.) ;
- des situations de coopération entre maintenance et exploitation.

La maintenance n'est donc pas la simple exécution d'une procédure préétablie mais un processus complexe d'activités de diagnostic sur la situation rencontrée et de recherche des actions les plus pertinentes et de régulation tout au long de l'intervention en fonction de critères nombreux et contradictoires (temps d'indisponibilité, risques pour l'installation d'une opération de maintenance particulière, pénibilité, coût économique, etc.).

Proposant une classification des activités finalisées, les auteurs<sup>[29]</sup> parlent de problème « d'induction de structure » pour caractériser les situations de diagnostic :

- « ...activité de compréhension c'est-à-dire l'organisation d'un ensemble d'éléments en une structure significative ;
- le diagnostic est finalisé par une décision d'action ou de refus d'action ;
- action consistant à ramener la structure cible à une structure satisfaisante par rapport à des objectifs définis ».

Induction de structure « associée à la mise en place d'une procédure de récupération du dysfonctionnement constaté ».

Une intervention de maintenance peut être conçue comme un ensemble de  $n$  itérations entre diagnostics et actions (pouvant être la décision de stopper l'intervention en vue d'obtenir de nouvelles autorisations, de nouveaux permis de travail, des moyens – techniques ou documentaires – supplémentaires, etc.).

L'intervention sur un système en exploitation est une intervention qui s'inscrit dans l'histoire de l'équipement et de son environnement. Pour cette raison, l'opérateur de maintenance doit « lire » l'histoire de l'équipement pour enrichir sa représentation. Cette histoire se trouve en partie dans la documentation, et les traces écrites des interventions précédentes, mais aussi dans les modifications successives de l'équipement (alarmes supplémentaires, régulations, etc.), qui peuvent n'être tracées nulle part, et la façon dont elles ont été réalisées, ce qui peut conduire les opérateurs à corriger ce qu'ils considèrent – à tort ou à raison – comme des erreurs : « Quel que soit le type de maintenance et l'équipement, l'opérateur va agir sur un poste de travail portant les traces de l'activité successive des différents mainteneurs intervenus avant lui ainsi que de celles du concepteur. La mise en sécurité de l'opération observée va se trouver impactée par certaines caractéristiques de l'équipement engendrées par d'autres opérateurs avec qui il n'a pas de lien direct »<sup>[7]</sup>.

Les lacunes de la documentation écrite (qui ne contient au mieux que ce qui a été fait et pratiquement jamais *comment* cela a été fait, etc.), ou les difficultés pour la retrouver, ou encore l'incertitude existante quant au degré de confiance qu'on peut accorder à cette documentation vont conduire des opérateurs de maintenance à faire des opérations non prévues (suivre visuellement le cheminement de câblages plutôt que de se contenter de suivre les instructions issues de la feuille de travail).

« Avant d'entreprendre le débouchage [...], l'opérateur de l'OIM ouvre le pupitre de commande afin de comprendre le fonctionnement du circuit et consulte la liasse de plans disponibles dans l'armoire. Il s'aperçoit d'inversion entre les dénominations fonctionnelles des étiquettes fixées sur les canalisations et celles du plan. Il effectue un contrôle général pendant 2 heures pour s'assurer de la cohérence. Il effectue les corrections au crayon de papier sur le plan. »<sup>[7]</sup>.

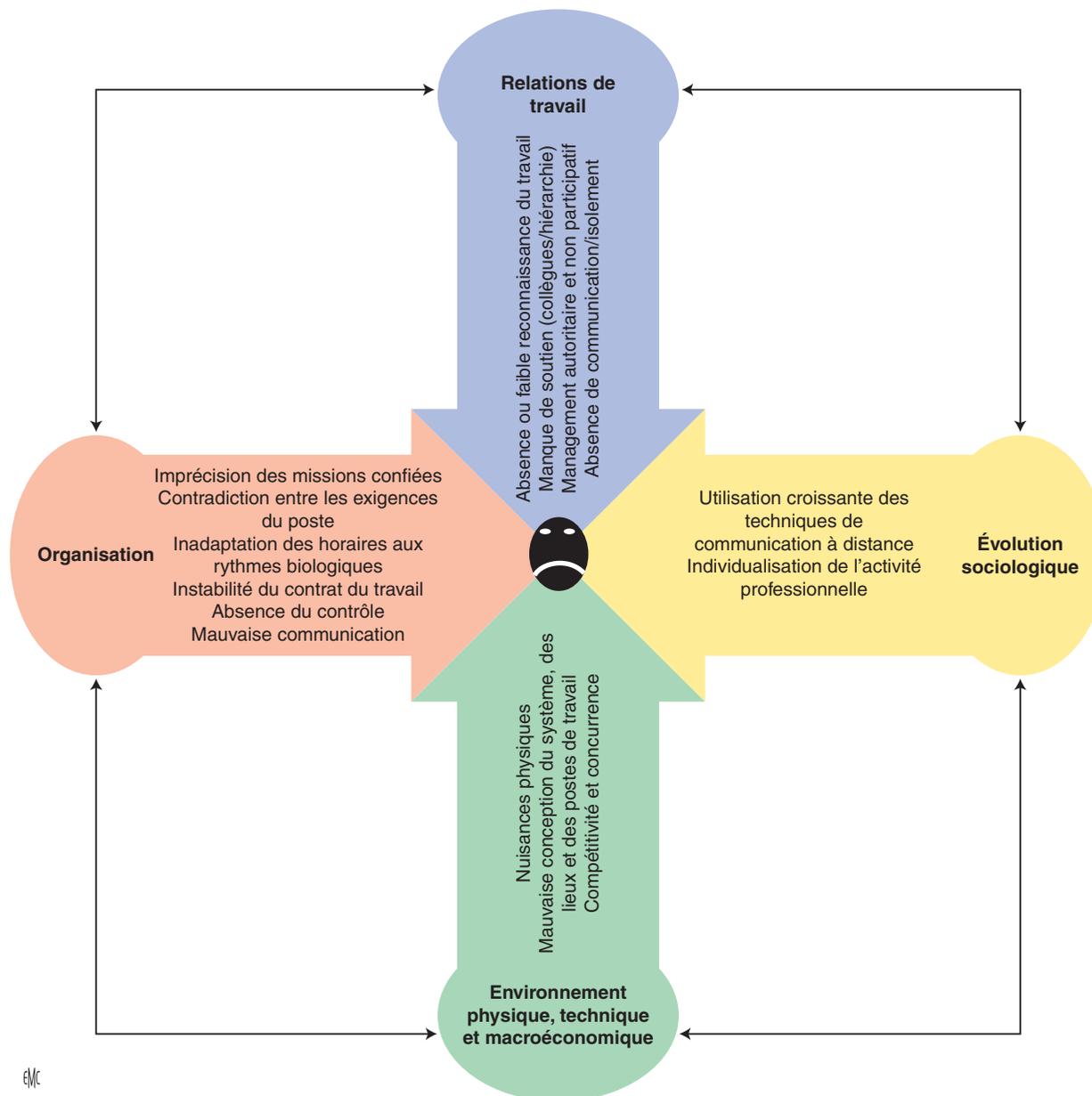
La phase de consignation de l'équipement sur lequel doit se dérouler la maintenance peut être à l'origine d'incidents graves (absence de protection, remise en marche par la victime ou quelqu'un d'autre, énergie résiduelle, etc.)<sup>[18]</sup>. L'analyse de ces événements met en évidence les difficultés (connues) de la circulation de l'information (erreur de consignation sur l'objet de la consignation, le moment de la consignation ou de la déconsignation, sur les conséquences de la consignation, etc.) qui ont à voir avec le « modèle de l'opérateur » pris en compte par l'organisation.

En particulier, le repérage des éléments d'une installation de plus en plus complexe et de plus en plus grande peut poser problème. Le « savoir où intervenir », le « savoir quand faire l'intervention » le savoir sur les conséquences exactes de l'intervention est aussi important que le « savoir comment » qui souvent est seul à être détaillé dans la procédure. La signalétique des équipements, les aides au travail permettant de retrouver facilement les trajets des fluides, etc. sont aujourd'hui indispensables ; ils doivent permettre de retrouver l'information manquante (comment isoler telle ligne, quelles sont les conséquences de la fermeture de cette vanne, pourquoi ne faut-il pas inverser deux opérations, etc.) rapidement, à toute heure du jour et de la nuit. L'observation d'opérateurs suivant les câbles pour s'assurer que le schéma à leur disposition est correct est assez courante<sup>[7]</sup>.

Rappelons enfin le paradoxe soulevé par René Amalberti<sup>[30]</sup> concernant les prescriptions et la sécurité : « ...il est toujours nécessaire de disposer d'approches formelles au départ. Mais celles-ci n'ont aucune chance de pouvoir être maintenues comme outil principal de management pendant le cycle de vie des systèmes. Il s'agit bien d'un paradoxe. On ne saurait, en effet, se passer des approches formelles en sachant qu'elles seront de plus en plus fausses à mesure que le système vieillit. »

### Activité à fortes exigences psychiques

Les opérations de maintenance, et spécialement de maintenance corrective, sont par nature « un mal nécessaire », n'apportant que retard de production, désorganisation, etc. La « reconnaissance » du rôle des intervenants en maintenance ne va pas toujours de soi. Le redémarrage des installations est souvent



**Figure 2.** Principaux facteurs de stress au travail impactant les activités de maintenance.

urgent, et certaines phases sont éloignées de « l'idéal industriel », c'est-à-dire l'absence de mauvaise surprise, etc. La reconnaissance du travail des opérateurs de maintenance dépend de leur statut (interne versus externe) mais aussi de l'organisation des relations entre exploitation et maintenance, ainsi qu'en fonction des cultures d'entreprises, et des enjeux liés à la maintenance.

Si on retient les facteurs de stress les plus souvent cités (Fig. 2) dans les études et les méthodes de dépistage, par exemple par l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)<sup>[31]</sup>, on constate que les opérateurs de maintenance peuvent se situer dans une zone élevée de risque.

### Facteurs liés à l'organisation du travail

- Absence de contrôle sur la répartition et la planification des tâches : ceci est particulièrement vrai en maintenance corrective mais aussi lors de toutes les opérations de maintenance où les aléas remettent en question les plannings, les modes opératoires, etc.
- Imprécision des missions confiées : ce peut être le cas lorsque la demande de maintenance est faite par écrit (mail, gestion de maintenance assistée par ordinateur [GMAO], etc.) sans contact direct entre l'exploitant et l'opérateur de maintenance.

- Mauvaise communication : entre exploitation et maintenance ou divers spécialistes de la maintenance, entre donneur d'ordre et sous-traitant.
- Contradiction entre les exigences du poste : comment réparer en respectant toutes les procédures de sécurité et rendre le plus vite possible l'équipement aux exploitants ?
- Nouveaux modes d'organisation : sous-traitance, perte de l'historique des maintenances successives sur les systèmes.
- Instabilité des contrats de travail : contrats précaires, sous-traitance en cascade, etc.
- Inadaptation des horaires de travail aux rythmes biologiques, à la vie sociale et familiale : cas de l'astreinte, ou des fabrications en  $2 \times 8$ , le poste de nuit étant réservé à la maintenance, ainsi que des arrêts décennaux par exemple où il n'est pas rare de réaliser les travaux de maintenance en  $3 \times 8$  pour raccourcir la durée de l'arrêt.

### Facteurs liés aux relations de travail

- Manque de soutien de la part des collègues et/ou des supérieurs hiérarchiques : recherche de coupable, en cas de difficulté, sans recherche de compréhension des causes de la difficulté, alors même que l'événement peut être la conséquence d'une

procédure inadaptée au contexte d'une mission particulière, où de la pression mise sur l'urgence de la réparation, entraînant des « violations nécessaires » de consignes, que tout le monde accepte tant qu'elles n'ont pas de conséquences négatives<sup>[32]</sup>.

- Absence de communication : d'une équipe à l'autre, entre exploitants et maintenance, entre opérateurs de maintenance de spécialités différentes.
- Management peu participatif, autoritaire, déficient : comme dans les autres secteurs de l'entreprise, ni plus ni moins.
- Absence ou faible reconnaissance du travail accompli : il n'est que « normal » que la maintenance répare vite et bien, etc.

### Facteurs liés à l'environnement physique et technique

- Nuisances physiques au poste de travail : travail dans le bruit, les températures extrêmes, l'humidité, travail à l'extérieur, contact possible avec des produits chimiques au moment du démontage, etc.
- Mauvaise conception des lieux et/ou des postes de travail : c'est le cas classique de la plupart des postes de maintenance observés : la conception est réalisée sauf exception pour les exploitants, et non pour la maintenance.

### Facteurs liés à l'évolution sociologique

- Utilisation croissante des techniques de communication à distance : GMAO, absence de l'encadrement des opérateurs de première ligne dans l'aéronautique, éloignement géographique des zones de décision dans la pétrochimie, etc.
- Individualisation de l'activité professionnelle avec surresponsabilisation : les opérateurs de maintenance sont conscients que certaines erreurs pourraient provoquer des accidents au redémarrage.

### Facteurs liés à l'environnement macro-économique de l'entreprise

Il s'agit de la compétitivité, de la concurrence : cas des contrats de sociétés de maintenance renégociés périodiquement.

## Activité à fortes exigences sociales

### Un travail collectif

La dimension collective du travail<sup>[33-37]</sup> est accentuée par l'évolution des technologies. La maintenance n'échappe pas à cette règle.

On distingue classiquement le collectif de travail (groupe de personnes partageant une caractéristique commune) de l'opérateur collectif (ensemble de personnes poursuivant un but commun) :

- l'ingénieur responsable du service, l'opérateur de conduite, les opérateurs de maintenance (instrumentation, mécanique, hydraulique, etc.) et le technicien d'une entreprise extérieure, réunis en salle de contrôle pour comprendre les causes d'un dysfonctionnement et décider ce qu'il y a lieu de faire, constituent ensemble un « opérateur collectif » ;
- l'ensemble des opérateurs de maintenance, l'ensemble des opérateurs de conduite, ou encore les « anciens » de l'organisation constituent des collectifs de travail : ils n'ont pas de but commun concernant l'activité professionnelle, mais partagent des valeurs, des croyances, un vécu, et constituent souvent un réseau de solidarité au sein de l'organisation.

Des conditions sont nécessaires à l'efficacité de « l'opérateur collectif » (défini tel que ci-dessus) en charge de la maintenance d'un système : la perception d'un but commun et un intérêt partagé à l'atteindre, des moyens techniques et organisationnels pour construire le « référentiel opératif commun »<sup>[38]</sup> nécessaire à une communication efficace.

Les coopérations entre opérateurs de production et opérateurs de maintenance sont entachées souvent de difficultés liées aux communications, quelquefois liées au mode de management (statut et rémunération différents, etc.), d'organisation du travail

(difficultés pour chacun d'accepter la concurrence de l'autre dans son métier dans certaines formes de polyvalence, imputation des temps d'arrêt sur l'exploitant ou la maintenance, etc.).

La source des difficultés les plus fréquentes semble davantage liée aux différences de représentation et de logique, du fait d'une divergence dans « l'analyse fonctionnelle implicite » de l'installation (fonctions principales, priorités, etc.), faite par les différents acteurs de la production et de la maintenance, qui peut engendrer des difficultés à communiquer, aboutissant à des contentieux. Les outils informatiques actuels (GMAO) peuvent en partie contribuer à résoudre ces questions, en facilitant la circulation de l'information, sans que l'on puisse éviter que ces moyens de communications ne créent leurs propres problèmes. Dans leur étude sur la maintenance en aéronautique, les auteurs notent : « Aujourd'hui, la fonction de chef d'équipe a évolué vers celle de gestion « administrative » du flux de papier lié à l'organisation et à la traçabilité des interventions. Cette évolution se traduit par « la disparition » du rôle d'interface du chef d'équipe entre la planification et l'opérateur de 1<sup>re</sup> ligne »<sup>[8]</sup>.

Les mêmes remarques peuvent être faites dans le nucléaire ou la pétrochimie : la gestion des demandes des exploitants, l'envoi des ordres de travail aux sous-traitants, la gestion des aléas, la mise à jour de la GMAO, la gestion et la renégociation périodique des contrats de maintenance, toutes tâches absolument nécessaires, occupent l'essentiel du temps des managers de premier niveau (et au-dessus), ce qui les contraint à moins superviser le travail des opérateurs de maintenance de première ligne.

Quand des personnes présentes sur un même lieu de travail ne partagent pas le même référentiel opératif, ni la même finalité et possèdent des logiques différentes (exemple des équipes internes versus équipes externes, production versus maintenance, etc.), on parle alors de coactivité. Cette notion est un des points critiques de la fiabilité<sup>[38]</sup> des systèmes complexes car elle favorise les erreurs par rapport à la coopération : les besoins de communication ne sont pas identifiés, ou sont mal assurés. On parle « de défaillances organisationnelles ».

Ces défaillances sont quelquefois la conséquence des caractéristiques de la coactivité au sein des organisations, couplée à des initiatives d'acteurs (individuels ou collectifs) soucieux de « bien faire ». Quelquefois, ces initiatives sont même les seules solutions pour faire fonctionner l'organisation : « Il arrive que l'organisation du travail et les contraintes du moment conduisent les acteurs à des stratégies « à risque », non pas seulement pour leur santé (qu'elle soit physique ou mentale) mais pour l'organisation tout entière. Cependant, force est de constater que cette stratégie apparaît à court terme payante pour l'organisation, qui voit nombre de problèmes résolus. Il arrive également, à l'inverse, que l'organisation du travail fige complètement toute initiative, rendant tout espoir de réactivité vain. Si, certes, les règles ne sont pas, dans ce cas, ajustées de façon opaque, en revanche, on constate que l'organisation ne fonctionne plus et qu'elle étouffe »<sup>[39]</sup>.

De fait, l'organisation doit à la fois faire en sorte que les systèmes restent dans leur domaine de sécurité, et accepter des initiatives individuelles ou collectives. Cela suppose d'optimiser la coopération entre les entités et les niveaux hiérarchiques en favorisant :

- la communication et la transmission de l'information de la production vers la maintenance (diagnostic, historique, etc.) et de la maintenance vers la production (retour d'expérience) ;
- la coordination des tâches et la collaboration ;
- la négociation pour obtenir un compromis ;
- la définition d'un objectif final commun « réduire l'indisponibilité » qui doit diminuer la notion de responsabilité ;
- le « retour d'expérience », c'est-à-dire la remontée d'information vers un sous-ensemble de l'organisation en charge de traiter les informations remontant du terrain, ce qui s'est réellement passé, pour en tirer les conséquences (modifications techniques, procédurales, de formation, etc.), diffuser ces analyses à l'ensemble de la structure et garder la mémoire de ces incidents et accidents sur de longues durées (accidents se reproduisant à l'identique, à vingt ans de distance, etc.).

## Relations maintenance-production

La fiabilité et la qualité de la production ainsi que la sécurité dans une installation complexe dépendent de la qualité des coopérations entre :

- l'homme et le système technique de supervision et conduite ;
- l'homme et les systèmes d'aide au diagnostic ;
- les entités chargées de maintenance et celles chargées de la production/exploitation.

Alors que la fréquentation physique des personnes suffisait dans les systèmes traditionnels pour assurer la coopération entre maintenance et exploitation, l'évolution actuelle implique de mettre en place des moyens techniques, une organisation du travail, des modes de management et des formations (y compris par simulateur ou en réalité virtuelle)<sup>[40]</sup> qui facilitent l'échange d'informations entre les personnes ainsi que la compréhension de logique de l'autre.

## Activité dans un environnement dangereux

La présence d'énergie, qu'elle soit électrique ou autre, est l'un des facteurs principaux du risque dans les activités de maintenance :

- parce qu'il est impossible de supprimer les énergies (cas du dépannage électrique de certains automatismes), et cela y compris en violation de dispositions réglementaires<sup>[39]</sup> et que « l'utilisation des règles ne se résume pas à application versus violation »<sup>[19]</sup> ;
- parce que cela impliquerait un arrêt de production jugé (quelquefois par l'opérateur lui-même) trop coûteux au regard du risque pris (intervention réalisée très souvent, courte, etc.) ;
- parce que comme on l'a noté (cf. supra), la coactivité entre maintenance et exploitation conduit les exploitants à demander aux opérateurs de maintenance de remettre en service (sous tension, etc.) un ou des sous-ensembles du système en maintenance, afin qu'ils puissent terminer une opération, mettre le système en état stable, pendant que l'opérateur de maintenance continue son diagnostic ou ses travaux de réparation, dans un environnement qui n'est plus sécurisé ;
- parce que l'on ne pense pas, ou l'on ne sait pas que l'équipement est toujours sous tension : 76 % des accidents étudiés ont eu lieu lors d'une intervention « machine en marche continue », ou lors d'une « remise en marche » automatique ou volontaire.

Il apparaît clairement que le maintien sous énergie d'une machine est particulièrement « risqué » lors d'une intervention de dépannage. Dans une étude portant sur 93 accidents de dépannage, sur les 71 accidents concernés, 42 ont eu lieu pendant la phase réparation, 16 en cours de diagnostic, 19 en mise au point ou remise en service, 13 ont été mortels<sup>[18]</sup>.

## Conclusion

L'importance croissante des aspects liés au traitement de l'information (que ce soit en exploitation ou en maintenance) ne doit pas faire oublier les autres caractéristiques de l'activité humaine : les efforts opératoires, les postures difficiles à tenir, la fatigue liée au travail physique, les changements observés lors du travail de nuit, le stress, la peur, etc. influencent les capacités de l'homme à faire face aux situations auxquelles il est confronté.

Les habitudes liées aux apprentissages antérieurs, à l'expérience, peuvent modifier la perception d'une situation, déclencher un comportement inadapté du fait des modifications intervenues sur le système.

L'évocation des tâches de maintenance, en processus continu comme dans les ateliers de maintenance aéronautique, ou la fabrication de pièces et de montage automatisés, visait à montrer l'importance de la prise en compte d'un modèle de l'homme rigoureusement validé. Les connaissances actuelles dans ce domaine, rassemblées dans l'ergonomie, permettent :

- d'interpréter les causes de dysfonctionnements repérés ;

- de contribuer à la conception, à partir de l'analyse de situations de références, des systèmes de production plus sûrs et plus fiables ;
- de mieux intégrer la cohérence entre les choix de management (statut et gestion de ressources humaines en maintenance et en production, etc.), l'organisation du travail (définition des tâches et des fonctions, circulation de l'information entre les divers opérateurs individuels et collectifs, etc.), les moyens techniques de travail (GMAO, procédures et diverses aides au travail, etc.) et la formation des opérateurs (briefing, débriefing).

La similarité des statistiques d'accidents, comme celle des pratiques observées, font de la maintenance un domaine prioritaire pour tous ceux qui veulent améliorer la sécurité des opérateurs : tout concourt en effet à la dangerosité de telles opérations, parce qu'elles sont en décalage avec les opérations industrielles classiques, caractérisées par la prévisibilité de leur déroulement et des enchaînements de tâches (la standardisation), et de ce fait, les politiques de sécurité mises en place pour la production ne sont pas forcément les plus adaptées à la maintenance.



## Références

- [1] <https://osha.europa.eu/fr/topics/maintenance>, site de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, consulté le 6 mai 2013.
- [2] Grusenmeyer C. Interaction maintenance-exploitation et sécurité, cahiers de notes documentaires. *Hyg Secur Trav* 2002;(n° 186).
- [3] Fadier E. Automatisation et sécurité. *Technique de l'ingénieur. AG* 2009;(350).
- [4] Fadier E, Mazeau M. L'activité humaine de maintenance dans les systèmes automatisés. *Rev JESA* 1996;**30**:1467-86.
- [5] Fadier E, De La Garza C, Didelot A. Safe design and human activity: construction of a theoretical framework from an analysis of a printing sector. *Safety Sci* 2003;**41**:759-89.
- [6] Buessard MJ. Impacts de la prescription sur les activités de travail en centrale nucléaire. Colloque de la SELF de 2002, « Les évolutions de la prescription ». Aix-en-Provence, 2002.
- [7] Dufour C. La mise en sécurité des opérateurs de maintenance dans l'Installation nucléaire de base 72, mieux la comprendre pour l'améliorer, [master professionnel d'ergonomie], CNAM, Paris. 2011.
- [8] Hermann E, Courteix S, Soria L. Rapport final de synthèse sur l'étude Facteurs humains en maintenance aéronautique, DGAC, 2011. [www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Maintenance.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Maintenance.pdf).
- [9] Neboit M, Fadier E, Poyet C. *Analyse systémique et analyse ergonomique : application conjointe à la reconception d'une cellule robotisée d'usinage*. Paris: Publication INRS, NST; 1993.
- [10] Fadier E, Lefevre S, Cantin R. L'apport des méthodes d'analyse de sûreté du système homme x tâche : application dans le domaine de la métallurgie. Colloque Facteurs humains de la fiabilité et de la sécurité des systèmes complexes. Nancy, 17-18 Avril 1991.
- [11] <https://osha.europa.eu/fr/press/press-releases/european-agency-and-the-belgian-eu-presidency-show-how-safe-maintenance-can-save-lives>. 1993.
- [12] Mazeau M. L'homme agent de fiabilité faillible. *Perform Hum Tech* 1993;**66**:24-9.
- [13] Papin B. CEA, Ergo IA. Table ronde « prise en compte des facteurs humains dans une ingénierie intégrée des systèmes », l'exemple du nucléaire, 2004.
- [14] Papin B. CEA, human factors and nuclear systems design: a project - long concern, ISSA, Nice, 2006.
- [15] Charron S, Tosello M. Installations nucléaires : plus l'ergonomie intervient tôt dans l'évaluation d'un projet, meilleure sera l'intégration des préoccupations de sûreté. *Rev Gen Electr* 1995;(2):9-12.
- [16] Prunier-Poulmaire S, Ghesquière A, De La Garza C, Gadbois C. Ergonomie et maîtrise des risques en conception : anticiper l'organisation du temps de travail en centrale nucléaire. In: Garrigou A, Jeffroy F, editors. *L'ergonomie à la croisée des risques, Actes du 46<sup>e</sup> Congrès de la SELF*. Paris: SELF; 2011. p. 442-7.
- [17] Daniellou F. Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : des questions pour progresser, les cahiers de la sécurité, ICSI, 2012, <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/77/60/54/PDF/CSI-FHO-diagnostic.pdf>.
- [18] Blondel M, Cailliet JP, Comin F, Marlaud JL, Lecoindre L. Analyse de 93 fiches d'accidents de « dépannage » issues de la base de données EPICEA, CRAM NORMANDIE, 2001.

- [19] Vidal-Gomel C. Le développement des compétences pour la gestion des risques professionnels. Le domaine de la maintenance des systèmes électriques, [thèse de psychologie ergonomique], Université Paris-VIII - Saint-Denis, Saint-Denis, 2001.
- [20] AFNOR. Norme NF EN 13306 × 60-319, terminologie de la maintenance, 2001.
- [21] AFNOR. Norme NF X 60-000, maintenance industrielle, fonction maintenance, 2002.
- [22] Tazi D. Externalisation de la maintenance et sécurité : une analyse bibliographique, ICSI, 2010.
- [23] Giraud L. La maintenance : état de la connaissance et étude exploratoire. Étude et recherche (R 578). IRSST, Québec, 2008.
- [24] Leplat J. *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: A Colin; 1985.
- [25] Kern H, Schumann M. *La fin de la division du travail ? La rationalisation dans la production industrielle*. Paris: Masson; 1989.
- [26] Bourrier M. *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*. Paris: PUF; 1999.
- [27] Antonovsky A, Pollock C, Straker L. Identification of the human factors contributing to maintenance failures in a petroleum operation, human factors. *J Hum Fact Ergon Soc* 2013. June 11 [Epub ahead of print].
- [28] Reason J, Parker D, Lawton R. Organizational controls and safety: the varieties of rule-related behaviour. *J Occup Organiz Psychol* 1998;**71**:289–304.
- [29] Darses F, Falzon P, Munduteguy C. Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive des activités finalisées. In: Falzon P, editor. *Ergonomie*. Paris: PUF; 2004.
- [30] Amalberti R. Le risque d'accident peut-il se contrôler par des approches formelles ? *Sci Devenir Hom, Cah MURS* 2010;(62).
- [31] [www.inrs.fr/accueil/risques/psychosociaux/stress/facteurs.html](http://www.inrs.fr/accueil/risques/psychosociaux/stress/facteurs.html)
- [32] Reason J. The Chernobyl errors. *Bull Br Psychol Soc* 1987;**40**:201–6.
- [33] Barthe B, Queinnee Y. Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *Annee Psychol* 1999;**99**:663–86.
- [34] Kandaroun R. Le traitement des aspects interactifs dans l'analyse ergonomique du travail collectif et coopératif : application à l'étude d'activités de conduite et de maintenance d'un processus industriel complexe et dangereux. [thèse de doctorat], 1996.
- [35] Six F, Vaxevanoglou X. *Les aspects collectifs du travail. Actes du 27<sup>e</sup> congrès de la SELF*. Toulouse: Octarès Editions; 1993.
- [36] Leplat J. *Organization of activity in collective tasks. Workshop "Distributed decision making"*. Hess: Bad Homburg; 1988, 25p.
- [37] Mazeau M, Brun C. Les situations de coopérations dans le travail, les enjeux pour la sécurité. *Perform Hum Tech* 1994;**70**:18–21.
- [38] de Terssac G, Chabaud C. Référentiel opératif commun et fiabilité. In: Leplat J, De Terssac G, editors. *Les facteurs humains de la fiabilité dans le système complexe*. Toulouse: Octarès éditions; 1990.
- [39] Bourrier M. Facteurs organisationnels : du neuf avec du vieux. *Ann Mines* mai 2003. p. 19-22.
- [40] Anastassova M. L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes : le cas de la réalité augmentée pour la formation à la maintenance automobile, [thèse de doctorat en Psychologie – Ergonomie Cognitive], Université René Descartes Paris V, 2006.

E. Fadier (fadier@inrs.fr).

Institut national de recherche et de sécurité, Département expertise et conseil technique, Approche globale des situations de travail (AGST), 1, rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France.

E. Hermann.

M. Mazeau.

Conseil en Facteurs Humains (CFH), 4, impasse Montcabrier, 31500 Toulouse, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Fadier E, Hermann E, Mazeau M. Ergonomie et maintenance des systèmes complexes : sécurité et santé des salariés. *EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement* 2014;9(2):1-9 [Article 16-794-C-10].

Disponibles sur [www.em-consulte.com](http://www.em-consulte.com)



Arbres  
décisionnels



Iconographies  
supplémentaires



Vidéos/  
Animations



Documents  
légaux



Information  
au patient



Informations  
supplémentaires



Auto-  
évaluations



Cas  
clinique

Cet article comporte également le contenu multimédia suivant, accessible en ligne sur [em-consulte.com](http://em-consulte.com) et [em-premium.com](http://em-premium.com) :

## 1 autoévaluation

*[Cliquez ici](#)*