



Dossier

LA MAINTENANCE: UN ENSEMBLE D'ACTIVITÉS À HAUT RISQUE

❶ La maintenance: plus qu'une simple tâche, un processus

P. 24

❷ La maintenance prévisionnelle ou comment prévoir les défaillances avant qu'elles ne se produisent

P. 28

❸ Former les agents de maintenance à la santé et sécurité au travail

P. 31

❹ Sécurafim®: un outil au service de la sécurisation des interventions de maintenance

P. 34

❺ Penser à la maintenance dès la conception des machines

P. 37

Toutes les entreprises, quel que soit leur secteur d'activité, sont concernées par la maintenance. Elle contribue à maintenir dans un état optimal de fonctionnement les équipements (par ailleurs de plus en plus complexes et coûteux), à préserver voire à améliorer la productivité, la qualité et la conformité des produits/services et, enfin, à garantir la sûreté des systèmes et la sécurité des personnels. Pourtant, les opérateurs de maintenance sont plus fréquemment accidentés que leurs collègues de production. Face à la diversité de leurs tâches et des risques associés à ces interventions, la prévention doit intervenir le plus en amont possible, dès la conception, l'acquisition ou la modification des biens et des équipements, en considérant la conception et l'aménagement des locaux et la mise en place d'une organisation du travail de maintenance adaptée.

MAINTENANCE: A SET OF HIGH-RISK ACTIVITIES - All companies, regardless of their sectors of activity, are concerned by maintenance. It contributes to keeping equipment (which is also increasingly complex and costly) in an optimum working condition, to preserving or indeed improving productivity, quality and conformity for products/ services, and, finally to guaranteeing system reliability and staff safety. And yet maintenance operatives are more frequently victims of accidents than their production colleagues. In view of the diversity of their tasks and of the risks associated with the work they do, occupational risk prevention should intervene as far upstream as possible, as of design, acquisition, or alteration of goods and equipment, by giving consideration to the design and fitting-out of the workplace, and to implementing appropriate organisation of maintenance work.

LA MAINTENANCE: PLUS QU'UNE SIMPLE TÂCHE, UN PROCESSUS

La maintenance d'un équipement de travail recouvre des activités variées dans des secteurs professionnels très différents. Elles peuvent s'avérer particulièrement dangereuses pour la santé et la sécurité non seulement des opérateurs concernés, mais aussi des tiers. Prévenir les risques liés à ces activités nécessite d'agir, le plus en amont possible, sur l'ensemble des leviers disponibles, à savoir les aspects techniques, organisationnels et humains du travail.

JEAN-CHRISTOPHE BLAISE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

CLAUDE PICHOT
président de
l'Association
française des
ingénieurs et
responsables
de maintenance
(Afirm)

La maintenance est définie selon la norme NF EN 13306:2010 comme l'« ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». Cette définition fait donc référence :

- à des biens, tels que machine, bâtiment, voirie, système informatique, etc.;
- à des actions:
 - techniques: dépannage, nettoyage, etc.,
 - administratives: gestion des stocks, traçabilité des interventions, etc.,
 - de management: stratégie de maintenance, gestion du personnel, gestion de la santé et sécurité au travail (SST), etc.;
- à des types de maintenance qui visent à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) le bien dans un mode lui permettant d'accomplir la fonction pour laquelle il a été conçu (fonction requise);
- à la fonction requise, c'est-à-dire ce que l'utilisateur attend de sa machine en termes de service rendu, mais aussi de qualité et de quantités produites. Il est avéré que la fonction requise par l'utilisateur se réduit aux seuls besoins liés au fonctionnement, en laissant généralement de côté les besoins liés aux interventions lorsque la machine est en panne ou à l'arrêt pour maintenance préventive.

Selon l'Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (Afirm), la maintenance dans les domaines industriel et tertiaire en France représente :

- 420 000 emplois;
- 12 000 cadres;
- 8 500 diplômés par an (bac professionnel, BTS Maintenance, DUT Génie industriel et maintenance);
- 21,5 milliards d'euros de dépenses dans l'industrie, dont 7,8 sous-traités;

- 17,6 milliards d'euros dans l'immobilier-tertiaire, dont 13,2 sous-traités.

En 2015, selon les dernières statistiques de la CNAMTS, les métiers de la maintenance demeureraient toujours plus exposés aux accidents et aux maladies professionnelles que les autres métiers. Pour les métiers de la maintenance :

- l'occurrence de mortalité pour 1 000 salariés est plus de 3,35 fois supérieure à la moyenne nationale;
- l'occurrence d'accidents du travail (AT) graves avec incapacité permanente (IP) pour 1 000 salariés est 1,74 fois plus élevée que la moyenne nationale;
- l'occurrence de maladies professionnelles (MP) pour 1 000 salariés est de 1,31 fois supérieure à la moyenne nationale.

Par ailleurs, l'indice de fréquence des AT avec arrêt pour 1 000 salariés est 1,19 fois plus élevé que la moyenne nationale.

Ces indicateurs évoluent à la hausse entre 2014 et 2015. Cette tendance et leur rapport à la moyenne nationale démontrent la nécessité de s'y attaquer en profondeur, par la mise en œuvre de la prévention des risques professionnels.

De plus, le coût moyen des accidents du travail et des maladies professionnelles représente 4,4% du salaire brut. Ce chiffre élevé montre clairement un potentiel de réduction des coûts salariaux, gisement d'efficacité et d'amélioration des conditions de travail particulièrement significatif.

Quels risques en termes de santé et de sécurité ?

Les activités de maintenance sont connues pour leur grande variabilité: variabilité des intervenants, des environnements, mais aussi, de l'objet à maintenir (machines spéciales ou standards, fixes ou mobiles, isolées ou faisant partie d'un ensemble, machines installées en couvert, en

fosse, en aérien, installations de procédés, bâtiments et infrastructures, etc.). Qu'elles soient minimales ou de grande ampleur, ces activités peuvent avoir un impact sur la santé et la sécurité des personnes qui les effectuent, mais aussi des tiers (personnes en charge de la production, de la qualité, des méthodes, etc.). Une maintenance de piètre qualité peut entraîner des blessures et des accidents, mais aussi endommager l'équipement et son environnement, par exemple lorsque sont utilisées des pièces inadaptées pour les remplacements. Enfin, le déficit de maintenance risque non seulement de réduire la durée de vie des équipements, des installations ou des bâtiments, mais peut également entraîner des accidents.

Les personnes chargées des activités de maintenance sont exposées à différents types de risques d'accidents (chutes, chocs avec une pièce de machine, etc.), éventuellement dans des conditions environnementales difficiles (par exemple, la pluie, le froid, la chaleur, le risque de suffocation dans les espaces confinés).

Les intervenants de maintenance sont également susceptibles de développer, par exemple :

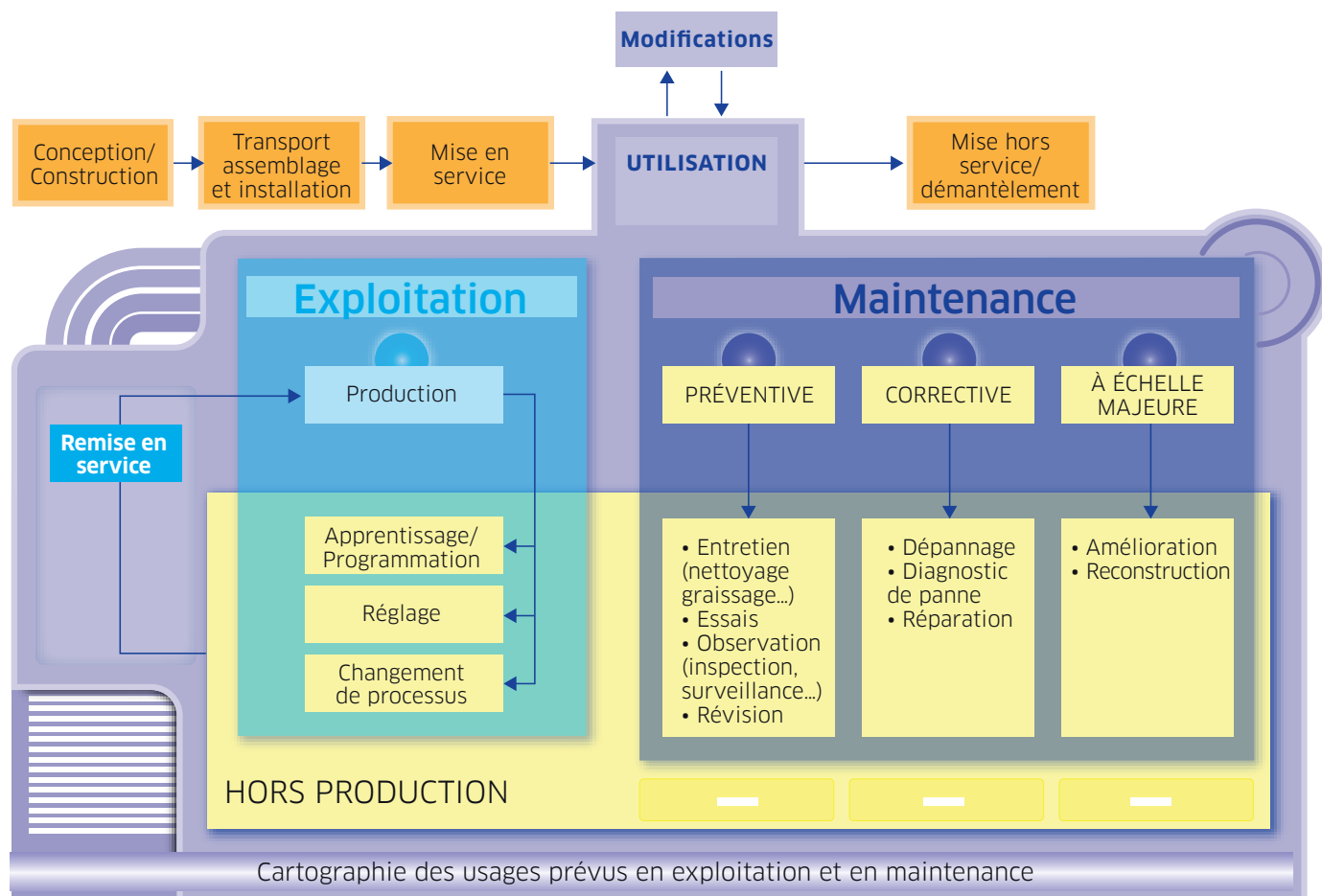
- des troubles musculosquelettiques (TMS), lorsque leurs activités les amènent à maintenir des postures inconfortables;

- des maladies cutanées ou respiratoires dues au contact ou à l'inhalation de substances dangereuses (graisses, solvants, corrosifs, poussières, fumées de soudage, y compris poussières de bois cancérogènes);
- des maladies résultant de l'exposition à des risques biologiques (hépatite A, légionellose...);
- etc.

Quelles approches en matière de prévention ?

Les clés de la réussite en matière de prévention des risques au cours d'interventions de maintenance reposent en premier lieu, comme toute action de prévention, sur le développement d'une culture de la sécurité au sein de l'organisation et sur l'engagement de la direction; la maintenance est une fonction de régulation de la bonne marche de l'entreprise, il est également primordial de l'aborder comme un « centre de profit » et non comme un « centre de coût ». Compte tenu de la diversité des dangers et des risques associés à la maintenance, il peut s'avérer nécessaire d'inclure celle-ci dans le système de gestion global des risques de l'entreprise. Il importe de réaliser une évaluation complète de ces risques, comprenant toutes les phases de l'activité en question et l'ensemble des risques qui y sont associés.

↓ **FIGURE 1**
Positionnement de la maintenance dans le cycle de vie d'une machine (INRS, brochure ED 6129).



L'Agence européenne de santé et de sécurité au travail, à la suite de sa campagne « Maintenance plus sûre », a préconisé de mettre en place une approche structurée en jugeant essentiel de considérer la maintenance comme un processus et non comme une simple tâche. Bien que les personnes se trouvent principalement exposées lors de la phase de réalisation de l'intervention, les mesures de sécurité destinées à éviter ou à réduire les risques ne doivent pas se limiter à cette seule étape¹. La prévention des risques professionnels nécessite de considérer le processus de maintenance dans son ensemble et d'intégrer les mesures de sécurité liées à la maintenance dès la phase de conception et de planification, mais aussi après sa réalisation (contrôle, recette, inspection...).

Les aspects-clés suivants doivent également être pris en compte :

- affecter suffisamment de temps et de ressources au travail de maintenance;
- s'assurer de la compétence du personnel de maintenance en le formant;
- mettre en place des systèmes de travail sûrs, fondés sur une évaluation des risques;
- veiller à une communication efficace entre le personnel de production et le personnel de maintenance.

Les instructions de sécurité doivent être suivies et les rapports conservés. Une fois les travaux de maintenance achevés, des contrôles spécifiques (inspections et tests) doivent être effectués pour s'assurer que la maintenance a été correctement exécutée et que l'équipement et le lieu de travail présentent toutes les garanties de sécurité pour le rétablissement de l'exploitation.

Plus précisément, une évaluation des risques liés à l'activité en y associant les travailleurs doit aborder de façon non exhaustive les points suivants :

- l'ampleur de la tâche: ce qui doit être fait, le temps nécessaire à l'exécution de la tâche, la possibilité d'interférer sur le travail d'autres opérateurs;
- l'identification des risques: par exemple, exposition à des substances dangereuses, présence de poussières d'amiante dans l'air, espaces confinés, parties mobiles de machines, chutes (de ou à travers quelque chose), objets lourds à déplacer, parties difficiles à atteindre;
- ce que l'activité requiert: compétences et nombre de travailleurs nécessaires, implication et rôle des différents intervenants (responsables des contacts avec les travailleurs du contractant ou de l'employeur d'accueil, gestion des tâches, à qui rapporter d'éventuels problèmes), outils devant être utilisés, équipement de protection individuelle (EPI) et autres mesures de protection des travailleurs (échafaudages, équipement de surveillance, etc.) éventuellement nécessaires;

- un accès sécurisé et rapide, pour les secours, à la zone de travail et les moyens d'évacuation;
 - la formation/l'information sur l'activité à fournir aux travailleurs ainsi qu'à ceux qui travaillent à proximité (afin de garantir la responsabilité et la sécurité des travailleurs), ainsi que sur la hiérarchie et toute procédure utilisée au cours de l'activité, y compris la notification des problèmes.
- Des études spécifiques à la réalisation d'activités de maintenance des machines ont été menées à l'INRS. La figure 1 présente les phases du cycle de vie d'une machine et détaille la phase « utilisation » selon les usages en exploitation et en maintenance, dans les contextes correspondants. Elle montre le nombre varié d'usages de la maintenance. Ces usages doivent être identifiés et pris en compte lors de la conception de la machine afin d'intégrer au mieux les mesures de prévention associées. Mieux ces usages seront intégrés dès la conception, mieux les activités réelles correspondantes seront réalisées en préservant la santé et la sécurité des intervenants de maintenance.

Les leviers de la prévention

La phase de conception est le moment idéal pour intégrer les exigences de santé et de sécurité liées aux futures activités, dont celles de la maintenance. Évaluer les risques à cette étape et mettre en œuvre des actions de prévention contribueront à la maîtrise des risques professionnels, de la durée et de la qualité des futures interventions de maintenance. Les déterminants de la prévention des risques professionnels en maintenance sont nombreux². L'organisation de la maintenance regroupe une part essentielle de ces déterminants. Certains peuvent être pris en compte dès la conception, plus particulièrement :

- les caractéristiques de la machine;
- l'implantation de la machine;
- les moyens supports (levage, manutention...) à la maintenance de la machine.

L'article « Penser à la maintenance dès la conception des machines », page 37 de ce dossier, décrit les neuf critères de conception des situations de travail permettant de réduire les risques professionnels lors des interventions de maintenance, identifiés dans une nouvelle brochure INRS à destination des concepteurs. Ces critères concernent aussi bien la machine en elle-même (les accès aux pièces d'usure, les dispositifs de séparation des énergies, etc.) que son environnement de travail (l'implantation de la machine, les moyens nécessaires à l'intervention, etc.).

Bien que la maintenance puisse être organisée sous de nombreuses formes, nous nous attacherons dans ce dossier au seul aspect de la maintenance prévisionnelle destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une machine et à anticiper ces défaillances.

lances par la surveillance d'indicateurs pertinents. Cette anticipation contribue à l'amélioration de la santé et de la sécurité en optimisant le nombre, la préparation et la programmation des interventions de maintenance.

L'article « La maintenance prévisionnelle ou comment prévoir les défaillances avant qu'elles ne se produisent », page 28, montre également que la maintenance prévisionnelle a toute sa place dans l'usine du futur grâce à la digitalisation des données.

La formation est un levier important de la maîtrise des risques professionnels. Les activités de maintenance requièrent des compétences métiers spécifiques. Ces formations à haute technicité doivent être accompagnées de connaissances des risques auxquels les métiers sont exposés. Des dispositifs d'aide ont été développés par l'INRS et les Carsat aussi bien en formation initiale (Synergie Maintenance) qu'en formation continue, notamment pour l'accueil des nouveaux embauchés (Synergie Accueil Maintenance). L'article « Former les agents de maintenance à la santé et sécurité au travail », page 31, décrit comment ces dispositifs ont été mis en œuvre dans les lycées professionnels de l'académie de Toulouse.

L'accidentologie montre que les énergies sont en cause dans la majorité des accidents hors production³. En effet, elles sont source de danger à double titre: d'une part, à cause de leur propriétés intrinsèques (l'électricité est source d'électrisation, le gaz peut être source d'explosion, un fluide peut être corrosif, etc.) et, d'autre part, à cause de leur mise en œuvre (les énergies peuvent par exemple être utilisées pour la mise en mouvement de pièces, ce qui engendre des risques mécaniques). Le premier facteur de risque est la présence d'énergie du fait de l'absence de consignation ou de la mauvaise réalisation de cette consignation. Il est important de souligner que dans la majorité des cas, les victimes de ces accidents se pensaient en sécurité. La maîtrise des énergies, au sens large, est primordiale pour assurer la sécurité lors des interventions de maintenance.

La norme NF C 18-510 « Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique – Prévention du risque électrique » est un document de référence pour la maîtrise de l'énergie électrique. Pour le contrôle des autres énergies, aucun autre document ne fait consensus à ce jour⁴, même s'il existe des référentiels internes à certaines entreprises ou à l'étranger. L'article « Sécurafim®: un outil au service de la sécurisation des interventions de maintenance », page 34, présente l'outil Sécurafim® qui permet de répertorier et de rendre visibles tous les points de condamnation des énergies dangereuses sur les équipements. La démarche préconisée repose sur



© Gaël Kerbaol/INRS

l'élaboration d'une fiche repère pour les consignations et déconsignations. Elle permet l'identification puis l'énumération des points de condamnation des énergies dangereuses.

Ainsi, parce qu'elle a pour objectif de conserver en bon état de fonctionnement les biens constituant l'outil de production tout au long de leur cycle de vie⁵, la maintenance des machines et des installations contribue aussi à préserver la santé et la sécurité de l'ensemble des salariés au travail ainsi que le climat social de l'entreprise. ●

1. NF-X60027: août 2013, Maintenance - Processus maintenance et indicateurs associés.

2. Voir la fiche pratique de sécurité Maintenance: des activités à risques, INRS, ED 123, mars 2013, téléchargeable sur www.inrs.fr

3. Pour en savoir plus, consultez la brochure INRS ED 6129 Sécurité des machines - Modes de fonctionnement protections neutralisées, téléchargeable sur www.inrs.fr

4. Il est à noter qu'une norme élaborée au sein de la commission Afnor X 60 G est actuellement en cours d'enquête publique.

5. Voir également le dossier « De la conception au recyclage d'une machine: la sécurité avant tout », HST n°245, décembre 2016, téléchargeable sur www.hst.fr

Avant certaines opérations de maintenance, la consignation de la machine est à réaliser.

LA MAINTENANCE PRÉVISIONNELLE OU COMMENT PRÉVOIR LES DÉFAILLANCES AVANT QU'ELLES NE SE PRODUISENT

La maintenance conventionnelle, corrective ou préventive, est généralement mise en œuvre à partir de caractéristiques classiques de fiabilité des équipements, ce qui engendre parfois des arrêts inutiles, des opérations de maintenance superflues... Pour réduire ces conséquences coûteuses et potentiellement génératrices de risques, une alternative est de mener des actions de maintenance en « juste à temps » en anticipant les défaillances par une plus grande maîtrise des états dégradés de l'équipement. Cette approche proactive contribue à la prévention des risques professionnels.

**BENOÎT IUNG,
ÉRIC LEVRAT**
Centre de
recherche en
automatique
de Nancy
(Cran)

**JEAN-
BAPTISTE
LÉGER**
société Predict

Au milieu des années 1990, l'émergence des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les systèmes industriels a permis de mettre en place des processus de surveillance, de diagnostic, de pronostic et d'aide à la décision afin de caractériser les dérives et les dégradations de ces systèmes et d'anticiper leurs dysfonctionnements par des prises de décision adaptées aux phases d'exploitation ou de maintenance. Cette orientation anticipative est au cœur des défis actuels autour de l'« usine du futur » qui prône un bouleversement des processus de production induit par les innovations liées à Internet et aux technologies du numérique. Ce bouleversement, dans le domaine de la maintenance, se traduit par le concept de PHM (*Prognostics and Health Management*) qui considère le système à maintenir et le système de maintenance comme un tout, permettant de mettre en œuvre les actions demandées au bon moment: l'anticipation des défaillances d'éléments critiques et une planification optimisée des interventions contribuent à prévenir les risques industriels et à assurer et améliorer la sécurité des personnes et des biens. Ce concept est une contribution forte à l'objectif de maîtrise optimale du maintien en conditions opérationnelles (MCO) de tout système à entretenir en juste à temps.

Prévoir plutôt que subir pour mieux maîtriser

À travers ce nouveau concept, la panne n'est donc plus subie, mais anticipée par la mise en œuvre d'une stratégie de maintenance prévisionnelle que l'on considère comme une extension de la maintenance conditionnelle.

La maintenance conditionnelle est définie selon la norme NF EN 13306 comme une « *maintenance préventive (réalisée avant défaillance) basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent* ». La maintenance prévisionnelle, quant à elle, est définie selon la norme NF EN 13306 comme une « *maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (signe avant-coureur de sa défaillance)* ».

Les processus de traitement nécessaires à la mise en œuvre de la maintenance prévisionnelle réalisent donc deux fonctions essentielles: évaluer l'état courant (à travers une surveillance, un diagnostic) et donner une estimation crédible de l'état futur du système de production (à travers un pronostic, la génération d'un « bilan de santé ») pour aider à la prise de décision. Le résultat attendu est de disposer, à l'avance, de la bonne information, au bon moment et au bon endroit pour prendre la bonne décision en maintenance (Cf. Figure 1).

Ces processus-clés, qui vont de la surveillance à l'aide à la décision, sont normalisés au sein de cadres tels que celui de l'OSA/CBM (*Open System Architecture/Condition Based Maintenance*).

Par conséquent, contrairement à la maintenance conditionnelle, la maintenance prévisionnelle planifie l'intervention avant l'apparition de la défaillance et donc de ses effets sur le système. Le plan de maintenance élaboré est ainsi considéré comme évolutif, n'engendrant pas d'intervention préventive superflue et pouvant même offrir, par la considération des résultats de l'anticipation, des espaces d'opportunités (créneau DEFAD) pour regrouper des actions

(maintenance dite opportuniste). Les avantages de la maintenance prévisionnelle, à moyen terme, sont par conséquent perceptibles sur plusieurs aspects :

- impact sur la « disponibilité instantanée » du bien à maintenir par le suivi de ses dégradations. La notion de disponibilité est l'aptitude-probabilité que l'élément sollicité (par une commande, un ordre) soit en état d'accomplir sa fonction, dans des conditions fixées - la santé et la sécurité faisant partie intégrante de ces conditions - et à un instant donné;
- impact sur la « disponibilité moyenne » (moyenne de la disponibilité instantanée sur un laps de temps donné) par une meilleure planification des actions (par exemple impact limité sur la production), la suppression des actions inutiles et la réalisation d'actions de maintenance en parallèle d'autres actions (par exemple, préparation des outils nécessaires à l'action de maintenance en parallèle de l'approvisionnement en pièces de rechange);
- impact sur l'utilisation totale du bien à maintenir (maîtrise de la durée de vie) par l'évaluation de son potentiel restant en termes de performances, de capacités propres (fiabilité, etc.) et par adaptation de ses missions et modes opérationnels. Cet impact peut se révéler aussi judicieux dans des phases de garantie ou d'engagement en performances du bien;
- impact sur la qualité du produit ou du service délivré (au regard des attentes des utilisateurs)

par une meilleure maîtrise des interactions et influences entre dégradation de l'élément à maintenir et déviations des propriétés du produit ou du service;

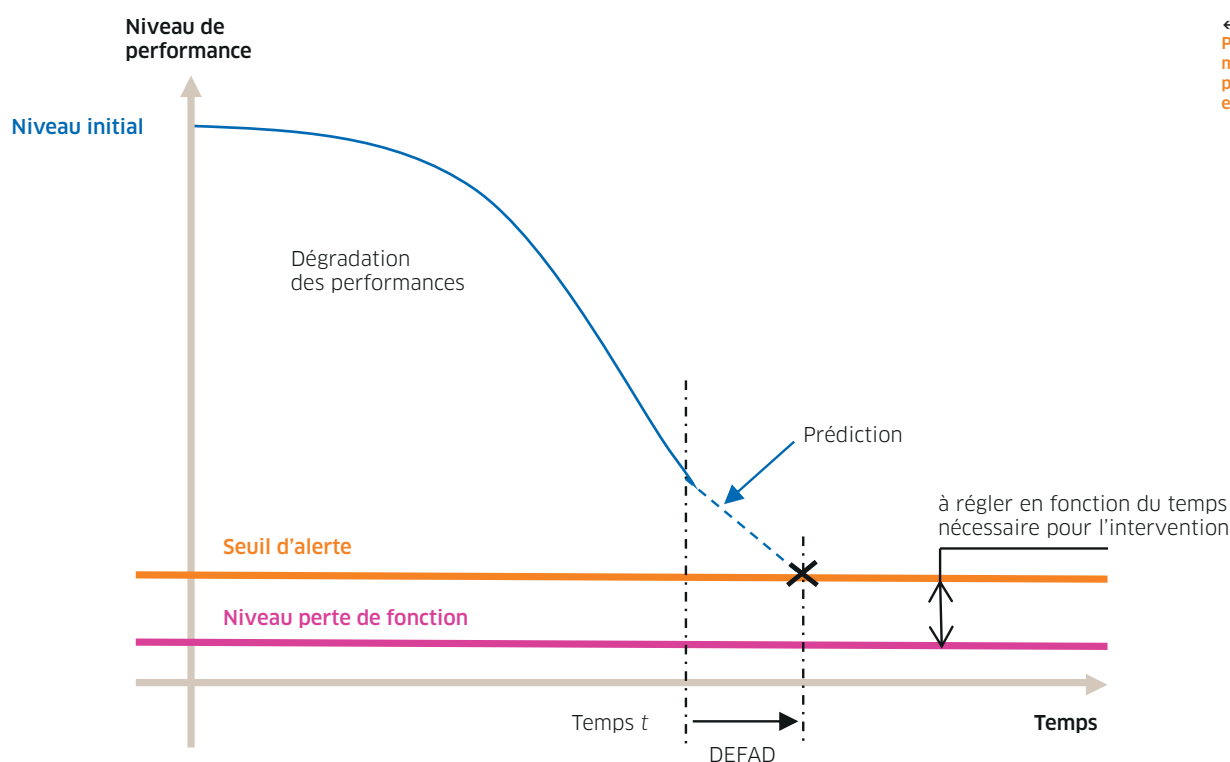
- impact sur la logistique de soutien par une gestion en temps réel adaptée des pièces détachées (suppression des pièces en surnombre, par exemple) et des ressources humaines;
- impact sur la sécurité en repérant à temps des dérives d'usage, des incidents mineurs, des schémas propices aux pannes, et en envisageant des scénarios potentiels avec leurs effets et risques associés pour diriger les ressources de maintenance en conséquence...

Tous ces impacts contribuent à améliorer les conditions d'intervention. Ils ont bien sûr une répercussion sur le coût global de possession du bien à maintenir. Ces impacts sont d'autant plus élevés que la potentialité des dégradations à surveiller est importante.

Accéder aux données liées aux dégradations

Par conséquent, la crédibilité de la maintenance prévisionnelle est liée à l'accès aux données représentatives des dégradations à observer.

Cette problématique des données est cruciale pour la maintenance prévisionnelle, sachant que certaines dégradations ne sont pas observables, par exemple, dans le cas de défaillance soudaine ou d'une instrumentation trop coûteuse (coût des



DEFAD : **durée** estimée de fonctionnement avant défaillance
créneau potentiel pour décider et planifier des interventions

← FIGURE 1
Processus de maintenance prévisionnelle et de pronostic.



capteurs à mettre en place, coût de l'adaptation des capteurs à l'élément à surveiller et/ou à son environnement, etc.). Ces contraintes ont pour conséquence de promouvoir le choix d'une maintenance prévisionnelle surtout pour des systèmes ou composants considérés comme stratégiques (par exemple, en termes de risques ou de perte de productivité) pour lesquels le rapport bénéfice/investissement est nécessairement positif.

Dans ce cas, vis-à-vis de ces données, la question se pose de leur collecte à partir de capteurs (le « lac de données »), de leur analyse et de leur traitement dans un objectif de diagnostic et de pronostic de la dégradation. Les traitements vont surtout porter sur l'élaboration d'indicateurs pertinents permettant une comparaison entre une situation de référence (dite nominale) préalablement apprise ou élaborée et la situation actuelle décrite par les données collectées. Tout écart significatif entre ces deux situations peut être considéré comme un signe avant-coureur d'une évolution vers une situation de défaillance (dite non nominale).

Pour supporter ces aspects de collecte et de traitement, de nombreuses technologies et techniques numériques (intrusives ou non) existent comme la thermographie, la mesure acoustique, l'analyse vibratoire ou l'analyse d'huile qui font appel à des algorithmes sophistiqués. Ces algorithmes sont donc confrontés, dans certains cas, au traitement de volumes de données importants voire massifs, qui est aujourd'hui une problématique émergente labellisée sous le vocable de « Big Data ».

Toutes ces technologies de « traitement » au sens large des données (collecte, filtrage, fusion, stockage, etc.) sont de plus en plus souvent implantées au sein de nouvelles architectures de maintenance plus distribuées et coopérantes comme les architectures de e-maintenance ou de maintenance intelligente propice au déploiement d'une maintenance prévisionnelle. Ces architectures se structurent donc autour d'Internet pour permettre à différents acteurs de la maintenance (répartis géographiquement) aussi bien « technologiques » (par exemple, système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur [GMAO], capteurs, superviseur), qu'« humains » (par exemple, responsable maintenance, opérateur d'intervention, responsable de production, constructeur du composant) de partager des données, de l'information, de la connaissance et, par voie de conséquence, de prendre les décisions les plus adaptées. La décision émerge donc de la coopération entre les acteurs.

Ces architectures exploitent, entre autres, les capacités du *cloud* (délocalisation des applications de maintenance sur des infrastructures distantes accessibles par tous: c'est le principe du « nuage de données »), mais aussi de la distribution de certains traitements de maintenance directement au sein des

composants pour les rendre plus autonomes. Ces composants peuvent être des capteurs dits intelligents qui possèdent non seulement des capacités classiques d'acquisition des données, mais aussi des capacités plus avancées de traitement pour générer directement, à partir de ces données, de véritables informations (après filtrage, seuillage, fusion, harmonisation, etc.), voire prendre des décisions localement. Pour développer, simuler, valider ces architectures, des technologies sont aussi requises permettant, par exemple, de modéliser les besoins, les exigences, les services, les choix organiques, etc.

Un laboratoire pour promouvoir la maintenance prévisionnelle

Pour participer au développement d'une partie de ces technologies en maintenance prévisionnelle et ainsi favoriser leur adoption au sein des entreprises, le laboratoire Cran (UMR CNRS 7039) et la société Predict (www.predict.fr), spécialisée en solutions et services dans ce type de maintenance, ont mis en commun leurs compétences au sein d'un laboratoire nommé PHM-FACTORY (Fabrique de technologies cyber-physiques de PHM). Ce laboratoire a été labellisé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) dans le cadre du programme LabCOM. Ce partenariat bilatéral vise globalement à soutenir l'innovation en PHM de Predict par le développement de nouveaux produits et services tels que CASIP (*Computer-Aided Safety and Industrial Productivity*) et KASEM (*Knowledge and Advanced Services for E-Maintenance*). En effet, l'activité majeure de Predict consiste à étudier des systèmes de biens ou de services (bateau, machine-outil, moteur, centrale de production d'énergie, par exemple), à analyser leurs dysfonctionnements principaux pouvant occasionner des pertes de performance et à concevoir des solutions-clés en main sur la base de ses produits. Ces deux outils, CASIP et KASEM, sont donc à considérer comme une offre globale de e-maintenance permettant l'ingénierie et le déploiement de solutions innovantes en PHM (pour anticiper les pannes, expertiser les causes, maîtriser les risques, capitaliser le savoir-faire, optimiser les actions de maintenance) intégrées avec les autres progiciels de l'entreprise (ERP - Système de gestion des données business de l'entreprise). Ce laboratoire commun doit aussi alimenter le laboratoire Cran avec des problématiques PHM industrielles qui émergent de cette PME pour favoriser l'émergence de nouvelles connaissances scientifiques. Ce défi en innovation est ambitieux, mais nécessaire pour contribuer à faire de la maintenance prévisionnelle une réalité industrielle visant à renforcer la capacité à anticiper les défaillances afin de recourir aux actions préventives les plus justes possible dans un objectif de réduction des coûts et des risques professionnels. ●

FORMER LES AGENTS DE MAINTENANCE À LA SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Au regard des situations de travail variées et parfois complexes dans lesquelles sont réalisées les interventions de maintenance, la formation des opérateurs se révèle particulièrement cruciale, afin de garantir et de maintenir un niveau de compétence technique élevé. Cet article présente l'outil de formation « Synergie maintenance » qui a été utilisé, avec succès, en formation initiale dans des lycées professionnels de l'académie de Toulouse.

MICHEL BRIDOT
INRS,
département
Formation

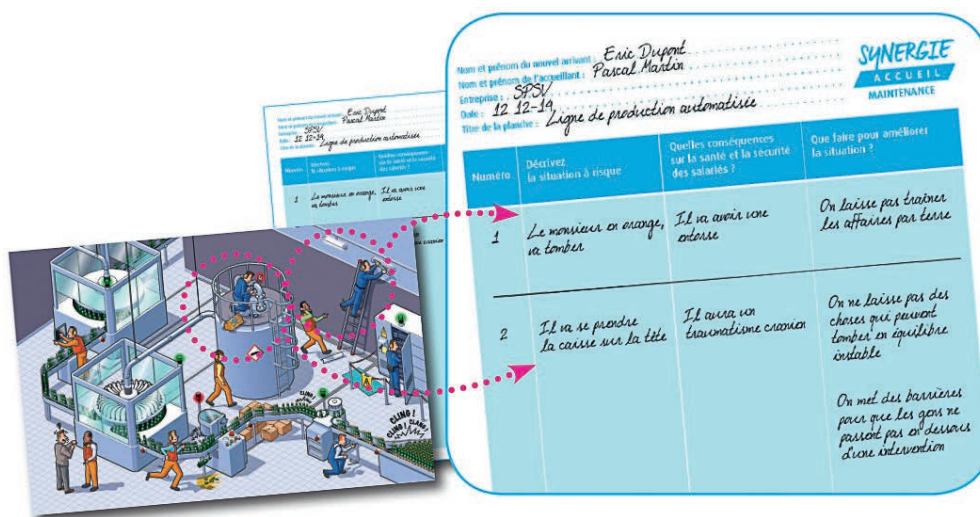
VALÉRIE CAPRIN
inspectrice,
Éducation nationale -
Sciences et techniques
industrielles,
Académie de
Toulouse

RICHARD BAUGUIL
chargé de
mission
d'inspection,
Éducation nationale -
Sciences et techniques
industrielles,
Académie de
Toulouse

Les métiers de la maintenance s'exercent dans des environnements très divers, dans des conditions souvent difficiles, voire parfois très dégradées, en co-activité ou en sous-traitance dans de nombreux cas et en présence de diverses technologies et énergies. De ce fait, le personnel de maintenance doit être techniquement à la pointe et capable de s'adapter à des situations variées et complexes tout en respectant une organisation du travail très rigoureuse. Dans ce contexte, la formation joue un rôle-clé: elle doit permettre de maîtriser les compétences nécessaires pour aborder non seulement toutes les technologies présentes sur les installations (mécanique, électricité, pneumatique, hydraulique, régulation, informatique, etc.), mais aussi la gestion des opérations, la résolution de problèmes et le diagnostic, etc.

Souvent, lors de la formation initiale, si la prévention des risques est abordée, c'est pour répondre à des obligations réglementaires (formation pour obtenir l'habilitation électrique, pour manipuler les fluides frigorigènes, etc.) ou bien c'est au cours de formations techniques qui sont centrées sur un risque particulier (le risque lié aux produits chimiques ou aux fluides sous pression, etc.). La formation à dominante technique comprend un volet santé et sécurité au travail qui se limite parfois, dans les référentiels de formation, à la mention « en prenant en compte la santé et sécurité au travail des salariés » ou « dans le respect des règles de sécurité », etc.

En revanche, ce qui est essentiel et n'apparaît que rarement de manière explicite, c'est que les agents de maintenance soient capables de repérer l'ensemble des risques présents dans une situation de



← FIGURE 1
Livre
« Synergie accueil
maintenance ».



Questionnaire d'activité

Dépannage/réparation/entretien/mise en service d'un équipement de travail ou d'une installation fixe

(Robot, machine-outil, compresseur, nettoyeur haute-pression, pont-roulant, engin de levage, véhicule, luminaires...)

	Réponse - Justification - Commentaire
Quelle(s) activité(s) avez-vous concrètement observée(s) (réalisée(s) par vous-même ou non) ?	
Quelle est la durée de réalisation de cette activité ? • Définie ? • Si non, combien de temps avez-vous mis ?	
La plupart du temps, cette activité se réalise : • Seul ? • Si non, avec un responsable ou un opérateur ?	
Existe-t-il une procédure écrite de travail ? • S'agit-il de la notice du fabricant ? • S'agit-il d'une procédure de l'entreprise ? • Cette procédure donne-t-elle des précautions de sécurité (collectives, individuelles) ? • Avez-vous reçu des instructions verbales ?	
S'agit-il d'une intervention courante ? • Si oui, avez-vous déjà effectué ce type d'opération ? • Si non, avez-vous la possibilité de demander de l'aide interne, externe ?	
Avez-vous les outillages et protections nécessaires à l'intervention ? • Lesquels ? • Savez-vous comment les utiliser ? • Sont-ils adaptés à l'intervention ?	

↑ FIGURE 2
Livret « Synergie pédagogie ».

travail et de contribuer à proposer des mesures de prévention adaptées afin de les éliminer ou de les réduire. Le réseau Assurance maladie - Risques professionnels (AM-RP) s'est fixé comme priorité de diffuser cette « culture de prévention » le plus largement possible auprès des jeunes en formation initiale, dans les lycées, les CFA, les écoles, les universités... mais aussi auprès des nouveaux salariés et, plus largement, de l'ensemble des salariés du régime général. Dans le cas de la maintenance, étant donné la multiplicité des facteurs de risque et les conditions d'intervention particulièrement délicates, une bonne maîtrise de la démarche d'approche des risques professionnels prônée par le réseau AM-RP est essentielle. Le témoignage qui suit présente une action concrète menée auprès de jeunes lycéens préparant des diplômes dans le métier de la maintenance industrielle et qui s'appuie sur l'outil Synergie développé par l'INRS et les Carsat. Ce témoignage fait état d'une action possible pour diffuser la « culture de prévention » auprès des futurs agents et techniciens de maintenance, mais elle ne constitue pas la seule manière d'œuvrer en ce sens. De nombreuses autres expériences sont ou pourraient être menées dans d'autres régions et auprès d'autres publics (personnes en réinsertion, intérimaires, nouveaux embauchés, etc.).

Une expérience dans les lycées professionnels de l'académie de Toulouse

L'académie de Toulouse propose des actions de formation continue liées à la santé et sécurité au travail. C'est dans ce cadre que l'outil « Synergie

maintenance », élaboré par l'INRS, a fait l'objet d'une appropriation par les équipes enseignantes.

L'outil « Synergie maintenance industrielle »

Il se compose de deux livrets :

- le livret « Synergie accueil maintenance » (Cf. Figure 1) est destiné aussi bien aux élèves en formation initiale qu'aux apprentis et nouveaux embauchés. Il permet aux tuteurs et maîtres d'apprentissage de situer leur niveau de connaissances en matière de santé et sécurité au travail afin de proposer des actions adaptées pour compléter les connaissances ;
- le livret « Synergie pédagogie » (Cf. Figure 2) est destiné aux établissements de formation initiale et aux entreprises. Il vise à favoriser l'intégration de la prévention des risques professionnels dans les enseignements en rapprochant l'école de l'entreprise. Il constitue un support privilégié pour les professeurs d'enseignement professionnel (EP) et de prévention santé environnement (PSE).

Les enjeux pour le lycée professionnel sont :

- de sensibiliser les élèves, à partir de situations de travail réelles, au repérage des dangers à des fins de prévention ;
- d'enrichir les enseignements par des cas concrets issus du monde de l'entreprise ;
- de préparer les élèves aux périodes de formation en entreprise.

Les enjeux pour l'entreprise sont de s'appuyer sur la contribution pour alimenter et/ou compléter la démarche d'évaluation des risques professionnels mise en place.

Une formation en trois temps

La collaboration entre la Carsat Midi-Pyrénées et le rectorat de Toulouse a débouché sur un plan de formation en trois temps. Les objectifs de l'action, préalablement inscrite au plan académique santé et sécurité, ont été définis conjointement par la correspondante Carsat, les inspecteurs de l'Éducation nationale en enseignement technique - sciences et techniques industrielles (IEN-ET-STI), les inspecteurs de l'Éducation nationale en enseignement technique (IEN-ET) en charge de la PSE et les formateurs de formateurs académiques. Elle se décompose en trois étapes :

- étape 1 : appropriation de l'outil Synergie par les équipes enseignantes ;
- étape 2 : transfert aux élèves en établissement scolaire et en entreprise ;
- étape 3 : retours d'expérience.

Étape 1

La première journée de formation qui s'adressait à un binôme de professeurs (EP et PSE) par établissement accueillant la formation au baccalauréat professionnel « Maintenance des équipements

industriels » s'est déroulée au cours de l'année scolaire 2015-2016. Elle avait pour objectif l'exploitation pédagogique des livrets « Synergie maintenance industrielle ». Plusieurs pistes ont été proposées afin de réutiliser les savoirs acquis pour les mettre en œuvre sur des cas concrets tout au long des trois années du cycle de formation. La plupart d'entre elles s'articulent de manière forte autour des périodes de formation en milieu professionnel (PFMP), celles-ci représentant près de 30% du parcours de l'élève.

Étape 2

Afin de faciliter l'exploitation de l'outil par les élèves, la réflexion s'est poursuivie au sein d'un groupe académique de professeurs de la filière Maintenance industrielle. Les ressources de « Synergie maintenance industrielle » (fiches familles de risques et de leurs composantes) ont été réinvesties par l'intermédiaire du livret de suivi des PFMP.

Désormais, lorsqu'ils vont en entreprise, les élèves sont capables, selon le niveau de classe :

- de repérer les dangers de la situation de travail et de compléter une partie du questionnaire du livret « Synergie pédagogie » ;
- d'analyser en détail une situation de travail réelle et de compléter le questionnaire du livret « Synergie pédagogie ».

En parallèle, le binôme d'enseignants a permis aux élèves de bénéficier d'apports concrets spécifiques au métier en amont du départ en entreprise.

Étape 3

Un bilan de la mise en œuvre de l'outil a été réalisé au cours de l'année scolaire suivante, l'intérêt étant d'identifier non seulement les réussites, mais aussi les difficultés liées à l'utilisation des livrets Synergie.

Une enquête a mis en évidence quelques points forts comme l'utilisation de l'outil par 75% des équipes formées et un intérêt manifesté par les élèves. Les planches relatives à la chasse aux risques ont été largement plébiscitées par tous. En revanche, la lourdeur des questionnaires d'activité du livret « Synergie pédagogie » a été signalée comme une source de difficultés. Ils nécessitent en effet un travail préalable de repérage et de tri. Une mise à disposition sous format numérique des planches d'identification des dangers et une mise en ligne des questionnaires seraient appréciées. Néanmoins, l'impact de l'utilisation des outils Synergie auprès des futurs agents et techniciens de maintenance qui ont participé à l'expérimentation semble globalement tout à fait positif.

Le réseau AM-RP a prévu non seulement de poursuivre la réalisation d'outils de formation tels que Synergie, de les améliorer au fur et à mesure, mais

aussi de mettre en place les conditions d'utilisation optimale de ces outils : formation des enseignants, des formateurs, des tuteurs, des accueillants en entreprise, mise à disposition de tout ou partie de ces outils dans d'autres formats plus attrayants pour les jeunes, réalisation d'outils d'information et de formation accessibles aux faibles niveaux de qualification et aux personnes qui présentent des difficultés à comprendre des notions abstraites, poursuite des partenariats avec le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, des structures de coordination des CFA ou des réseaux d'organismes de formation, création de nouveaux partenariats, etc.

L'objectif de la formation est qu'à l'avenir, tout salarié réalisant la maintenance d'une installation, d'un bâtiment, d'une machine soit capable d'intervenir en ayant au préalable pris toutes les mesures nécessaires à l'élimination ou la réduction de l'ensemble des risques présents sur la situation de travail et dans son environnement. ●

L'expérimentation du dispositif « synergie maintenance » avec un étudiant issu de la filière Bac professionnel « maintenance industrielle ».



© Serge Morillon/INRS

SÉCURAFIM® : UN OUTIL AU SERVICE DE LA SÉCURISATION DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

La prévention des risques liés aux activités de maintenance nécessite de prendre en compte les aspects techniques, organisationnels et humains du travail. Parmi les solutions techniques figurent notamment les outils permettant de sécuriser les interventions. L'Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (Afim) a développé Sécurafim®, un outil permettant d'améliorer l'efficacité et la sécurité des opérations de maintenance par une meilleure maîtrise des énergies.

NELLO COMELLI
Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (Afim)

SANDRINE HARDY
INRS, département Expertise et conseil technique

L'outil Sécurafim® (Cf. Figure 1) consiste en un ensemble de moyens techniques à utiliser sur des machines, des équipements ou des installations, lors des interventions hors production, pour aider à maîtriser les énergies qui y sont présentes. L'Afim a accompagné plusieurs entreprises dans les trois phases nécessaires à la mise en œuvre de cet outil. Ses avantages et ses limites ont donc pu être identifiés, ainsi que ses effets à court et moyen terme.

Mise en œuvre de l'outil

Sécurafim® permet de :

- lister les énergies présentes sur une machine ;
- identifier et rendre visibles les organes contribuant à la mise en sécurité ;
- repérer les énergies contenues.

L'outil est commercialisé sous la forme d'une mallette contenant des moyens techniques, des documents pratiques et des outils méthodologiques. Les affichettes et les macarons servent non seulement au repérage des organes de sécurisation et des emplacements où se trouvent les énergies résiduelles, mais aussi à signaler la présence de techniciens de maintenance. Les documents sont soit des documents types à remplir (bons de consignation, attestations de mise en sécurité...), soit des documents à adapter aux interventions (modèle de plan de prévention, modèle de permis de travail, modèle de fiche-repère...). Le progiciel fourni apporte une aide méthodologique à l'analyse des risques. Enfin, un guide d'utilisation de l'ensemble de l'outil, rédigé conjointement par l'Afim et l'INRS, vient compléter l'ensemble. Sécurafim® peut s'utiliser sur une machine (ou un parc de machines), un équipement de travail ou

une installation. L'utilisation de l'outil comprend trois étapes.

La première étape est le recensement de l'ensemble des énergies présentes sur la machine. Toutes les sources d'alimentation doivent être recensées, y compris les sources secondaires et auxiliaires. Le mot « énergie » est à comprendre ici au sens large : il s'agit aussi bien des énergies communément utilisées pour animer les machines (énergies électrique, mécanique, hydraulique, pneumatique, thermique...) que des fluides et réactifs qui peuvent produire une énergie (gaz, produits chimiques...) ou encore des sources de rayonnements (ionisants, optiques...).

La deuxième étape consiste en une identification de l'ensemble des organes contribuant à la mise en sécurité. Sont concernés tous les dispositifs sur lesquels il est nécessaire d'agir pour sécuriser les interventions, c'est-à-dire les organes de séparation, d'isolement, de purge, de blocage mécanique, d'obturation... Ils sont ensuite rendus visibles par la pose d'affichettes signalétiques directement sur l'équipement. C'est en ce sens que Sécurafim® peut être défini comme un outil de « management visuel » de la prévention des risques liés aux énergies.

Enfin, la troisième étape du déploiement de cet outil est la rédaction d'une fiche-repère pour chaque équipement. Apposée sur l'équipement, elle fait la synthèse des informations recueillies lors des étapes précédentes. Elle comprend :

- une cartographie de l'équipement permettant de localiser l'ensemble des organes d'isolement, ainsi que les emplacements des énergies résiduelles ;
- un tableau récapitulatif indiquant, pour chaque énergie, la liste des organes d'isolement, la nature des manœuvres à effectuer sur chaque organe

pour assurer la mise en sécurité (ouvrir, fermer, tourner, purger, cadener...) ainsi que les moyens de s'assurer de l'absence ou de la neutralisation des énergies;

- un inventaire des énergies résiduelles précisant les méthodes et les moyens de se prémunir des risques qu'elles présentent (par purge, dissipation, blocage mécanique, confinement...).

Pour des ensembles complexes, la fiche-repère peut renvoyer à des modes opératoires précisant l'ordre chronologique des opérations à exécuter pour assurer la mise en sécurité de l'équipement. Dans le cadre de l'acquisition d'un équipement neuf, il est recommandé d'inciter les fabricants (par exemple, par le biais du cahier des charges) à fournir la fiche-repère des énergies, en complément des informations indiquées dans la notice d'instructions.

Au travers de ces étapes, on s'aperçoit que la mise en place de Sécurafim® requiert une connaissance approfondie des machines et, en particulier, des énergies et des risques qu'elles présentent ainsi que des technologies et des matériels utilisés pour mettre en œuvre ces énergies. Les personnes en charge de la rédaction des fiches-repères doivent être capables d'identifier de manière exhaustive toutes les énergies présentes sur l'équipement. De plus, comme nous le verrons plus loin, la mise en œuvre de cet outil s'intègre dans une démarche plus globale de prévention des risques liés aux énergies et nécessite, par conséquent, une réelle volonté de la part de l'entreprise d'agir sur la sécurité des interventions de maintenance et, plus particulièrement, sur la maîtrise des énergies.

Avantages et limites de l'outil

La mise en place de Sécurafim® contribue à la maîtrise des énergies – un des facteurs-clés de la sécurité lors des interventions de maintenance –, car elle met à disposition des intervenants des informations fiables et pérennes sur la localisation des énergies et des moyens permettant d'agir sur celles-ci.

L'utilisation conjointe de la fiche-repère et des repères visuels apposés sur l'équipement leur permet d'identifier rapidement et sans erreur le nombre, l'emplacement et le type de manœuvres à effectuer pour se mettre en sécurité. Elle facilite également la réalisation de l'analyse des risques indispensable avant chaque intervention, car elle met en lumière les énergies présentes et les mesures de prévention à appliquer. Ces dernières sont donc mieux mises en place et les risques d'omission (par méconnaissance ou par oubli) sont réduits. Cela représente un atout pour la sécurité des intervenants, mais également pour l'efficacité de la maintenance, car la procédure de consignation est alors plus rapide à mettre en œuvre.



↑ FIGURE 1
L'outil Sécurafim®

En plus de ces effets directs, les entreprises qui ont utilisé Sécurafim® ont constaté qu'une réelle dynamique de prévention en découlait: les intervenants prennent conscience des risques liés aux énergies et acquièrent de nouveaux réflexes en matière de consignation. Ils posent également un autre regard sur les organes de séparation, d'isolement ou de purge, et en particulier sur leur positionnement, leur identification et leur maintien en état de fonctionnement.

L'efficacité de Sécurafim® est très liée à la volonté politique de l'entreprise d'engager une réelle démarche de sécurisation des interventions et de maîtrise des énergies. En effet, cet outil ne représente que la phase initiale d'une démarche bien plus globale et ne dispense pas de la préparation du travail ni de la réalisation des autres tâches indispensables à la mise en sécurité:

- définir le type d'intervention et les opérations à réaliser;
- analyser les risques associés à l'intervention;
- prendre les mesures les plus appropriées pour intervenir en sécurité;
- identifier les moyens nécessaires au bon accomplissement de l'intervention;



- confier l'intervention à du personnel spécifiquement formé possédant les aptitudes requises. Il est important de garder à l'esprit que Sécurafim® n'est qu'un outil: il ne réalise pas, à lui seul, les différentes actions citées précédemment (analyse des risques, rédaction des modes opératoires, réalisation des consignations...), mais donne à l'utilisateur l'impulsion nécessaire pour réaliser ces actions.

Vers une démarche plus globale de mise en sécurité des interventions

La mise en œuvre de Sécurafim® sur une machine permet de vérifier la faisabilité de la réalisation des interventions en toute sécurité. En effet, chaque étape questionne sur la mise en sécurité et fait parfois surgir certaines anomalies de conception ou liées à des modifications. Il est alors important d'envisager cette détection d'anomalies comme l'occasion de mettre en place des actions correctives qui contribueront à la prévention des risques. Si ces mesures correctives ne peuvent être immédiates, des mesures compensatoires seront alors définies pour pallier les anomalies en attendant la mise en place effective des mesures correctives. La phase d'identification des énergies met parfois en lumière des sources d'énergie non identifiées et souvent issues de modifications, autorisées ou non (il arrive que l'on constate des « repiquages sauvages »). Dans ce cas, une réflexion doit être menée sur les raisons d'être de ces sources secondaires et sur la nécessité, ou non, de les légitimer. La phase de repérage des organes utilisés pour la maîtrise des énergies (organes de séparation, d'isolement, de confinement, de purge...) doit permettre, dans un premier temps, de s'assurer de leur présence. En effet, la réglementation impose qu'une machine soit munie de dispositifs permettant de l'isoler de toutes les sources d'énergie. Le repérage est également l'occasion de tester les organes et de vérifier leur bon fonctionnement. Là encore, un dysfonctionnement constaté sera suivi d'une action de maintenance corrective. L'ensemble des organes répertoriés sera ensuite intégré dans les gammes de maintenance pour en assurer le maintien en état de façon pérenne. Le recensement de ces organes peut s'accompagner de la vérification que tous les moyens techniques nécessaires à leur utilisation sont bien à disposition (cadenas, boîtes à clés...). Ensuite, la phase de rédaction des fiches-repères permet d'évaluer l'adéquation entre les organes présents sur la machine et les contraintes auxquelles ils sont soumis. En effet, il arrive qu'un organe ne soit pas adapté à son environnement ou à l'énergie qu'il couvre, compte tenu des niveaux de risque (pression élevée, température élevée, fluide corrosif...). Dans ce cas, un remplacement de l'organe concerné par un dispositif adéquat – ou une modification conséquente si nécessaire – sera

alors planifié. La phase de rédaction de la fiche-repère permet également de passer en revue les modes opératoires de mise en sécurité des interventions. Cela permet de vérifier que toutes les énergies (y compris résiduelles) répertoriées ont bien été prises en compte lors de la rédaction du mode opératoire, d'une part, et que les procédures rédigées sont adaptées et effectivement applicables, d'autre part. Si tel n'était pas le cas, un travail de réécriture des procédures sera engagé¹ et des mesures compensatoires mises en place immédiatement.

Les trois étapes du déploiement de Sécurafim® peuvent donc être mises à profit pour agir plus largement, que ce soit sur les aspects techniques (moyens techniques et outils de mise en sécurité), organisationnels (préparation du travail, modes opératoires et procédures) ou humains (formation appropriée des intervenants, en particulier pour permettre aux opérateurs de maintenance d'exécuter leurs interventions en sécurité). Cet outil est donc un déclencheur de la mise en place de la démarche globale de prévention des risques liés aux énergies.

Conclusion

Les retours d'expérience à la suite de la mise en place de Sécurafim® sur de nombreux équipements ont montré que, bien qu'initialement conçu comme un outil de repérage et d'identification, il permet d'aller beaucoup plus loin. Il fournit une impulsion efficace à la mise en place d'une démarche de sécurisation des interventions de maintenance. Les conséquences observées sont:

- des effets directs et immédiats: mise à disposition d'informations fiables et pérennes sur les énergies, réduction du risque de confusion lors des interventions et gain de temps lors de la consignation et de la déconsignation;
- des effets indirects à court terme: initiation d'une dynamique de prévention par une prise de conscience des risques et une réflexion sur la nature des interventions à effectuer;
- des effets à plus long terme: meilleur maintien en état de fonctionnement des organes utiles à la consignation, équipements plus faciles à consigner et à déconsigner (les éventuelles actions correctives nécessaires sont réalisées), modes opératoires plus pertinents et mieux applicables.

Tous ces effets contribuent à la mise en place d'une culture de prévention des risques liés aux énergies non seulement en ce qui concerne la maintenance, mais aussi pour toute l'entreprise. ●

1. L'INRS met à disposition une brochure pour aider à établir une procédure de consignation adaptée à une situation considérée, voir ED 6109 Consignations et déconsignations.

PENSER À LA MAINTENANCE DÈS LA CONCEPTION DES MACHINES

L'intégration des exigences liées aux activités de maintenance lors de la phase de conception des machines contribue à améliorer la santé et la sécurité des opérateurs de maintenance tout en améliorant la disponibilité des machines lors de son exploitation. Dans cette optique, une nouvelle brochure¹, réalisée par l'INRS et des Carsat, propose aux concepteurs neuf critères à prendre en compte lors de la conception d'une machine afin de rendre les futures interventions de maintenance plus sûres.

JEAN-ALEXANDRE BALBERDE
ingénieur-conseil, Cram Île-de-France

JEAN-CHRISTOPHE BLAISE
INRS, département Ingénierie des équipements de travail

CHRISTOPHE BONNAUD
ingénieur-conseil, Carsat Auvergne

CHRISTIAN JACQUEL
ingénieur-conseil, Carsat Alsace-Moselle

JEAN-FRANÇOIS LANNURIEN
ingénieur-conseil, Carsat Bretagne

S'il est essentiel que l'utilisateur soit à l'initiative du processus de conception par l'expression de ses besoins, des usages attendus ainsi que des contraintes liées à ses activités *via* le cahier des charges, c'est bien au concepteur, au début de son activité de conception, de les prendre en compte lors de ses choix techniques. Comme dans toute démarche d'intégration de la prévention, l'estimation *a priori* des risques est le point-clé de l'intégration des mesures de prévention pertinentes. Elle requiert l'analyse et la prise en compte de tous les modes de fonctionnement de la machine et de toutes les méthodes de travail (le besoin d'accéder pendant le chargement/déchargement, le réglage, l'apprentissage, le changement ou la correction d'un processus, le nettoyage, la recherche de défauts...). Les situations de travail à prendre en considération pour enrichir le cahier des charges ne se limitent donc pas à un fonctionnement nominal pour la production, mais concernent l'ensemble des usages et de leurs contextes. Parmi eux, les besoins liés à la maintenance de la machine ne doivent être ni oubliés ni minorés. Aussi bien conçue que soit la machine, elle aura en effet toujours besoin d'être maintenue et réglée. Après avoir rappelé les principes de conception ainsi que le large périmètre des activités de maintenance et leurs enjeux, la brochure ED 6270 présente neuf critères qui concernent aussi bien la machine en elle-même (par exemple, les accès aux pièces d'usure, les dispositifs de séparation des énergies) que son environnement de travail (par exemple, l'implantation de la machine, les moyens nécessaires à l'intervention). Au préalable, l'importance de la relation entre les concepteurs et les utilisateurs est rappelée à différentes étapes: lors de l'expression des besoins des utilisateurs,

à la réception de la machine, pour l'élaboration des instructions liées à son utilisation et dans la phase de formation des opérateurs (appropriation). À ce titre, cette brochure constitue un outil d'aide à la rédaction d'un cahier des charges pour la maintenance ainsi qu'un outil de dialogue tout au long du processus de conception afin de s'assurer que les besoins et les usages, définis au départ, sont toujours respectés et ce, jusqu'à la réception de la machine par l'utilisateur².

Normes, Code du travail: la maintenance prise en compte

Parmi les textes de référence qui donnent des objectifs pour la conception des machines, quelques-uns rappellent que la maintenance doit être intégrée à la conception. La norme NF EN ISO 12100:2010 décline les principes généraux de conception pour intégrer la sécurité aux machines. À cet effet, elle souligne notamment la nécessité de mettre en œuvre des modes de fonctionnement spécifiques pour certaines activités³ en se fixant en outre pour objectif « *que les moyens prévus pour la protection des opérateurs de production puissent aussi assurer la protection des personnes chargées du réglage, de l'apprentissage, des changements de processus de fabrication, de la détection de défauts, du nettoyage ou de la maintenance, sans entraver l'exécution de leur tâche* »⁴. Elle rappelle même que « *ces tâches doivent être identifiées et prises en considération lors de l'appréciation du risque comme des éléments de l'utilisation de la machine* ».

L'ensemble des obligations réglementaires concernant l'intégration de la maintenance à la conception des machines est contenu dans l'article « Annexe I à l'article R. 4312-1 » du Code du travail. Cet article reprend « *les règles techniques en matière de santé et de sécurité applicables aux machines*



neuves ou considérées comme neuves ». La maintenance (nommée « entretien » dans le texte mentionné) y est évoquée dans plusieurs paragraphes. Parmi les principes généraux, il est mentionné que la détermination des règles techniques à appliquer lors de la conception d'une machine doit découler d'un processus itératif d'évaluation et de réduction des risques pour tous les usages de l'équipement. Le principe fondamental d'intégration de la sécurité stipule que « *la machine est conçue et construite pour être apte à assurer sa fonction et pour qu'on puisse la faire fonctionner, la régler et l'entretenir sans exposer quiconque à un risque...* ». D'autres principes sont mis en exergue. Ils concernent notamment l'éclairage, les dispositifs de protection, la consignation et l'accessibilité aux organes à maintenir. Enfin, une partie importante du texte relatif à la maintenance des machines concerne la notice d'instructions qui contient des informations primordiales pour les futurs utilisateurs.

Les neuf critères à suivre

Neuf critères à prendre en compte sont présentés successivement, par ordre alphabétique, avec les points-clés de leur intégration. Certains sont spécifiques à la maintenance (par exemple, la consignation), d'autres sont des prescriptions plus générales (par exemple, la prévention des phénomènes dangereux relatifs aux équipements hydrauliques et pneumatiques), mais qui doivent être appliquées aux activités de maintenance.

Dans la brochure, chacun de ces critères est présenté sous forme de fiche. Chacune propose une définition du critère et décrit les objectifs de sa prise en compte dès la conception, tant d'un point de vue fonctionnel que d'un point de vue santé-sécurité. Les prescriptions techniques, souvent référencées par des normes internationales, sont exposées et le contexte réglementaire est rappelé. Les neuf critères sont les suivants.

Accès et traitement de l'information

Les dispositifs d'accès et de traitement de l'information, objets de communication entre l'homme et la machine, doivent permettre d'obtenir les informations utiles et nécessaires pour effectuer son intervention de maintenance en sécurité, sans contraintes physiques et mentales, *via* des moyens de supervision et de commande adaptés. Le choix (ou la conception) de ces dispositifs fait partie intégrante de la conception d'une machine et concerne non seulement les utilisateurs, mais aussi le personnel en charge des activités de maintenance qui nécessitent de plus en plus souvent d'avoir recours à des informations spécifiques concernant la machine. Comme le souligne le critère « Aide au diagnostic », certains dispositifs leur sont même dédiés. Les prescriptions décrites dans la brochure,

bien qu'elles ne soient pas propres à l'activité de maintenance, peuvent couramment aider à protéger les opérateurs de maintenance.

Accessibilité

Ce critère se caractérise par la possibilité pour l'opérateur muni des moyens nécessaires de :

- atteindre, avec un minimum de contraintes physiques et psychologiques, un équipement, un sous-ensemble, un élément ;
 - disposer de l'espace requis pour exécuter l'intervention prévue ;
 - effectuer les tâches manuelles prévues en limitant au maximum les contraintes physiques ;
 - pouvoir voir directement et sans gêne ce qu'il fait.
- Pour cela, les interventions les plus fréquentes doivent être prévues en dehors des zones dangereuses, l'accès aux éléments à maintenir doit être facilité et permettre des postures de travail plus confortables tout en limitant les efforts.

Aide au diagnostic

Le diagnostic se caractérise par la recherche de la cause de la défaillance à partir de la détection de symptômes (phénomènes, caractères perceptibles ou observables liés à un état ou à une évolution) et à l'aide d'un raisonnement logique. Les outils d'aide au diagnostic permettent, d'une part, de trouver rapidement l'origine du défaut ou du dysfonctionnement et de le comprendre avant d'entreprendre toute intervention dans le cadre d'une maintenance corrective et, d'autre part, de pronostiquer les futures pannes dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle. Ce critère peut s'étendre aux notions de connexions d'appareil de mesures pour surveiller l'équipement en fonctionnement, au-delà de la recherche de défauts.

Ambiances physiques de travail

La prise en compte des critères d'ambiance physique de travail à la conception contribue à la réduction de l'exposition des intervenants de maintenance aux vibrations, au bruit, à la qualité de l'air, à la qualité de l'éclairage, etc. dont les effets sur la santé sont majoritairement mesurés à long terme (maladies professionnelles), ainsi qu'au froid, à la chaleur, au risque d'incendie et d'explosion dont les effets sont visibles à court terme (accidents de travail). Les ambiances physiques peuvent également contribuer à dégrader les conditions d'intervention (gêne lors de communications dans une ambiance bruyante, posture contraignante pour éviter une exposition...).

Consignation - déconsignation

Le fonctionnement d'une machine met en œuvre différents types d'énergie. Avant toute intervention de maintenance, il est nécessaire d'éviter tout

risque lié aux énergies en présence. Pour cela, il est recommandé d'effectuer une consignation des énergies qui est mise en œuvre par les exploitants de la machine. C'est pourquoi le concepteur doit équiper sa machine de moyens techniques permettant cette consignation. Il doit également fournir aux futurs utilisateurs les instructions nécessaires à sa bonne réalisation. Certaines interventions ne peuvent pas être réalisées en consignation des énergies. Des mesures doivent alors être prises pour que ces opérations soient effectuées en toute sécurité.

Dossier technique et notice d'instructions

Le concepteur doit constituer un dossier technique de construction qui démontre que la machine est conforme aux exigences de la directive « Machines ». Ce dossier contient notamment une description des mesures mises en œuvre afin d'éliminer les dangers recensés ou de réduire les risques, y compris ceux liés aux opérations de maintenance. Il contient également une indication des risques résiduels liés à la maintenance de la machine qui seront détaillés dans la notice d'instructions à destination des utilisateurs. Les informations que la notice doit contenir sont rappelées dans la brochure.

Mode de fonctionnement spécifique maintenance

Certaines opérations de maintenance nécessitent que la machine fonctionne alors qu'un protecteur a été déplacé ou retiré et/ou qu'un dispositif de protection a été neutralisé. Un mode de fonctionnement spécifique doit alors être prévu à la conception pour assurer les opérations de maintenance nécessitant le maintien d'énergies.

Positionnement des points de réglage et de maintenance

Pour effectuer les tâches de maintenance, l'opérateur doit intervenir en des endroits précis de la machine ou de l'installation. Il est donc important que, dès la conception, l'implantation et le positionnement de ces points de réglage soient particulièrement étudiés pour éviter de le mettre en danger lorsqu'il effectue ces opérations. Le taux d'utilisation de la machine en phase de production peut également être optimisé en positionnant les points de réglage et de maintenance à l'extérieur des zones dangereuses. De ce fait, les interventions seront réalisées plus rapidement, dans de meilleures conditions de sécurité et à moindre coût, car l'opérateur accèdera plus facilement aux points de réglage.

Prévention des phénomènes dangereux engendrés par les équipements hydrauliques et pneumatiques

Les équipements hydrauliques et pneumatiques sont nécessaires au fonctionnement des machines.

Ils sont constitués de divers composants qui permettent notamment le conditionnement du fluide, son transport, la transformation et la transmission de l'énergie: fluides, composants de conditionnement, moteurs, pompes, vérins, accumulateurs, soupapes, distributeurs, joints et dispositifs d'étanchéité, purges, réservoirs, filtres, accouplements, raccords, manomètres, pressostats, flexibles, conduites, tuyauteries, etc. Compte tenu des niveaux de pression mis en œuvre sur les machines et installations (de quelques bars à plusieurs milliers de bars en hydraulique, généralement de 5 à 7 bars en pneumatique), les équipements hydrauliques et pneumatiques peuvent présenter des dangers pour les opérateurs de maintenance.

Prévention intégrée à la conception

Le Code du travail rappelle que les principes d'intégration de la sécurité consistent à choisir les solutions les plus adéquates en appliquant la méthode en trois étapes. Ces trois étapes successives sont prévues dans un ordre de priorité:

- étape 1 - première priorité: mesures de prévention intrinsèque;
- étape 2 - deuxième priorité: mesures de protection techniques;
- étape 3 - troisième priorité: informations à l'intention des utilisateurs.

Cet ordre de priorité doit être appliqué lors de la sélection de mesures pour traiter un risque donné afin de satisfaire aux exigences essentielles de santé et de sécurité correspondantes: en conséquence, le fabricant doit réaliser toutes les mesures de prévention intrinsèque possibles avant de recourir à des mesures de protection. De même, il doit mettre en place toutes les mesures de protection possibles avant de se fonder sur des mises en garde et des instructions aux opérateurs.

Les critères présentés précédemment ne s'inscrivent pas exclusivement dans l'un ou l'autre de ces types de mesures. Pour leur prise en compte, les principes d'intégration de la sécurité sont bien sûr à respecter. Prises dans leur intégralité, les préconisations énoncées pour chaque critère contribuent à concevoir des situations de travail sûres pour les activités de maintenance. ●

1. Prévention des risques en maintenance. Critères à intégrer dès la conception des machines, *INRS, ED 6270, mars 2017, téléchargeable sur www.inrs.fr*

2. Consultez la brochure Réussir l'acquisition d'une machine ou d'un équipement de travail, *INRS, ED 6231, mai 2016, téléchargeable sur www.inrs.fr*

3. § 6.2.11.9 Mode de commande prévu pour le réglage, l'apprentissage, le changement de processus de fabrication, la recherche de défauts, le nettoyage ou la maintenance, norme NF EN ISO 12100: 2010.

4. § 6.3.2.4 Cas où l'accès à la zone dangereuse est nécessaire pour le réglage, l'apprentissage, les changements de processus de fabrication, la détection de défauts, le nettoyage ou la maintenance, norme NF EN ISO 12100: 2010.