

PROCESSUS DE MAINTENANCE : RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES FACTEURS DE RISQUES

- Maintenance
- Facteur de risque
- Enquête

► *Jean-Christophe BLAISE,*
INRS, département Ingénierie des équipements de travail

► *Daniel LIÉVIN,*
INRS, département Homme au travail

MAINTENANCE PROCESS: EXPERIENCE FEEDBACK FOR RISK FACTORS

There is a trend towards an overall drop in the numbers of occupational accidents involving work equipment, whereas maintenance is increasingly pinpointed as embracing a combination of risk-related activities. We therefore submit a number of thoughts on the criticality of maintenance operations, based on a state-of-the-art study. These thoughts are supported by some accident statistics. We then propose maintenance process analysis with a view to optimising identification of risk factors associated with these activities. Maintenance process analysis ultimately provides a generic model of a maintenance operation and its associated risk factors and it forms a basis for experience feedback. The 5W method (QOQCP in French) is initially applied to formalise the problem of survey development. Questionnaire structure and survey progress are introduced and the main survey results are presented. This study of experience feedback from industrial maintenance professionals mainly allows validation of the model and confirmation that each maintenance operation stage contributes to safe operation performance on work equipment.

- Maintenance
- Risk factor
- Survey

Bien que les accidents sur les équipements de travail tendent globalement à baisser, la maintenance apparaît de plus en plus comme un ensemble d'activités à risques. À travers un état de l'art, quelques réflexions sur la criticité des interventions de maintenance renforcées par quelques chiffres sur des accidents sont présentées. Ensuite, nous proposons une analyse des processus de maintenance en vue d'une meilleure identification des facteurs de risque liés à ces activités. Cette analyse a abouti à un modèle d'une intervention de maintenance et des facteurs de risques associés et a servi de base à un retour d'expérience via un questionnaire. La problématique d'élaboration de l'enquête a été formalisée à l'aide de la méthode QOQCP. Après une explication de la structure du questionnaire, les principaux résultats de l'enquête sont fournis. Principalement, ce retour d'expérience auprès de professionnels de la maintenance industrielle a permis de valider le modèle réalisé et de confirmer que chaque étape d'une intervention de maintenance a son importance dans la réalisation en sécurité de l'intervention sur un équipement de travail.

A lors que les activités de « production » des entreprises font l'objet de nombreux travaux, à l'inverse peu de travaux ont été centrés sur les activités de maintenance [1]. Or, à l'analyse de quelques études, il apparaît que ces activités se révèlent très accidentogènes. L'exploitation de la base de données EPICEA (base de données de l'INRS qui recense les accidents du travail graves en France) montre en effet que 14 % des accidents mortels sont liés aux activités de maintenance des équipements. Ce taux passe à 44 % en tenant compte des accidents liés à la maintenance dite « à échelle majeure » (travaux neufs, améliorations...) [1]. De plus, une étude de l'AFIM (Association française des ingénieurs et responsables de maintenance) souligne qu'il y a une occurrence de mortalité dans les activités de maintenance cinq fois plus

élevée que l'occurrence moyenne toutes activités confondues [2].

Plus globalement, on observe, pour les équipements de travail, une tendance à reporter les risques liés à leur exploitation lors des opérations de maintenance. En effet, leur fonctionnement en mode automatique s'exécute généralement sans intervention directe d'un opérateur. Toutefois, un dysfonctionnement, de quelque nature qu'il soit, implique souvent un fonctionnement en mode dégradé (semi-automatique ou manuel avec présence d'un opérateur), voire une panne nécessitant alors une intervention de maintenance. De plus, l'activité de maintenance évolue en raison de la complexité croissante des systèmes industriels : véritable mutation de l'objet maintenu (mécatronique

- l'intervention ne s'opère plus uniquement sur la mécanique mais aussi sur l'électronique...).

Enfin, traditionnellement assurée par un service ou département indépendant et centralisé composé d'opérateurs spécialisés, l'organisation de la maintenance a changé et prend aujourd'hui des formes multiples : sous-traitance, transfert des tâches de maintenance vers l'exploitation, maintenance géographique, polyvalence des intervenants... Ces choix d'organisation ne sont pas toujours sans conséquences pour la sécurité [3].

CRITICITÉ DE LA MAINTENANCE

Sur la base de deux études sur le sujet menées au sein de l'institution prévention [4, 5], une multitude de caractéristiques influant sur la criticité des activités de maintenance a été relevée. On peut retenir quelques points principaux de la première étude, complétés par des chiffres issus de 93 accidents étudiés dans la seconde :

- la diversité des missions de maintenance rend sans doute plus difficile l'acquisition d'expérience par les opérateurs. 15 % des accidents sont liés à des connaissances inadéquates de la victime,

- les opérateurs de maintenance n'ont pas de poste fixe de travail et font preuve d'une forte mobilité. Ceci peut expliquer que 27 % des accidents sont liés à un risque non appréhendé par la victime à un poste de travail qu'elle connaît mal,

- la co-activité avec d'autres opérateurs entraîne un surcroît de risques. 31 % des accidents mettent en cause la co-activité avec d'autres opérateurs,

- certaines activités de maintenance sont réalisées alors même que l'équipement dispose de toutes ses sources d'énergies. 76 % des accidents sont dus à une intervention soit machine en marche continue, soit à une remise en marche,

- enfin, il faut souligner que 41 % des accidents étaient liés à une absence de dispositif de protection imposé par la réglementation ou l'état de l'art.

Ces caractéristiques sont celles qui ressortent de la bibliographie étudiée,

mais d'autres contribuent également à la criticité des activités de maintenance. C'est bien cette diversité des facteurs et la complexité de leur impact - ces facteurs n'influent pas sur le risque en tant qu'éléments déclencheurs d'accident - qui rendent difficiles la mise en oeuvre de solutions pour améliorer la sécurité des activités de maintenance.

Nous disposons de peu de données permettant de déterminer les tâches de maintenance les plus risquées. Néanmoins, il apparaît que la phase de réparation suivie de la phase de diagnostic sont les plus accidentogènes : ces deux phases représentent ainsi respectivement 46 % et 26 % des accidents liés à la maintenance recensés dans la base EPICEA. Une autre étude conclut également, en se basant sur différents travaux, que la tâche de maintenance la plus risquée est la phase de réparation (maintenance corrective) [6]. Cependant, elle souligne la dangerosité des tâches de nettoyage, réglage, lubrification...

On peut également s'interroger sur la cible des mesures de prévention. Même s'il apparaît que la phase de réparation est la plus dangereuse, doit-on forcément orienter l'ensemble des mesures sur cette phase ? L'origine de la criticité de cette phase n'est-elle pas située lors de phases amont ? Une phase de préparation, par exemple, ne soumet l'opérateur à quasiment aucun risque important et pourtant une préparation incomplète peut s'avérer être un facteur déterminant lors de l'intervention sur l'équipement de travail.

Ces constats ont amené le réseau français de la prévention des risques professionnels à analyser de plus près la criticité des activités de maintenance [7]. Afin de renforcer la connaissance insuffisamment structurée des facteurs de risques, une étude visant à obtenir des professionnels de la maintenance en entreprise leur vision des risques liés à leurs activités a donc été initiée.

PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE

Elle consiste à interroger les professionnels afin d'enrichir notre connaissance sur la problématique. Il a été

décidé de recueillir ces informations via une enquête par questionnaire. Afin d'atteindre cet objectif, nous proposons dans un premier temps une modélisation des processus de maintenance [8, 9] en nous basant sur un état de l'art dans le domaine. Cette modélisation est complétée par l'analyse des exigences à satisfaire afin de réaliser chaque processus en sécurité. Dans un second temps, nous avons élaboré un questionnaire en nous basant sur cette proposition. Les analyses ont ensuite été réalisées après un recueil de réponses relatives à ce questionnaire diffusé auprès des professionnels en entreprise [10]. Nous aborderons dans cet article l'ensemble de la démarche schématisée en *Figure 1*.

FORMALISATION AVEC LA MÉTHODE QQQQCP

La problématique d'élaboration d'une enquête a été déterminée à l'aide de la méthode QQQQCP [11]. Les principes de cette méthode permettent de formaliser la démarche attendue et les résultats escomptés par le biais de questions types :

■ Pour Qui ?

Quel est le commanditaire ? L'enquête est réalisée pour le compte de l'INRS et du Groupe de travail de la CNAMTS.

■ Pourquoi ?

Pour quelles raisons le commanditaire veut-il réaliser une enquête ? La diversité des **facteurs de risques** et la complexité croissante des installations automatisées rendent difficile la recherche des actions de prévention en maintenance industrielle. Une meilleure connaissance des **situations dangereuses**, permettra de mieux cibler les actions de prévention les plus pertinentes.

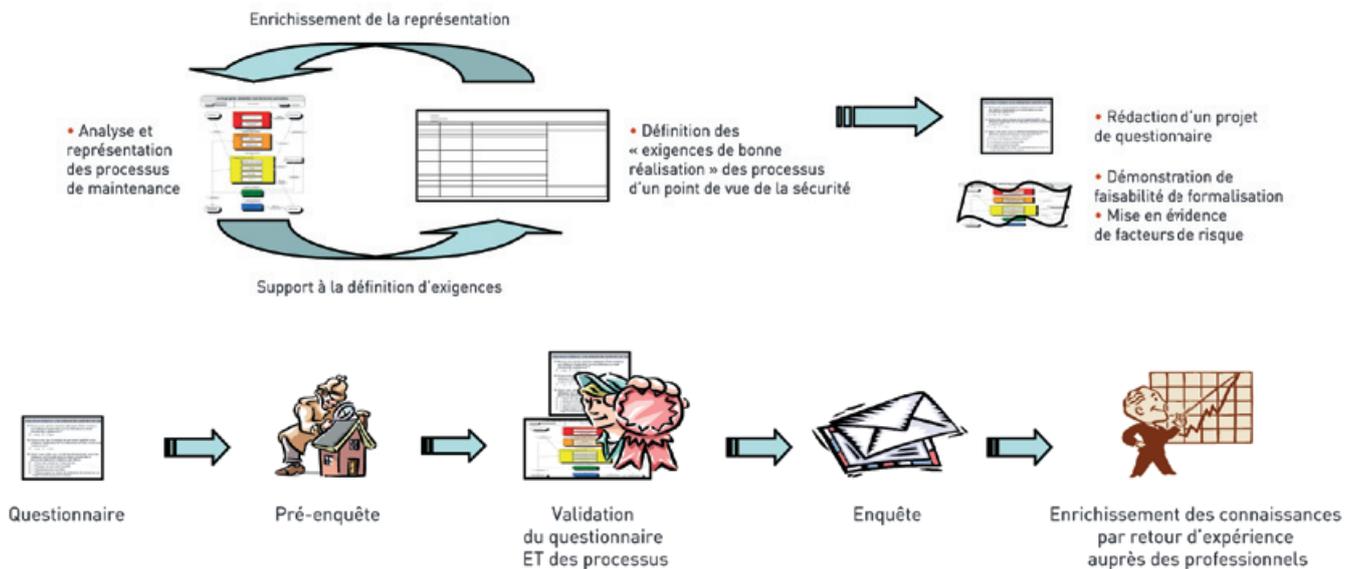
Que veut savoir le commanditaire ? Il cherche à expliquer les risques par la meilleure connaissance de la « réalité du terrain », en consultant les professionnels de la maintenance industrielle, d'où la notion de **retour d'expérience** (REX).

Quelles informations veut-il recueillir ? De quel type ? Il s'agit d'obtenir des informations concernant la perception des professionnels de la **maintenance industrielle** vis à vis des risques liés aux activités de maintenance **d'équipements de travail**, (maintenance immobilière exclue). Cette perception est celle des **processus accidentogènes**, et des facteurs de risques, elle est relative à des faits.

FIGURE 1

Démarche mise en œuvre – de l'analyse de processus au retour d'expérience

Implemented approach – process analysis to experience feedback



■ Quoi ?

Quel type d'enquête retenir ?
Le mode de recueil par questionnaire sera utilisé.

■ Où ?

Lieu où se déroulera l'enquête ?
Certaines entreprises seront visitées lors de la phase d'analyse, avec entretiens sur sites pour enrichir et préciser les réponses obtenues par l'intermédiaire des questionnaires. L'enquête se fera ensuite par courrier.

■ Quand ?

À quel moment se fera-t-elle ?
L'enquête se déroulera de préférence en dehors des périodes de vacances car celles-ci constituent des périodes de suractivité pour la maintenance industrielle (travaux à réaliser sur les équipements à l'arrêt, congés, etc.)

■ Comment ?

Comment sera-t-elle administrée ?
Le mode d'administration du questionnaire se fera directement et par correspondance (questionnaire auto administré). Ce questionnaire sera anonyme, il faudra cependant spécifier la nature du destinataire souhaité dans la lettre d'accompagnement du questionnaire.

Quelle est la population ciblée ?
Il sera diffusé auprès des **professionnels de la maintenance** (de l'opérateur au responsable), appartenant à un échantillon d'**industries de type manufacturières**. La représentativité statistique de cet échantillon ne sera pas recherchée.

Ce dernier point est important à souligner. En effet, l'obtention d'un échantillon représentatif nécessite une bonne connaissance de cette population. Or, cette population est très hétérogène, avec des organisations et des effectifs très fluctuants d'une entreprise à l'autre. De plus, l'objectif est non seulement d'obtenir des connaissances supplémentaires, mais également de valider l'approche par processus proposée (cf. Figure 1).

ANALYSE DES PROCESSUS DE MAINTENANCE

Bibliographie sur les processus de maintenance

Nous nous sommes appuyés sur plusieurs approches, définitions et propositions afin d'adopter une terminologie claire et une représentation assez générique des étapes de maintenance. Ces travaux ont des origines diverses, on retrouve principalement la terminologie utilisée dans les normes [12, 13], le vocabulaire générique employé dans les GMAO (Gestion de maintenance assistée par ordinateur) [14], mais aussi des propositions de spécialistes de la maintenance [15, 16]. Des travaux orientés vers la sécurité de la maintenance ont également été pris en compte [1, 4, 6, 17].

L'objectif n'est pas de proposer une compilation de ces différentes approches mais de les citer comme références ayant permis d'aboutir à notre propre proposition. Le principal écueil a résidé dans le choix du niveau d'abstraction du modèle proposé. En effet, les normes proposent des définitions sans forcément donner le lien entre les différents concepts, tandis que les travaux plus précis détaillent l'intervention de maintenance jusqu'au niveau de la procédure. Les premières sont donc trop générales, et pas forcément structurées sous la forme de processus, tandis que les seconds sont trop spécifiques et risquent donc de ne pouvoir être appliqués à toutes les situations.

Proposition d'une représentation des processus de maintenance

Le formalisme choisi [18] pour représenter le processus d'intervention de maintenance définit notamment les concepts de « processus », « sous-processus », « entité externe » et « information ». Un processus est exprimé sous forme d'objectifs pour donner un sens, un but, aux actions à réaliser. Un sous-processus met en exergue les points fondamentaux du processus. Une entité externe est une unité, un service ou un organisme externe qui joue un rôle majeur (acteur principal) dans la réalisation du processus étudié. Enfin, une information exprime les relations

existant entre les entités, les processus, les sous-processus. Toute représentation graphique des processus peut comporter plusieurs représentations avec des niveaux de détail différents [18]. Nous avons adopté deux niveaux d'abstraction : une vue macroscopique et une vue détaillée correspondant respectivement à une **cartographie relationnelle** qui identifie clairement les relations principales qui existent entre le processus examiné et les autres processus ou les entités externes et à une **cartographie détaillée** qui permet de visualiser les interrelations entre le processus examiné et les autres processus et qui précise de quoi se compose le processus.

Cartographie relationnelle

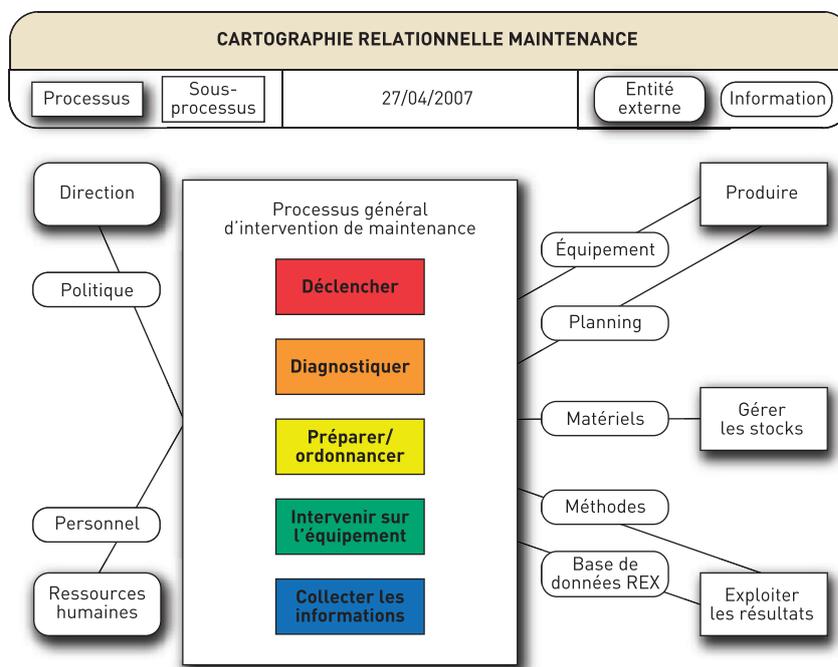
Il s'agit d'une représentation macroscopique du processus général d'intervention de maintenance. Cette cartographie (cf. Figure 2) permet de situer le processus général d'intervention de maintenance par rapport à son environnement et d'identifier ses interactions avec celui-ci. Dans les entités externes, nous retrouvons les acteurs d'une entreprise ayant une influence sur ce processus : la **direction** et les **ressources humaines**.

Deux processus, bien qu'*a priori* internes à la maintenance, sont externes au processus général d'intervention de maintenance : **gérer les stocks** (stocks d'outillages, de pièces de rechange, consommables...) et **exploiter les résultats** (gestion du planning interne de la maintenance et le retour d'expérience immédiat ou à plus long terme) afin d'améliorer la maintenance. Enfin, il faut noter que la production est ici représentée par son processus « produire » et non pas en tant qu'acteur. En effet, l'acteur « production » peut très bien intervenir dans le processus général de d'intervention maintenance dans le cas de la TPM (Total productive maintenance), par exemple.

Un ensemble de flux d'informations agit sur le processus général d'intervention de maintenance. Nous ne retenons, ici, que les principaux. Le flux « méthodes » contient les procédures, les gammes de maintenance... Il correspond également à la gestion du temps et de la charge de travail du personnel de maintenance. C'est, à ce niveau d'abstraction, le flux de gestion de la maintenance. Le flux « matériels » comprend les outillages, les pièces de rechange,

FIGURE 2

Proposition d'une cartographie relationnelle d'une intervention de maintenance
Proposed relationship map for a maintenance operation



les consommables, etc. Le flux « base de données de retour d'expérience (REX) » correspond aux moyens permettant une actualisation des connaissances sur les équipements, sur les conditions d'interventions. Le flux « planning » permet de connaître les priorités d'interventions sur les équipements, ce flux est en lien avec le processus « produire ». Le flux « équipement » renseigne principalement sur l'état de l'équipement concerné : arrêt, mode dégradé, marche. Le flux « politique » correspond à la politique générale de l'entreprise et inclut donc la politique de maintenance. Le flux « personnel » correspond à la gestion du recrutement et de la formation des intervenants. Enfin, le processus général d'intervention de maintenance est subdivisé en plusieurs sous-processus : « déclencher », « diagnostiquer », « préparer et ordonnancer », « intervenir sur l'équipement » et « collecter les informations ».

Cartographie détaillée

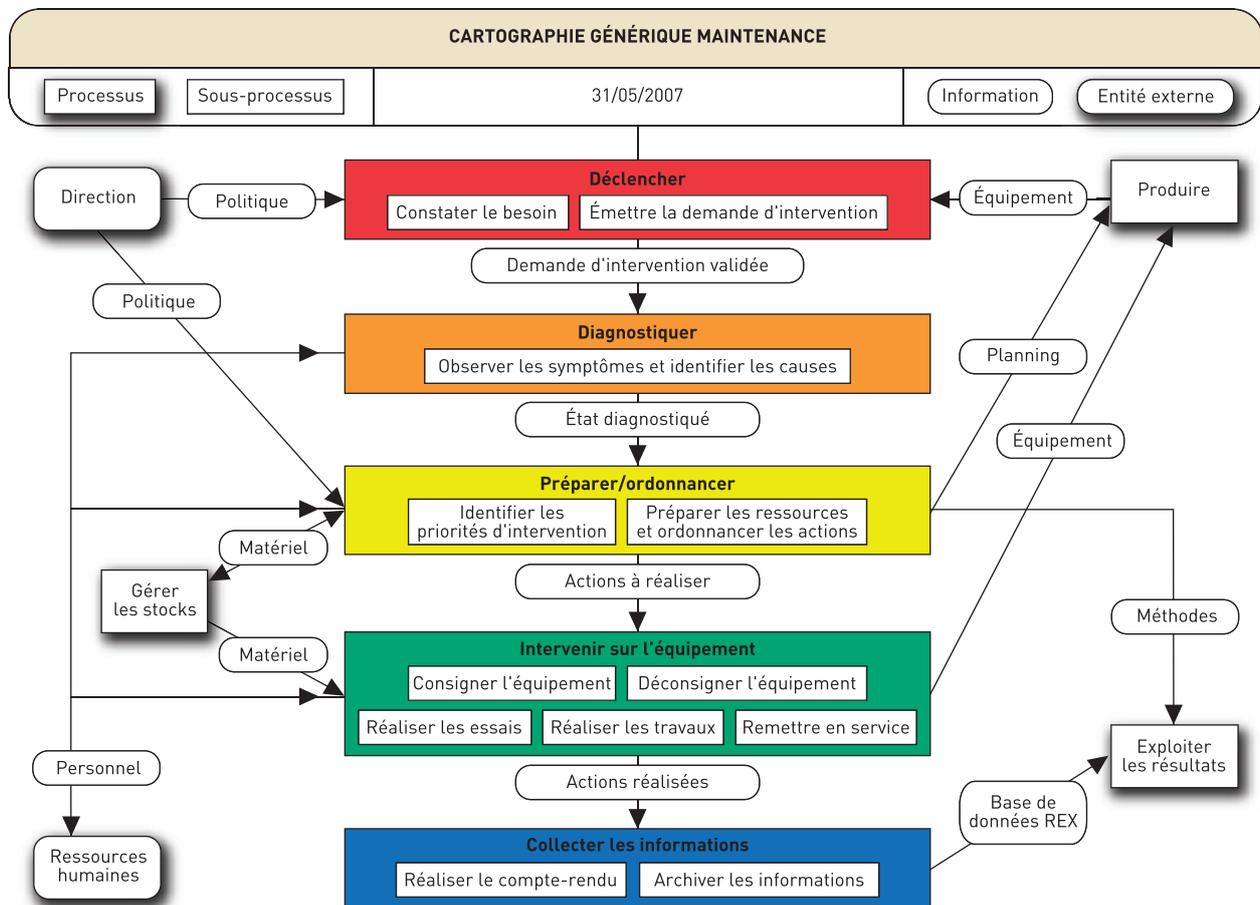
La cartographie détaillée consiste principalement en une décomposition en sous processus de la cartographie

relationnelle. Du fait de ce nouveau niveau d'abstraction, les flux sont eux aussi détaillés pour avoir une cohérence entre les deux niveaux. Une vue d'ensemble de cette cartographie est proposée en Figure 3.

Le processus « déclencher » se décompose en deux sous processus : « constater le besoin d'intervention » et « émettre la demande d'intervention ». Le premier est réalisé par le personnel de production (constat d'une panne par un utilisateur ou un personnel d'exploitation, par exemple) ou par le personnel de maintenance (mise en place d'un échéancier). Pour le second, il s'agit d'émettre (de manière orale ou écrite) une demande d'intervention constatée (par la production ou la maintenance) vers la maintenance. Globalement, ce processus produit une « demande d'intervention validée » qui permet de continuer le processus général. Le processus « diagnostiquer » consiste dans un premier temps à observer les symptômes de la défaillance ou de la dégradation, puis à en identifier la cause. C'est un processus complexe qui, à ce niveau d'abstraction, n'est pas plus détaillé. Il

FIGURE 3

Proposition d'une cartographie détaillée d'une intervention de maintenance Proposed detailed map for a maintenance operation



produit un « Etat diagnostiqué » selon la demande d'intervention.

Le processus « préparer/ordonnancer » se décompose en deux sous-processus : « identifier les priorités d'intervention » et « préparer les ressources et ordonnancer les actions ». Le premier s'exécute suivant des critères qui sont, en maintenance corrective, les critères du niveau d'urgence et, en préventif, les critères de périodicité (échancier, inspection...). Le second correspond à la préparation des outillages, des pièces de rechange. Il permet d'organiser la disponibilité des intervenants qualifiés pour l'intervention. Il faut noter que ces tâches sont souvent discutées et réalisées en accord avec la production. Ce processus produit des « actions à réaliser ». Ces actions seront transformées par le processus « intervenir sur l'équipement » en « actions réalisées ».

Ce processus est, quant à lui, composé de différents sous-processus, à savoir :

■ « consigner l'équipement » : ce sous-processus consiste à séparer ou à couper les énergies de l'équipement, à le condamner et à le signaler, c'est à dire à empêcher l'accès à des personnes non autorisées [19],

■ « réaliser les travaux » : il s'agit de la réalisation de l'intervention sur l'équipement lui-même c'est-à-dire le dépannage, la réparation, les actions préventives...

■ « déconsigner l'équipement » : ce sous-processus est la procédure inverse de la consignation, il consiste à rétablir les énergies de l'équipement maintenu, [19],

■ « réaliser les essais » : il s'agit de la vérification de l'efficacité de l'intervention par des tests, des mises au point,

■ « remettre en service » : ce sous-processus est à l'interface entre la maintenance et le processus « produire », il permet au service production de réceptionner l'équipement.

Enfin, le processus « collecter les informations » est décomposé en deux sous-processus : « réaliser le compte-rendu » et « archiver les informations ». Pour le premier, il s'agit de rendre compte de l'intervention (sous forme orale ou écrite, l'idéal étant sous forme écrite voire informatique) avec toutes ses caractéristiques. Le second permet d'obtenir une traçabilité des interventions (un historique) en vue de réaliser un retour d'expérience.

Concernant les différents flux d'informations, ce sont les mêmes qu'au niveau de la cartographie relationnelle. Ils sont ici affectés aux différents pro-

cessus composant le processus général. Un flux au niveau général peut concerner différents processus au niveau détaillé, c'est le cas de la plupart des flux. Enfin, les principaux flux entre les différents sous-processus sont représentés (par exemple, « actions à réaliser » entre les processus « Préparer/ordonnancer » et « Intervenir sur l'équipement »). Globalement, le processus de maintenance transforme un équipement à maintenir, provenant du processus « produire », en un équipement maintenu.

Il faut principalement retenir le choix de proposer un modèle générique de l'intervention quel que soit son type (correctif, préventif). De même, le choix de ne pas intégrer explicitement les aspects organisationnels permet, dans un premier temps - et seulement dans un premier temps tant leur influence semble importante - de ne pas être contraint par une organisation particulière et alors ne plus être applicable pour d'autres organisations. L'objectif est bien de proposer un processus qui pourra ensuite être décliné au cas par cas par des procédures qui feront alors apparaître explicitement les acteurs et donc les aspects organisationnels. Le modèle a ensuite été complété, suite à l'analyse des facteurs de risque relatifs à ces processus dont l'approche est développée au prochain paragraphe.

IDENTIFICATION DES FACTEURS DE RISQUES

L'objectif est de définir la criticité des processus identifiés du point de vue de la sécurité. Le modèle de processus a donc servi de base de réflexion à l'identification d'éléments susceptibles d'affecter la réalisation en sécurité de ces processus. Cette analyse a été réalisée sur la base de quatre concepts principaux : les **exigences**, les **dysfonctionnements**, les **causes** et les **conséquences**. Les exigences sont les conditions nécessaires à la réalisation correcte des processus et sous-processus du point de vue de la sécurité. Les modes de dysfonctionnements correspondent au non respect des exigences précédemment décrites. On recherche ensuite les causes de ces dysfonctionnements. Enfin, à l'instar de la recherche des causes, on effectue égale-

ment une recherche des conséquences. Seules les conséquences engendrant un risque pour le processus analysé et/ou pour des processus connexes sont retenues. Les exigences sont généralement externes au processus étudié (flux d'entrée). Pour connaître les exigences internes au processus, il est nécessaire de décomposer ce dernier en sous-processus et d'en étudier les interrelations. Une exigence relative à un flux d'entrée d'un sous-processus au niveau N correspond ainsi à une exigence interne du processus au niveau N-1. L'objectif principal est de hiérarchiser la criticité des conséquences d'un dysfonctionnement auprès des professionnels de la maintenance. Cette hiérarchisation permet ensuite de cibler les futures recherches sur les causes des dysfonctionnements. Cette approche a été mise en œuvre pour chaque processus à analyser.

ÉLABORATION DU QUESTIONNAIRE

Sans reprendre l'intégralité du questionnaire, nous en présentons sa structure et ses principaux items. Les questions portent tout d'abord sur le processus général d'intervention de maintenance et l'influence de son environnement. Ces questions sont basées sur la cartographie relationnelle proposée *Figure 2*. D'autres questions portent ensuite sur l'identification des processus/sous processus les plus critiques et enfin sur les non respects des exigences les plus critiques en distinguant une hiérarchie entre ceux-ci. Les exigences correspondent aux informations échangées entre les processus ou à des caractéristiques internes des processus.

Concernant la formulation des questions, nous retenons essentiellement les questions à échelle qui permettent la meilleure appréciation des réponses et un traitement aisé car il est possible d'affecter des barèmes aux échelles de réponses (*cf. Figures 4 et 5*). Ce type de questions permettra l'évaluation de nos propositions (processus, sous-processus, non respects d'exigences).

En complément, le questionnaire est composé de questions dites ouvertes concernant la demande d'intervention, les comptes-rendus d'intervention et les

risques auxquels les professionnels sont confrontés. Ces champs sont remplis en texte libre, ce qui rend plus délicat leur interprétation.

Enfin, une partie informations générales vient compléter le questionnaire. Ces informations permettent de mesurer la variabilité des réponses en fonction de certaines caractéristiques de la population. Elles concernent, d'une part, la personne qui répond, son ancienneté dans le métier, dans l'entreprise, son niveau d'études, sa fonction et, d'autre part, l'entreprise, son secteur d'activité, sa taille, l'effectif de son service maintenance.

ENQUÊTE

Pour pouvoir réaliser l'enquête dans les meilleures conditions, le questionnaire a été testé au préalable lors d'une phase de pré-enquête (*cf. Figure 4*). Cette phase indispensable a permis d'affiner et de valider les modèles, le vocabulaire et donc les questions. La pré-enquête s'est faite sous forme d'entretiens lors de visites en entreprises. Suite à ces entretiens, des modifications ont été apportées au questionnaire. En effet, pour permettre une meilleure appréciation des réponses et un traitement aisé, le questionnaire comportait essentiellement des questions à échelle multiple relatives à l'influence de la proposition sur la sécurité (faible, assez faible, assez fort, fort). La pré-enquête a montré que la quasi-totalité de nos propositions a une assez forte ou forte influence sur la réalisation en sécurité des processus de maintenance. Il a donc été décidé de changer la formulation des questions (*cf. Figure 5*) ; plutôt que de qualifier chaque proposition en termes d'influence, il est demandé de hiérarchiser les différentes propositions entre elles. Ce changement permet de recueillir des informations différentes. On ne cherche plus à savoir si les propositions sont influentes ou non mais à connaître leur « classement » de la plus influente à la moins influente. Le questionnaire modifié a donc ensuite été revalidé auprès d'autres entreprises.

FIGURE 4

Exemple de question avant pré-enquête Example of question before preliminary survey

À votre avis, quelle influence ont les propositions énoncées ci-dessous dans la réalisation en sécurité de l'intervention ?

	Pas d'influence	Peu d'influence	Influent	Très influent
6. La gestion des matériels (outillages, PdR, consommables...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. La formation du personnel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Les choix de la direction en matière de politique de maintenance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. La connaissance de l'équipement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Les critères de priorités d'intervention	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. L'existence de méthodes, procédures, etc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Le retour d'expérience	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FIGURE 5

Exemple de reformulation des questions après pré-enquête Example of question reformulation after preliminary survey

26. Maintenir un équipement de travail en état implique de tenir compte d'un certain nombre de conditions qui font parties de "l'environnement" de la maintenance. Pouvez-vous classer par ordre d'importance leur impact sur la sécurité de l'intervention ?

<input type="checkbox"/> La gestion des matériels (outillages, pièces de rechange, consommables...)	<input type="checkbox"/> La formation du personnel
<input type="checkbox"/> Les choix de la direction en matière de politique de maintenance	<input type="checkbox"/> La connaissance de l'équipement
<input type="checkbox"/> Les critères de priorités d'intervention	<input type="checkbox"/> L'existence de méthodes, procédures, etc
<input type="checkbox"/> Le retour d'expérience	<input type="checkbox"/> L'absence de travail isolé
<input type="checkbox"/> Autre	

RESULTATS DE L'ENQUÊTE

Les résultats se décomposent en deux grandes familles, les résultats « bruts » de l'ensemble des personnes interrogées et des études sur la variabilité de ces résultats en fonction de différents critères. Les premiers concernent principalement la répartition par influence des exigences proposées. Ils correspondent à l'ensemble des réponses aux différentes questions. Les seconds, plus complexes à obtenir, résultent de

recherche de disparités ou de points communs en fonction de la taille des entreprises, de leur secteur d'activité ou encore, par exemple, de la fonction ou de l'ancienneté de la personne interrogée.

RÉSULTATS GLOBAUX

En ce qui concerne la répartition de la population interrogée, une centaine d'entreprises a été sélectionnée à partir de listes fournies par différentes Caisses régionales d'assurance

maladie (CRAM). Pour chacune de ces entreprises, une lettre de sollicitation à participation a été envoyée. En plus de l'accord pour participer, cette lettre demandait la taille, le secteur d'activité et les coordonnées d'une personne référent pour l'enquête. Ces éléments ont permis d'obtenir une population composée d'un nombre homogène d'entreprises par catégorie d'effectif. Finalement, une trentaine d'entreprises a répondu favorablement et 90 questionnaires ont été retournés (cf. *Tableau I*).

TABLEAU I

Répartition des retours de questionnaire selon l'effectif des entreprises Distribution of questionnaire replies according to numbers of company personnel

Effectifs des entreprises									
Moins de 100 employés		100 - 249 employés		250 - 499 employés		500 employés et plus		Total	
16	17,8 %	14	15,6 %	29	32,2 %	31	34,4 %	90	100,0 %

En préambule, signalons que les questions ont été posées avec quatre modalités et que, lors de l'analyse des résultats, des regroupements ont été opérés de façon à n'en garder que deux. Par exemple, la première question relative à l'influence des différentes étapes sur la sécurité de l'intervention en elle-même :

Question : *La maintenance d'un équipement fait partie d'un processus de travail qui peut se caractériser par les étapes ci-dessous. A votre avis, quelle influence ont ces étapes sur la sécurité de l'intervention ? Réponses dans le Tableau II.*

Ce type de regroupement n'interfère pas dans l'interprétation des résultats. Globalement, l'influence de la demande d'intervention, initiatrice d'un processus de maintenance, est moyenne (environ 50 %). Par contre, les étapes de diagnostic et de préparation sont considérées comme fortement influentes sur la sécurité. Enfin, on peut noter que pour deux tiers des personnes interrogées, l'étape appelée REX (Retour d'expérience) est considérée comme influente ou très influente.

CRITICITÉ DES ÉTAPES DE MAINTENANCE

Le *Tableau III* montre que les professionnels sont, a priori, bien conscients de la criticité de la maintenance, plus de 90 % pour l'intervention en elle-même. Un tiers considère tout de même le diagnostic avec une faible criticité. Enfin, on peut noter que l'étape de préparation est, pour moitié, considérée à risques.

FACTEURS DE RISQUES DANS L'ENVIRONNEMENT DE LA MAINTENANCE

Question : *Maintenir un équipement de travail en état implique de tenir compte d'un certain nombre de conditions qui font partie de « l'environnement » de la maintenance. Pouvez-vous classer par ordre d'importance leur impact sur la sécurité de l'intervention ?*

Cette première question (cf. *Figure 6*) permet de cerner quels critères sont jugés influents sur la maintenance en général. Il faut rappeler que tous ces critères avaient été jugés influents lors de la pré-enquête. Il s'agit, ici, de les hiérarchiser. Dans cette figure, seuls les critères cités dans les trois premiers sont retenus. Il ressort que pour les trois quarts des personnes

interrogées, la formation et la connaissance de l'équipement sont les points les plus importants.

FACTEURS DE RISQUES POUR LES DIFFÉRENTES ÉTAPES

La même question a été posée pour chacune des étapes avec, bien sûr, des critères communs mais aussi d'autres spécifiques à l'étape concernée.

Question : *Les propositions suivantes font partie des éléments qui contribuent à la réalisation, dans de bonnes conditions de sécurité, de l'étape « diagnostic ». Pouvez-vous les classer par ordre d'importance ?*

Concernant le diagnostic, la qualification du personnel est importante, suivent ensuite l'accessibilité et la formulation de la demande d'intervention. Au rang 1 (réponses citées en premier choix), on retrouve ces trois critères mais avec la formulation qui arrive en premier (cf. *Figure 7*).

ÉTAPE « PRÉPARATION/ORDONNANCEMENT »

Question : *Les propositions suivantes font partie des éléments qui contribuent à la réalisation, dans de bonnes condi-*

TABLEAU II

Recodage de la variable étapes Recoding of stages variable

	GROUPE Étapes				GROUPE Étapes Recodé	
	Pas influent	Peu influent	Influent	Très influent	Pas ou peu influent	Influent ou très influent
Demande d'intervention	17,8 %	31,1 %	35,6 %	15,6 %	48,9 %	51,1 %
Diagnostic	5,6 %	8,9 %	45,6 %	40,0 %	14,4 %	85,6 %
Préparation	5,6 %	6,7 %	27,8 %	60,0 %	12,2 %	87,8 %
Retour Expérience	14,4 %	18,9 %	50,0 %	16,7 %	33,3 %	66,7 %

TABLEAU III

Criticité des étapes de maintenance Criticality of maintenance stages

Question :	Criticité des étapes (recodé)	
	Faible ou assez faible	Assez fort ou fort
<i>La mise en œuvre de chacune de ces étapes de maintenance peut comporter plus ou moins de risques. Pouvez-vous nous préciser le niveau de risque de chacune de ces étapes ?</i>		
Criticité étape Diagnostic	33,3 %	66,7 %
Criticité étape Intervention	6,7 %	93,3 %
Criticité étape Préparation	48,9 %	51,1 %

FIGURE 6

Influence des éléments de l'environnement de la maintenance contribuant à la sécurité de l'intervention

Influence of maintenance environmental data contributing to Operation safety

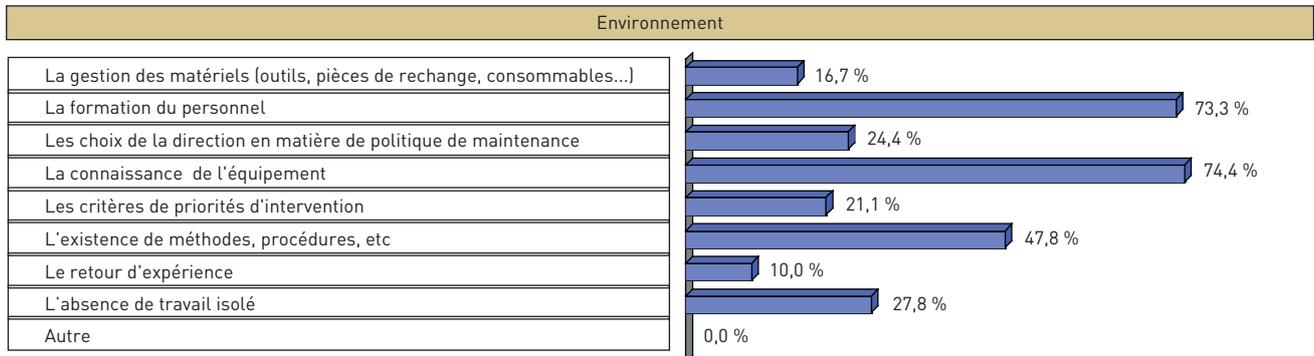


FIGURE 7

Influence des éléments contribuant à la sécurité de l'étape Diagnostic

Influence of data contributing to Diagnosis stage safety

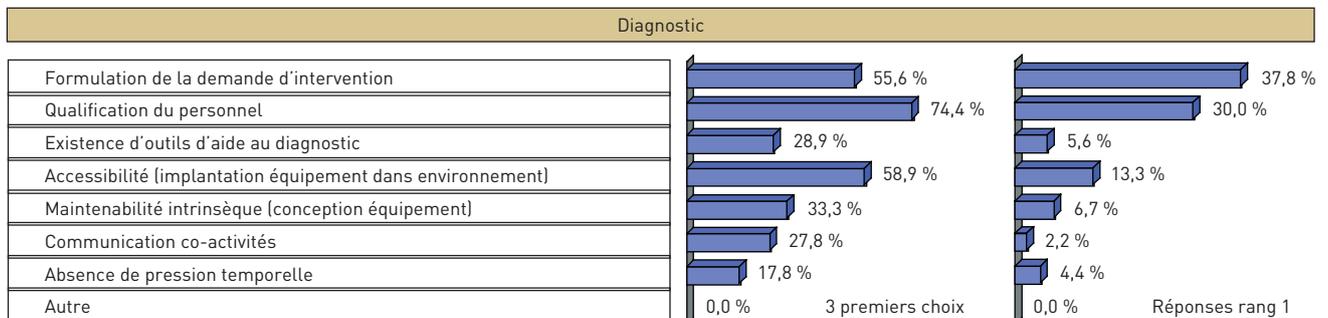
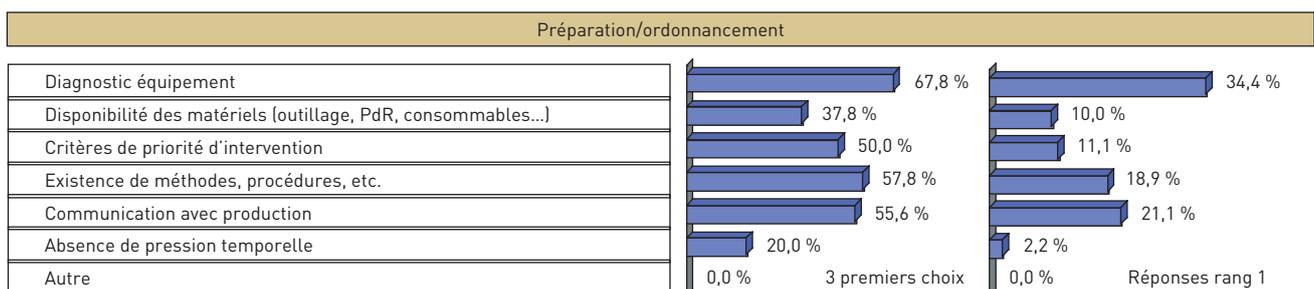


FIGURE 8

Influence des éléments contribuant à la sécurité de l'étape Préparation/Ordonnancement

Influence of data contributing to Preparation/Scheduling stage safety



tions de sécurité, de l'étape « Préparation/Ordonnancement ». Pouvez-vous les classer par ordre d'importance ?

Concernant la préparation et l'ordonnancement, les résultats sont plus homogènes. Le diagnostic se place en tête des 3 premiers choix et est confirmé dans les réponses de rang 1 (cf. Figure 8).

NIVEAU DE RISQUE CONCERNANT L'INTERVENTION SUR L'ÉQUIPEMENT DE TRAVAIL

Le *Tableau IV* montre une forte criticité de l'ensemble des phases d'intervention et, plus particulièrement, de la réalisation des travaux. On peut noter la consignation et déconsignation qui restent environ à 50 %.

Les mêmes questions ont ensuite été posées pour l'ensemble de ces phases afin de déterminer les facteurs les plus influents.

PHASE CONSIGNATION/ DÉCONSIGNATION

Question : Les propositions suivantes font partie des éléments qui contribuent à la réalisation, dans de bonnes conditions

TABLEAU IV

Criticité des étapes de maintenance
Level of risk concerning work equipment maintenance operation

Question :	GROUPE intervention équipement de travail	
	Faible ou assez faible	Assez fort ou fort
<i>Intervenir sur un équipement suppose l'enchaînement de phases de travail dont la mise en œuvre comporte des risques pour la sécurité des personnes qui interviennent. Pouvez-vous nous préciser le niveau de risque encouru au cours de ces phases ?</i>	Risque Consignation	42,2 %
	Risque Travaux	14,4 %
	Risque Déconsignation	48,9 %
	Risque Essais	37,8 %

de sécurité, de la phase de « consignation/déconsignation ». Pouvez-vous les classer par ordre d'importance ?

On retrouve une forte influence de la qualification du personnel mais aussi de la préparation, encore une fois confortée par les réponses de rang 1 (cf. Figure 9). Par contre, l'accessibilité, qui représente 45 % des trois premiers choix, est très peu citée en premier (environ 7 %).

PHASE RÉALISATION DES TRAVAUX

Question : *Les propositions suivantes font partie des éléments qui contribuent à la réalisation, dans de bonnes conditions de sécurité, de la phase de « Réalisation des travaux ». Pouvez-vous les classer par ordre d'importance ?*

La consignation apparaît comme le critère déterminant de la sécurité lors de cette phase : près de 60 % au rang 1. La qualification du personnel demeure importante. On retrouve à nouveau l'accessibilité (environ 50 %) qui chute encore au rang 1 (8 %) (cf. Figure 10).

PHASE RÉALISATION DES ESSAIS

Question : *Les propositions suivantes font partie des éléments qui contribuent à la réalisation, dans de bonnes conditions de sécurité, de la phase de « réalisation des essais ». Pouvez-vous les classer par ordre d'importance ?*

Plus que jamais la qualification du personnel est importante, présente à toutes les questions, elle obtient à la Figure 11 son meilleur score (90 %). À souligner également l'importance de la communication qui était moins citée lors des autres phases.

Quelques enseignements généraux peuvent être tirés de ces premiers résultats. Même si tous les facteurs appelés exigences dans l'analyse de processus ont été jugés importants lors de la pré-enquête, ces résultats montrent une certaine hiérarchie. Les aspects formation et qualification du personnel sont effectivement à ressortir de cette analyse. Par ailleurs, l'étape initiatrice de la maintenance, la demande d'intervention, apparaît comme moyennement importante (seulement 51 % influente ou très influente). Par contre, la formulation de la demande d'intervention est jugée comme le facteur le plus important pour l'étape de diagnostic. De même, la phase de consignation est assez moyennement perçue à risques. Enfin, on peut noter l'accessibilité souvent citée dans les trois premiers choix qui a un score plus faible dans les réponses de rang 1. Paradoxalement, la maintenabilité, qui est un critère assez proche de l'accessibilité, est très peu citée. C'est un facteur sur lequel l'utilisateur peut difficilement agir sans re-concevoir l'équipement.

À partir de ces résultats, il est intéressant d'étudier leur variabilité pour déterminer si toutes les catégories de personnes répondent ou non selon la même tendance.

VARIABILITÉ DES RÉSULTATS

La deuxième partie des résultats concerne la recherche de variabilité. Sur la base des résultats globaux qui représentent une moyenne, quels sont ceux qui fluctuent et en fonction de quels critères. Pour avoir une indication sur ces fluctuations et ces critères, les logiciels de traitement permettent d'établir des graphes de relations ou des analyses factorielles. Ces études nécessitent plus de temps et plus de réflexions, nous

allons directement présenter quelques aspects les plus significatifs en fonction de la taille des entreprises. Un dernier exemple sera donné concernant la variabilité des réponses selon la fonction.

Pour les entreprises de moins de 100 salariés

L'ensemble des résultats reste assez proche de la moyenne. On peut toutefois faire ressortir que l'étape « demande d'intervention » semble sous-estimée (37,5 % au lieu de 51 % pour l'ensemble). Le retour d'expérience et l'existence de méthodes sont plus importantes (25 % au lieu de 10 %), pour la phase de diagnostic, pour les réponses de rang 1. La formulation de la demande d'intervention est beaucoup plus importante (56 % au lieu de 37 %) et lors de la phase de réalisation des essais, la communication n'est jamais citée au rang 1.

Pour les entreprises de 100 à 249 salariés

S'il n'y a pas de variabilité forte, on peut noter quelques tendances éventuelles. L'importance de la demande d'intervention (72 % au lieu de 51 % pour l'ensemble), la gestion du matériel et le travail isolé sont un peu plus élevés (respectivement 36 % et 43 % au lieu de 17 % et 28 %), la formation du personnel au rang 1 est un peu plus prononcée (43 % au lieu de 30 %). Concernant la phase de diagnostic, la qualification du personnel est plus importante (93 % au lieu de 75 %) et la maintenabilité l'est moins (7 % au lieu de 33 %). Lors de la préparation, l'existence de méthodes est plus importante (86 % au lieu de 58 %). Lors de la consignation, l'accessibilité est également plus importante (64 % au lieu de 44 %). Enfin, concernant la réalisation des travaux, on peut noter une consignation citée à 100 % dans les trois premiers choix.

FIGURE 9

Influence des éléments contribuant à la sécurité de la phase Consignation

Influence of data contributing to Lock-out stage safety

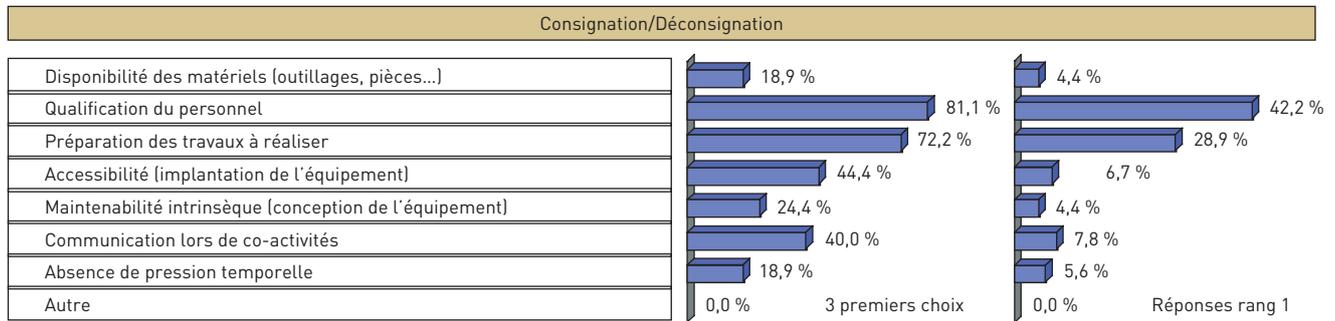


FIGURE 10

Influence des éléments contribuant à la sécurité de la phase Réalisation des travaux

Influence of data contributing to Maintenance Performance stage safety

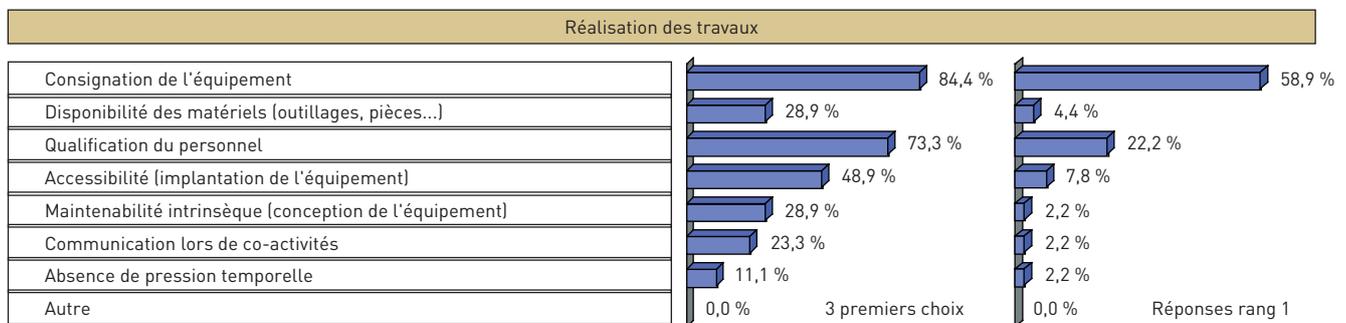
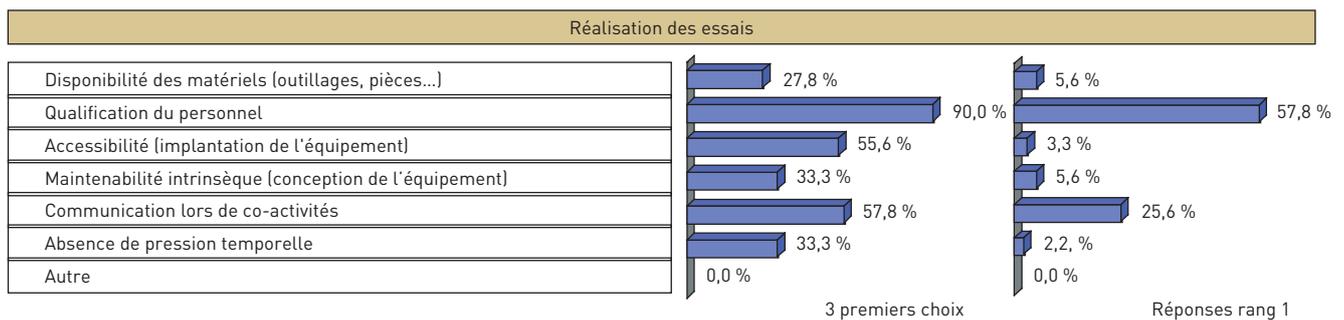


FIGURE 11

Influence des éléments contribuant à la sécurité de la phase Réalisation des essais

Influence of data contributing to Testing stage safety



Pour les entreprises de 250 à 499 salariés

Il n'y a quasiment aucun signe particulier à noter pour cette catégorie, qui représente un tiers de la population interrogée. On peut éventuellement relever le diagnostic, qui est un peu plus élevé (93 % au lieu de 85 %) et le niveau de risque lors de la consignation qui est un peu inférieur à la moyenne (48 % au lieu de 58 %).

Pour les entreprises de 500 salariés et plus

La criticité de la demande d'intervention est un peu plus faible (42 % au lieu de 51 % pour l'ensemble). Les niveaux de risque pour la consignation, la déconsignation et les essais sont plus élevés (respectivement 68 %, 68 % et 78 % au lieu de 58 %, 51 % et 62 %). À noter enfin, l'importance de la communication lors de essais (74 % au lieu de 58 %).

On observe quelques tendances selon la taille de l'entreprise mais sans forcément atteindre de fortes variabilités. Ces quelques résultats ont été présentés en confrontant une catégorie de population par rapport à l'ensemble des réponses. Il est également possible de comparer des catégories entre elles. Concernant la fonction des personnes interrogées, une comparaison de chaque catégorie par rapport à l'ensemble ne

révèle aucune variabilité forte, tandis que la comparaison des personnels d'encadrement avec les opérationnels est plus significative. Par exemple, concernant la demande d'intervention, l'encadrement la perçoit comme influente à 59 % contre 43 % pour les opérationnels. On a en fait un écart de 8 points pour les deux catégories par rapport à la moyenne, cet écart s'accumule lorsque l'on compare les deux ensembles. Autre exemple, concernant l'importance des choix de la direction, l'encadrement la perçoit comme influente à 20 % contre 8 % pour les opérationnels. Ce qui confirme la différence de perception entre les personnes intervenant et les personnes en charge du management.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Le but de ce projet est de mieux comprendre la problématique de sécurité liée aux activités de maintenance. Peu d'études sont, à l'heure actuelle, consacrées à ce sujet rendu complexe par la multitude d'activités différentes entrant dans le cadre de la maintenance. C'est bien cette diversité et cette complexité qui rendent difficiles la mise en œuvre de solutions pour améliorer la sécurité des activités de maintenance. Suite à une étude bibliographique, une modélisation des processus d'intervention de maintenance a été réalisée : elle permet de représenter et d'appréhender plus facilement les différentes phases d'une intervention de maintenance, ce

qui autorise une meilleure identification des étapes ainsi que des exigences à satisfaire pour les réaliser en toute sécurité. De plus, cette modélisation propose une terminologie et des processus clairement définis et elle a permis d'aboutir à un modèle suffisamment générique pour être applicable à tout type d'activité de maintenance.

Dans un second temps, ce modèle a fait l'objet d'une pré-enquête auprès d'entreprises de la région Lorraine afin de valider sa compréhension. Suite à ces entretiens et aux modifications qui s'en sont dégagées, un questionnaire a été diffusé afin d'interroger les professionnels sur leur vision des risques et la criticité des éléments identifiés dans le modèle.

Principalement, ce retour d'expérience auprès de professionnels de la maintenance industrielle permet de confirmer l'analyse initiale. Les résultats tendent à montrer que chaque étape d'une intervention de maintenance a son importance dans la réalisation en sécurité de l'intervention sur un équipement de travail. De plus, même si chaque situation de maintenance est spécifique et qu'il existe de nombreuses organisations de maintenance différentes, des facteurs de risque identiques sont présents, *a priori* seule leur influence peut varier. Toutefois, ces premières analyses tendent à montrer que les variabilités observées restent contenues.

Globalement, cette enquête a permis d'une part, de valider le modèle et, d'autre part, d'apporter des informations sur la criticité des activités de maintenance.

Enfin, il est important de préciser que les résultats montrent le point de vue des professionnels sur les facteurs qu'ils perçoivent comme les plus influents sur la sécurité des opérateurs. Ils permettent de conforter notre point de vue mais surtout de l'affiner. Une perspective serait d'étudier les différences entre ces perceptions, la réalité des accidents et les analyses *a priori* de risques. On peut notamment citer les facteurs pression temporelle et travail isolé, qui apparaissent peu dans ces résultats de l'enquête alors qu'ils sont assez récurrents dans les accidents de travail.

En termes de perspective, le développement d'un outil multimédia de sensibilisation et d'information sur les facteurs de risque en maintenance pourra être envisagé. En effet, le modèle résultant de la formalisation des processus et des facteurs de risque pourra servir de base de connaissances à ce futur outil. Les interfaces exploitant cette base seront dédiées en fonction des utilisateurs potentiels : préventeurs, utilisateurs décideurs, formateurs. En effet, la même base de connaissances sera exploitable pour aider à l'établissement d'un état des lieux sur la maintenance, mais également pour élaborer des (in)formations de sensibilisation sur la problématique « maintenance et sécurité ». Pour ce faire, il faudra néanmoins « transformer » ce modèle en une véritable base de connaissances en s'appuyant sur des méthodes/modèles/outils permettant de définir une ontologie de la maintenance.

Reçu le : 11/02/2008

Accepté le : 19/03/2008

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GRUSENMEYER C. – Les accidents liés à la maintenance. Importance et caractérisation : étude bibliographique, Hygiène et Sécurité du Travail - Cahier de Notes Documentaires, ND 2238, INRS, 2005.
- [2] ASSOCIATION FRANÇAISE DES INGÉNIEURS ET RESPONSABLES DE MAINTENANCE – Santé et sécurité au travail : les métiers de la maintenance en première ligne. Guide national de la maintenance 2004.
- [3] INRS – Maintenance : des activités à risques. Fiche pratique de sécurité ED 123, 2005.
- [4] GRUSENMEYER C. – Interactions maintenance - exploitation et sécurité. Etude bibliographique. Tome 1. Les tâches de maintenance : définitions et caractéristiques contribuant à leur criticité. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, NS 0188, 2000.
- [5] CRAM Normandie – Analyse de 93 fiches d'accidents de « dépannage » issues de la base de données EPICEA. Caisse régionale d'assurance maladie de Normandie, Rouen, Novembre 2001.
- [6] GRUSENMEYER C. – Interactions maintenance - exploitation et sécurité, Hygiène et Sécurité du Travail - Cahier de Notes Documentaires, ND 2166, INRS, 2002.
- [7] INRS – Maintenance : prévention des risques professionnels. Fiche pratique de sécurité ED 129, 2006.
- [8] BLAISE J.C. – Analyse des processus de maintenance en vue d'une meilleure identification des facteurs de risques professionnels, Conférence PENTOM - (Performances et nouvelles technologies en maintenance), Mons, Belgique, 13 p., 2007.
- [9] BLAISE J.C. – Maintenance and safety: analysing maintenance processes and identifying occupational risk factors, conférence SIAS (Sécurité des systèmes industriels automatisés), Tokyo, Japon, 2007.
- [10] BLAISE J.C. – Experience Feedback on Occupational Risks in Industrial Maintenance, conférence SIAS (Sécurité des systèmes industriels automatisés), Tokyo, Japon, 2007.
- [11] VISTICOT C., MORIN C. – La réalisation d'une enquête, Académie de Bordeaux, <http://www.ecogesam.ac-aix-marseille.fr/Resped/Commerce/Outils/enquete/enquete.htm>
- [12] AFNOR – Terminologie de la maintenance. NF EN 13306, 2001.
- [13] AFNOR – Maintenance industrielle - Fonction maintenance. FD X60-000, 2002.
- [14] UHP Nancy. GMAO et sécurité. Disponible sur : <http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/MAIN-011/2pourevite/index.html>
- [15] FRANCASTEL J.C. – La fonction Maintenance : de l'expression à la satisfaction du besoin. Édition AFNOR, 1999.
- [16] SOURIS J.P. – Stratégie et organisation de la fonction maintenance : approche de la maintenance par les processus. Les référentiels DUNOD : pratique de la maintenance industrielle, 2005.
- [17] HALE A.R. et al. – Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry, Safety Science Vol.28, N° 1, pp. 21-44, 1998.
- [18] BERGER C., GUILLARD S. – La rédaction graphique des procédures : démarche et techniques de description des processus. Édition AFNOR, 2000.
- [19] INRS. Consignations et déconsignations, ED 754, 1993.