CONCEPTION SURE DES EQUIPEMENTS DE TRAVAIL : PROPOSITION DE DEUX APPROCHES POUR LA PRISE EN COMPTE DES USAGES

Jacques Marsot, Bruno Daille Lefevre, Aurélien Lux, Alain Etienne, Ali Siadat

▶ **To cite this version:**

Jacques Marsot, Bruno Daille Lefevre, Aurélien Lux, Alain Etienne, Ali Siadat. CONCEPTION SURE DES EQUIPEMENTS DE TRAVAIL : PROPOSITION DE DEUX APPROCHES POUR LA PRISE EN COMPTE DES USAGES . MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. hal-01166652

HAL Id: hal-01166652
https://hal.science/hal-01166652

Submitted on 23 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONCEPTION SURE DES EQUIPEMENTS DE TRAVAIL : PROPOSITION DE DEUX APPROCHES POUR LA PRISE EN COMPTE DES USAGES

J. MARSOT, B. DAILLE-LEFEVRE, A. LUX

INRS
Département Ingénierie des Equipements de Travail
1 rue du Morvan
CS 60027, 54519 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex
jacques.marsot@inrs.fr, bruno.daille-efèvre@inrs.fr,
aurelien.lux@inrs.fr

A. ETIENNE, A. SIADAT

ENSAM
Laboratoire de Conception Fabrication Commande
4 rue Augustin Fresnel Metz Technopole
57078 Metz Cedex
alain.etienne@ensam.eu, ali.siadat@ensam.eu

RESUME : *La conception sûre des équipements de travail est une obligation réglementaire. Pour être efficace, cette notion de « prévention intégrée » à la conception doit s'appuyer sur une vision globale des « situations de travail ».*

Face à cette problématique, l'INRS propose deux approches complémentaires basées sur l'AFB (Analyse Fonctionnelle du Besoin) et l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité).

La première, relative à la spécification du besoin, propose un mode de questionnement intuitif (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi, Combien), afin d'amener le binôme « client-concepteur » à définir les critères d'usage de chaque fonction.

Dans le prolongement de l'AFB, l'AMDEC Process est utilisée en conception ou modification d'un équipement de production. L'approche proposée ici incite les concepteurs à créer ou préserver les « marges de manœuvre » nécessaires à la réalisation du travail des opérateurs. Cette évolution consiste à élargir le périmètre d'analyse afin d'interroger, pour chaque fonction, les solutions techniques envisagées au regard des usages réels et de leur variabilité.

MOTS-CLES : *Conception, Machines, Sécurité, Usages, AFB, AMDEC.*

1 PROBLEMATIQUE

En matière de santé-sécurité au travail, la « conception » est un axe de prévention dont l'intérêt n'est plus à démontrer : c'est la notion de « prévention intégrée » qui est depuis le début des années 90 partagée par l'ensemble des pays européens (directive « Machines », 2006). La stratégie de prévention préconisée est centrée autour de l'estimation a priori des risques ; elle fixe comme objectif au concepteur d'équipements de travail (postes, machines, lignes de production, etc.) d'obtenir par itérations successives le niveau de risque résiduel le plus faible possible en développant des mesures de prévention intrinsèque (suppressions des phénomènes dangereux), de protection (protecteurs, dispositifs de protections, etc.) et d'information à l'utilisation (cf. figure 1).

Initialement axée sur le risque mécanique avec une approche technocentrée, cette démarche de prévention intégrée se veut aujourd'hui multirisques et centrée sur les usages du futur équipement de travail. En effet, les concepteurs ne doivent pas se limiter pour son application aux conditions normales d'utilisation, ils doivent aussi prendre en compte les usages, intentionnels ou non, prévisibles sur la base de l'expérience de l'utilisation antérieure de machines similaires et de la connaissance du comportement humain. C'est ce que la directive « Machines » appelle les « conditions anormales prévisibles » (Fraser, 2010).

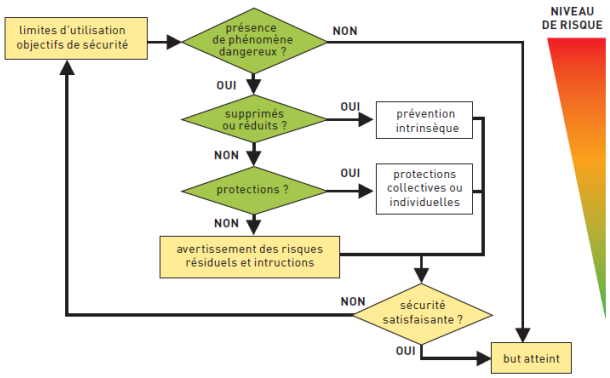

Figure 1 : Illustration de la notion de prévention intégrée

Il ne s'agit donc plus pour les ingénieurs et techniciens de bureaux d'études de simplement concevoir un système technique. Ils doivent également avoir une représentation précise des futures situations de travail et appréhender la variabilité inhérente à leurs multiples composantes : technique, humaine et organisationnelle. Or, malgré les avancées en termes de connaissances et de méthodologies dans ce domaine (Sagot et al., 2003 ;Sun *et al.* (2013) ; Neumann et al., 2009), force est de constater que les concepteurs ne sont pas suffisamment

« outillés » pour intégrer cette approche « situations réelles de travail » (Lamonde et al., 2010).

Par exemple, s'il est communément admis qu'il est nécessaire pour cela de s'appuyer sur des analyses d'activité et d'impliquer les opérateurs dans le processus de conception, dans la pratique, ces éléments font souvent défaut. Ils sont en effet perçus par les concepteurs comme générateurs de multiples demandes (parfois contradictoires ou non justifiées) et de délais supplémentaires (Villatte et Dimermann, 2004 ; Lamonde et al., 2010). Les concepteurs préfèrent alors contourner le problème en s'identifiant aux opérateurs et en imaginant les « usages » pour orienter leur choix de conception (Beguin, 2008 ; Darses et Wolff, 2006).
Afin de répondre à cette problématique en outillant les concepteurs dans la prise en compte des « usages », nous proposons deux approches complémentaires (cf. figure 2).

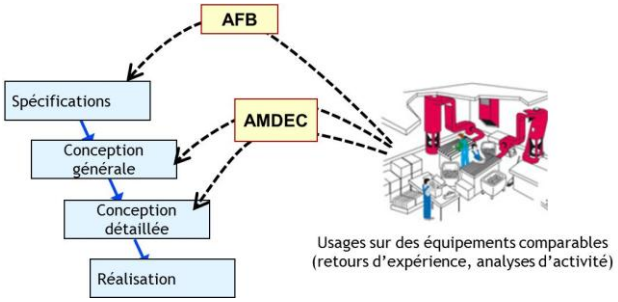

Figure 2 : Illustration du positionnement des approches proposées par rapport au processus de conception

La première concerne l'étape initiale du processus de conception dite de « spécifications ». La seconde permet d'interroger les solutions techniques envisagées lors des phases de conception générales et détaillées. Afin de faciliter leur appropriation ultérieure, ces deux approches s'appuient sur l'utilisation d'outils pluridisciplinaires relevant de l'ingénierie et largement diffusés dans les PME-PMI : l'AFB (Analyse Fonctionnelle du Besoin) et l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité).

Avant de présenter dans le détail ces deux approches, il convient de préciser le concept de « situations de travail » sur lequel s'appuient ces travaux.

2 CONCEPT DE « SITUATION DE TRAVAIL »

Le concept de « situation de travail » est à rapprocher de ce que la norme NF EN 614-1 (2009) dénomme « système de travail » : celui-ci comprend *« une ou plusieurs personnes et les moyens de travail agissant ensemble pour effectuer une (ou plusieurs) tâche(s) à l'intérieur de l'espace de travail dans l'environnement de travail, selon les conditions d'exécution de la tâche à effectuer »*.
A partir de cette définition, de précédents travaux de recherche sur l'intégration de la prévention à la conception nous ont conduit à proposer un modèle générique de situation de travail (MOSTRA) facilitant la prise en compte des données multipoints de vue, multi-métiers, et leurs interdépendances (Hasan, 2003). Ainsi, comme le montre la figure 2, en plus des items technologiques (système, fonctions, solutions techniques, etc.) habituellement exploités par les concepteurs, ce modèle les incite à prendre en compte ceux traitant de l'Homme (Equipe de travail, Tâche, Mode d'intervention) et de la notion de risque (Zone, Phénomène, Evénement dangereux, Mesures de sécurité, etc.).

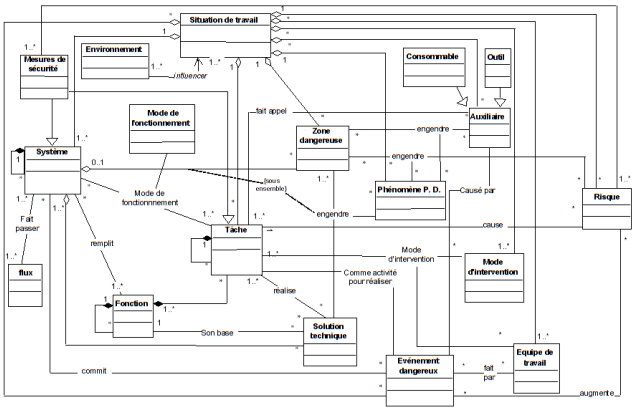

Figure 3 : Représentation simplifiée en langage UML du modèle MOSTRA (Hasan *et al.*, 2003)

Cependant, du fait même de ses spécificités (absence de points d'entrée et de sortie privilégiés, structure bouclée), ce modèle ne permet pas à lui seul de structurer le processus de conception (Daille-Lefèvre et Marsot, 2009). Il doit pour cela être exploité au travers de l'utilisation des outils de conception classiques. La cohérence de la démarche de conception est alors assurée par l'enchaînement logique des outils, la cohérence des données l'étant par le modèle MOSTRA.
Ainsi vis-à-vis de l'étape de « spécifications », nous proposons de coupler ce modèle MOSTRA à l'outil méthodologique d'analyse fonctionnelle du besoin.

Par ailleurs, le concept de « situation de travail » n'est pas statique. Il intègre également l'ensemble des variabilités liées à l'environnement réel et aux événements imprévus ; par exemple les écarts par rapport aux procédures, l'adaptation des modes opératoires pour répondre à des dysfonctionnements techniques ou organisationnels, ou encore à des besoins individuels. C'est ce que Rasmussen appelle l' *« espace des possibilités »*, au sein duquel migre l'activité réelle, souvent au-delà du cadre nominal prescrit initialement à la conception (Rasmussen, 1997). C'est également la notion d'activité limite tolérée par l'usage (Fadier et De la Garza, 2007). Concevoir une « situation de travail » c'est donc concevoir un système *« adaptable», « plastique »* qui laisse aux opérateurs les *« marges de manœuvre »* nécessaires à la réalisation de leur travail (Daniellou, 2004, Béguin, 2008). Cette approche doit prendre le pas sur la notion de systèmes adaptés à une

situation nominale (moyenne) prescrite. Elle est d'ailleurs considérée depuis plusieurs années comme un axe de prévention vis-à-vis des troubles musculosquelettiques (Coutarel, 2003 ; Douillet et Schweitzer, 2002 ; Roquelaure et al., 2001, Brunet et Riff, 2009) et comme une condition du maintien des opérateurs séniors au travail (Gaudart, 2003).
Pour cela, nous proposons une évolution de l'outil AMDEC Process, classiquement utilisé pour fiabiliser les lignes de production.

3 AFB ET SPECIFICATION DES USAGES

La phase initiale du processus de conception dite de «spécifications» consiste à identifier et à formaliser les différentes attentes relatives à l'équipement à concevoir (ou à modifier) parmi lesquelles devraient figurer, de façon explicite ou implicite, celles relatives à la prévention des risques professionnels. Comme le souligne la littérature scientifique, il est nécessaire pour cela d'aller au-delà des références aux normes et de s'appuyer sur l'analyse des situations existantes pour définir les usages et les contraintes des situations « futures probables » (Lemarchand, 1998 ; Sagot et al., 2003 ; Villate et Dimerman, 2004 ; Fadier et al., 2006 ; Daniellou, 2007, Lamonde et al., 2010).

Cependant, les concepteurs étant avant tout des « technologues » avec des contraintes fortes sur les aspects fonctionnels (performance et qualité de la production de la future machine), nous soutenons qu'il n'est pas suffisant d'intégrer ces données d'usage dans un paragraphe spécifique du cahier des charges, elles doivent être imbriquées dans les spécifications fonctionnelles pour éviter qu'elles soient traitées séparément, et de ce fait de façon tardive et secondaire.

Dans cet objectif, nous proposons en collaboration avec le CETIM[1] une approche basée sur le couplage de la démarche d'analyse fonctionnelle du besoin (AFB) avec le modèle de MOSTRA précédemment décrit.

L'AFB est une démarche pluridisciplinaire (AFAV, 1989). Elle permet dans un premier temps, le recensement exhaustif des fonctions attendues du futur équipement de travail dans les différentes étapes de son cycle de vie. L'étape suivante, qui se trouve être la « charnière » de l'approche proposée, vise à préciser l'ensemble des critères d'appréciation de chaque fonction. Notre objectif est donc d'intégrer les critères, d'usage à ce niveau. Après avoir vérifié qu'il permet bien de décrire l'ensemble des objets du modèle MOSTRA en lien avec l'objet « Fonction » (cf. figure 4), nous avons retenu pour cela un questionnement systématique de type « QQOQCPC » (Jang et Woo, 2005). Le concepteur dispose ainsi des données nécessaires pour définir des principes et des solutions techniques « sûres » répondant aux fonctions demandées et ce, dans les conditions d'usages prévues.

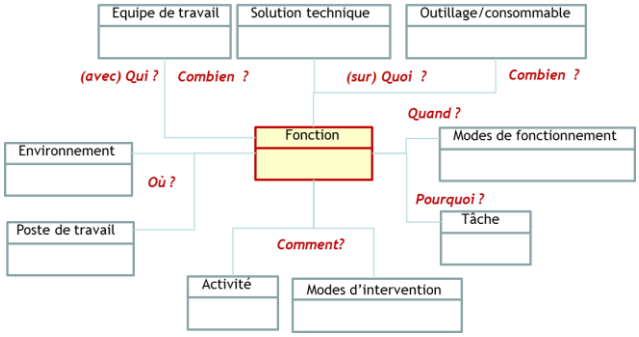

Figure 4 : Questionnement QQOQCPC et situation de travail

4 AMDEC PROCESS ET VARIABILITES DES USAGES REELS

Les projets de conception sont pour la plupart jalonnés de revues de projet réunissant les principaux acteurs impliqués (études, méthodes, qualité, management, production,…). L'AMDEC Process est alors utilisée pour évaluer les défaillances potentielles de processus de fabrication qui peuvent avoir un impact sur la qualité du produit fini (NF EN 60812, 2006). Le processus est décomposé en étapes élémentaires et, pour chacune d'elles, les défaillances potentielles (causes, effets et moyens de détection) sont recherchées puis hiérarchisées à l'aide d'un indice de criticité (IPR[2]). Au-delà d'un certain seuil défini par l'entreprise, une action corrective est requise et une nouvelle cotation permet de définir la criticité de la situation corrigée. L'usage de l'AMDEC est illustré ici par un exemple (cf. figure 5) : il s'agit d'une opération d'évacuation d'un capot de finition sur une ligne d'assemblage. Le mode de défaillance traité et celui d'un risque de rayure.
Les actions correctives envisagées sont d'une part, de supprimer les encours (travail pièce à pièce) et d'autre part, d'aménager des protections au niveau de la station d'assemblage.
Les analyses AMDEC classiques demeurent cependant techno-centrées : lorsque l'opérateur est évoqué, c'est essentiellement en tant que cause potentielle d'une défaillance (« oubli opérateur », « mode opératoire non respecté »,…). Comme nous avons pu le constater en suivant ce type de réunion, il n'y a généralement pas d'analyse approfondie pour déterminer les raisons de ces « erreurs » ou écarts par rapport au standard prescrit. Par ailleurs, les plans d'actions se traduisent souvent par le renforcement des mesures ou « barrières » qui prennent plusieurs formes : matérielles, fonctionnelles, symboliques ou immatérielles (Polet et al., 2002). En les franchissant pour s'adapter à la variabilité des situations de travail, les opérateurs peuvent alors s'exposer à des risques non prévus lors de la conception.

1 CETIM : Centre Technique des Industries Mécaniques

2 IPR : Indice Prioritaire de Risque / RPN : Risk Priority Number

ETAPE DU PROCESSUS	MODE DE DEFAILLANCE	EFFET	GRAVITE (G)	CAUSE	OCCURRENCE (O)	MOYEN DE DETECTION	DETECTION (D)	IPR = GxOxD	ACTION	PILOTE	DELAI	GRAVITE (G')	OCCURRENCE (O')	DETECTION (D')	IPR' = G'xO'xD'
Poste 80 : EVACUATION MANUELLE DU CAPOT DE FINITION															
Evacuation et mise en caisse du capot terminé	Pièce rayée	Mécontentement client	5	Choc lors de manipulation	3	contrôle visuel	5	75	Aménagement du poste (protections) + fonctionnement en pièce à pièce (pas d'encours)	AL	mai-14	5	1	5	25

Figure 5 : Exemple de tableau AMDEC Process

Si certains auteurs (Village et al., 2011) proposent d'utiliser l'AMDEC pour la prise en compte des facteurs humains sur une ligne de production (HF-FMEA[3]), le point de départ de l'analyse demeure les défaillances qualité. Les situations de travail qui n'engendrent aucun risque qualité échappent donc à l'analyse.

Afin d'intégrer des éléments complémentaires concernant les situations réelles de travail et les discuter de façon participative, nous proposons une évolution de l'AMDEC que nous avons appelé « AMDEC Situations de travail » (cf. figure 6). Du point de vue du formalisme, deux options sont envisageables en fonction des pratiques des entreprises : soit insérer l'évolution dans le tableau usuel d'AMDEC Process, soit en créer un second tableau traité en parallèle du premier.

La première colonne (Etape du processus) est identique à celle de l'AMDEC Process classique. Cette condition est essentielle. C'est en effet le point de départ des analyses AMDEC « Process » et « Situations de travail » qui peuvent ainsi être menées en parallèle, poste par poste et opération par opération.

La seconde colonne permet d'introduire le retour d'expérience, en identifiant des situations de travail différentes des conditions nominales prescrites. On y retrouve donc la variabilité sous ses différentes formes décrites précédemment : situations anormales prévisibles», migrations, activités limites tolérées par l'usage (Fadier et De la Garza, 2007), etc.

En reprenant l'opération d'assemblage citée plus haut en exemple, il pourrait s'agir de la mise en place par l'opérateur d'un stock intermédiaire non prévu à la sortie du poste d'assemblage (non-respect de la procédure qui impose un travail en « pièce à pièce »).
Il est important que les éléments de variabilité analysés soient collectivement validés par les opérateurs. Leur pertinence vis-à-vis des conditions de travail sera de ce fait légitime. Différentes techniques basées sur l'approche ergonomique (interviews, observations, questionnaires, autoconfrontation simple ou croisée,…) peuvent être utilisées pour cela, voire le mode de questionnement de type « QQOQCPC » précédemment exploité conjointement avec l'AFB.

Les deux colonnes suivantes (Causes et Effets) permettent d'analyser de façon participative les raisons à l'origine des écarts identifiés et leurs effets potentiels sur la situation de travail.
A partir de la littérature (Rasmussen, 1997 ; Polet et al., 2002), trois critères ont été retenus pour les qualifier : performance, qualité et conditions de travail. Une cause ou un effet peut relever d'un ou plusieurs de ces critères.
Si l'on reprend l'exemple précédent, les analyses ergonomiques montrent que les encours sont pour les opérateurs un moyen de régulation leur permettant de répondre à des tensions opératoires dans un système non stabilisé (Bourgeois, 2012).

ETAPE DU PROCESSUS	SITUATIONS REELLES DE TRAVAIL	CAUSES		EFFETS, RISQUES		GRAVITE (G)	PROBABILITE (P)	CRITICITE (C=PxG)	ACTIONS		GRAVITE (G')	PROBABILITE (P')	CRITICITE (C')
Poste 80 : ASSEMBLAGE CAPOT DE FINITION													
Evacuation Pièce terminée	Pièce à pièce non respecté : constitution d'un stock tampon (parfois 10 pièces) avec pièces posées à terre	☑ Performance	Prise d'avance, anticipation d'évènements	☐ Performance					☐ Refuser	Autoriser un stock tampon (5 pièces maxi) en aménageant un support adapté et bien placé			
		☐ Qualité		☑ Qualité	Pièce rayée ou choquée	5	5	25	☑ Encadrer		5	1	5
		☑ Condit. de travail	Organisation plus facile, moins de déplacements	☑ Condit. de travail	Chute + risque de heurter les chariots	10	3	30	☐ Valider		10	1	10

Figure 6 : Exemple d'analyse d'une situation de travail avec la grille proposée

HF-FMEA : Human Factor - Failure Mode and Effects Analysis

On identifiera dans ce cas les causes « performance » et « conditions de travail ». « Qualité » et « Conditions de travail seront les principaux effets de cet écart par rapport au mode opératoire prescrit : les encours sont en effet une source potentielle de défauts, notamment pour les pièces d'aspects (rayures) ; ils peuvent également encombrer le poste de travail ou les voies de circulation.

Tout comme avec l'AMDEC Process classique, il est possible de calculer un indice de criticité de chaque défaillance, par exemple en s'appuyant sur le modèle théorique BCD du franchissement de barrières (Vanderhaegen et al., 2011). Cette cotation n'a toutefois pas été développée ici. Nous préférons pour cela laisser le choix au groupe de travail impliqué dans cette analyse de développer leurs propres critères et échelles d'évaluation.

Enfin pour la colonne « Actions », trois types de décisions ont été prédéfinies selon que les aspects « conditions de travail » auront ou non été identifiés comme causes ou effets d'une déviation :

- Refuser l'écart : la situation « réelle » est inacceptable en l'état et une action correctrice est indispensable pour revenir à la situation prescrite : dans un objectif de prévention, ce sera par exemple lorsque la situation réelle a un effet négatif sur les conditions de travail (on refusera par exemple qu'un opérateur contourne un dispositif de sécurité pour gagner du temps). On ne pourra toutefois pas refuser un écart s'il est dû à des conditions de travail difficiles de la situation prescrite.
- Valider l'écart : la situation « réelle » est acceptée en l'état, car sans conséquences négatives. C'est par exemple le cas où un opérateur réaliserait une opération à la main au lieu d'utiliser l'outil préconisé, sans pour autant dégrader sa performance ou la qualité et sans que cela mette en jeu sa santé En revanche, et toujours dans une perspective de prévention, on ne pourra pas « valider » l'écart s'il a des conséquences négatives sur les conditions de travail.
- Encadrer : la situation est acceptable sous réserve de l'aménager : il faudra par exemple prendre des mesures pour que l'opération soit réalisée en toute sécurité.

Ainsi, dans l'exemple traité, l'équipe projet ne peut pas « refuser » la situation réelle ; cela reviendrait à renforcer les « barrières » en mettant par exemple en place de nouvelles procédures ou un automatisme garantissant un fonctionnement sans stock « parasite ».Les opérateurs seraient alors contraints à suivre un standard théorique qui ne leur permet pas de faire face à l'instabilité du système de travail. « Valider » la situation réelle en l'état ne s'avère pas non plus pertinent :il n'y a pas d'emplacement prévu pour l'encours de fabrication et cette situation génère à la fois des risques qualité et des risques sécurité.

L'équipe projet ne peut donc qu'« encadrer » la situation réelle en dimensionnant l'encours à partir du retour d'expérience des opérateurs et en aménageant le poste en conséquence (emplacement, support, etc.).

5 DISCUSSION

Comme rappelé en début de cet article, l'intégration de la prévention à la conception doit d'une part, être pensée en ayant une vision globale (ou systémique) des situations de travail et d'autre part, permettre à la variabilité inhérente au travail réel de s'exprimer sans pour autant dénaturer les solutions techniques proposées.

Afin de répondre à cette problématique, nous proposons deux approches complémentaires basées sur l'utilisation d'outils pluridisciplinaires relevant de l'ingénierie l'AFB (Analyse Fonctionnelle du Besoin) et l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité).

La première relative à l'étape initiale du processus de conception d'un équipement de travail propose un mode de questionnement intuitif (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi, Combien), afin d'amener le binôme « client-concepteur » à définir les critères d'usage de chaque fonction. Les aspects santé-sécurité ne sont plus spécifiés indépendamment mais inclus dans la description de chaque fonction du futur équipement de travail : chaque fonction doit être sûre. Deux cas d'applications, l'un avec un « concepteur » de machines (Falconnet et al., 2013), l'autre avec un « utilisateur final » (Daille-Lefèvre et al., 2014) ont montré d'une part, l'applicabilité de cette approche par des PME-PMI et d'autre part, son intérêt, du point de vue de la prévention des risques professionnels.

En effet, au-delà des bénéfices reconnus de l'AFB pour structurer l'élaboration d'un cahier des charges, le mode de questionnement proposé pour caractériser chaque fonction a effectivement permis à ces entreprises d'enrichir les cahiers des charges par des données issues du retour d'expérience des équipes de production sur les usages envisagés des futures machines.
Cette expression des usages, fonction par fonction, a également permis une meilleure compréhension des besoins du « client » par le « concepteur » et ainsi d'identifier très tôt :

- certaines fonctions réclamant des développements particuliers du fait des usages attendus ; ce qui a permis une comparaison (et une négociation) des offres à la fois du point de vue technique, des usages et bien sûr économique,
- des situations potentiellement dangereuses ; ce qui a permis d'initier dès l'étape de spécification la démarche d'évaluation et de réduction des risques.

Dans le prolongement de l'AFB, l'AMDEC Process peut être utilisée en phase de conception d'un nouvel équipement de production ou à titre correctif pour son

amélioration. Nous proposons donc de s'appuyer sur cet outil pour inciter les concepteurs à créer ou à préserver les « marges de manœuvre » nécessaires à la réalisation du travail des opérateurs. Cette démarche sera toutefois plus adaptée à des cas de conception routinière, là où des équipes de production déjà en place pourront témoigner de leur expérience sur des process similaires. Des conceptions innovantes ou à destination d'équipes totalement nouvelles constituent des limites à cette proposition.
Cette évolution consiste à élargir le périmètre d'analyse afin d'interroger, pour chaque fonction, les solutions techniques envisagées au regard des usages réels et de leur variabilité. Les échanges avec un premier partenaire industriel confirment l'intérêt potentiel de cette approche. Les techniciens et ingénieurs de cette entreprise reconnaissent en effet qu'à une problématique donnée, ils répondent le plus souvent par la mise en place de solutions techniques sans analyser leur impact sur le travail réel des opérateurs. Ces contacts se poursuivent actuellement afin d'appliquer cette approche sur un projet industriel.
Bien qu'elle y contribue, la démarche AMDEC « Situations de travail » proposée ne doit pas être confondue avec la démarche d'évaluation a priori des risques, qui incombe à tout concepteur d'équipements de travail. Il y a déjà eu des tentatives d'utiliser le formalisme AMDEC pour rendre plus précise cette phase d'évaluation des risques (Berthe et Vimeux, 1997) avec toutefois une limitation forte du fait de l'approche mono-causale de cet outil.

6 CONCLUSION

En s'appuyant sur des outils de conception reconnus (AFB et AMDEC), les deux approches proposées pour intégrer les usages s'intègrent naturellement dans le processus de conception des équipements de travail. Elles apportent un support méthodologique aux concepteurs pour les aider à prendre du recul par rapport à leurs prescriptions techniques. Sous réserve que les conditions d'une démarche participative soient réunies (c'est par exemple l'enjeu d'un accompagnement par des ergonomes, des préventeurs), elles permettent en effet d'engager la discussion autour d'éléments concernant les situations réelles de travail et leur variabilité tout en minimisant les ressources et la charge de travail supplémentaires : acteurs déjà mobilisés dans les réunions AFB et AMDEC classiques, mutualisation de certaines tâches.
Associées au modèle MOSTRA pour capitaliser des données, elles constituent une base commune entre les disciplines de l'ingénierie et celles des sciences humaines.

La conception des situations de travail ne doit toutefois pas se limiter à ces deux approches. Il faut en effet que cette pratique couvre l'ensemble du processus de conception, d'autres travaux sont actuellement menés dans ce sens sur l'évaluation des risques et la simulation d'activité et ce, tant du point de vue de l'activité des concepteurs (quelles sont leur propres marges de manœuvres pour gérer ces nouvelles données ?), que des outils utilisés (mannequins numériques par exemple).

REMERCIEMENTS

L'ensemble de ces travaux ont été réalisés en collaboration avec le laboratoire LCFC de l'ENSAM[4] (création du laboratoire mixte LC2S : Laboratoire pour la Conception de Situations de travail Sûres).

Les travaux sur l'étape de spécification (AFB) ont également été réalisés en partenariat avec le CETIM.

.

REFERENCES

AFAV, 1989. *Exprimer le Besoin - Application de la démarche Fonctionnelle.* Paris, AFNOR, 372 p.

Béguin P., 2008. Conception et santé : quelques remarques sur le statut de l'activité de travail dans la conception des systèmes de production. *PTO 14(4),* p. 369-384.

Berthe, F. and J. Vimeux, 1997. *AMDEC Sécurité, 56è fiche, Favi. Source www.favi.com*

Bourgeois F., 2012. Que fait l'ergonomie que le lean ne sait / ne veut pas voir ? *Activités 9(2),* p. 38-147.

Brunet M. and J. Riff, 2009. L'analyse et l'exploitation de la variabilité gestuelle pour prévenir les TMS. *Pistes, vol 11 (1),* http://www.pistes.uqam.ca/v11n1/articles/v11n1a7.htm

Coutarel F., F. Daniellou and B. Dugue, 2003. Interroger l'organisation du travail au regard des marges de manœuvre en conception et en fonctionnement, La rotation est-elle une solution aux TMS ? Conception et organisation dans les abattoirs en France, *Pistes, vol 5 (2),* http://www.pistes.uqam.ca/v5n2/articles/v5n2a2.htm

Daille-Lefèvre B. and J. Marsot, 2009. Intérêt des environnements PLM pour la mise en pratique des principes de conception sûre. *CPI 09,* Fèz, Maroc, 9 p.

Daille-Lefèvre B., R. Roignot, J. Marsot , E. Falconnet and E. Fadier, 2014. Méthodologie d'aide à la rédaction d'un cahier des charges basé sur l'usage. *Communication acceptée au 19e congrès lamda mu, Dijon.*

Daniellou F., 2004. L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. *In P. Falzon(Ed.) Ergonomie.* Paris : PUF.

4 LCFC- ENSAM : Laboratoire de Conception, Fabrication Commande - Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers

Daniellou F., 2007. Des fonctions de la simulation de situations de travail en ergonomie. *Activités, vol. 4 (2),* p. 77-83.

Darses F. and M. Wolff, 2006. How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics 37(6),* p. 757-764.

Directive 2006/42/EC, 2006. *Approximation of the laws of the Member States relating to machinery.* Official Journal L 157, 09/06/2006.

Douillet P. and J. M. Schweitzer, 2002. TMS, stress : gagner des marges de manœuvre. *In BTS, Le stress au travail, n° 19-20,* p. 64-66.

Fadier E. and C. de La Garza, 2006. Safety design: Towards a new philosophy. *Safety Science, 44, Issue 1,* p. 55-73.

Fadier E. and C. de La Garza, 2007. Towards a proactive safety approach in the design process: The case of printing machinery. *Safety Science 45,* p. 199-229.

Falconnet E., E. Fadier, B. Daille-Lefèvre, J. Marsot and R. Roignot, 2013. Conception des machines. Intégrer la sécurité et la santé dès la rédaction du cahier des charges. *Actes du 10e congrès Qualita, Compiègne,* p. 306-312.

Fraser, I., 2010. Guide pour l'application de la Directive 2006/42/CE. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006_fr.pdf, 441 p.

Gaudart C., 2003. La baisse de la polyvalence avec l'âge : question de vieillissement, d'expérience, de génération ? *Pistes, vol. 5 (2),* http://www.pistes.uqam.ca/v5n2/pdf/v5n2a4.pdf

Hasan R., A. Bernard, J. Ciccotelli and P. Martin, 2003. Integrating safety into the design process: elements and concepts relative to the working situation. *Safety Science, 41 (2-3),* p. 155-180.

Jang S. and W. Woo, 2005. Unified context representing user-centric context: Who, where, when, what, how and why. *International Workshop on ubiPCMM, CEUR Workshop Proceedings,* p. 26–34.

Lamonde F., J. G. Richard, L. Langlois, J. Dallaire and A. Vinet, 2010. La prise en compte des situations de travail dans les projets de conception. La pratique des concepteurs et des opérations impliqués dans un projet conjoint entre un donneur d'ouvrage et une firme de génie conseils. *IRSST - Rapport de recherche R-636,* 146 p.

Lemarchand C., 1998. Cahier des charges du point de vue de l'activité de travail. *Techniques de l'Ingénieur A 5093,* 5 p.

Neumann W. P., M. Ekman and W. Jorgen, 2009. Integrating ergonomics into production system development - The Volvo Powertrain case. *Applied Ergonomics 40(3),* p. 527-537.

NF EN 60812, 2006. *Techniques d'analyses de la fiabilité du système, procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE).* AFNOR, 46 p.

NF EN 614-1:2006+A1, 2009. *Sécurité des machines, principes ergonomiques de conception.* AFNOR, 7 p.

Polet P., F. Vanderhaegen and P. A. Wieringa, 2002. Theory of Safety-Related Violations of system barriers. *Cognition Technology & Work, 4,* p. 171-179.

Rasmussen J., 1997. Risk Management in a dynamic society: a modeling problem. *Safety Science, 27 (2-3),* p. 183-213.

Roquelaure Y., J. Malchaire, N. Cock, Y. H. Martin, A. Piette, S. Vergracht, H. Chiron and M.A. Lenoulanger, 2001. Quantification de l'activité gestuelle au cours des tâches répétitives de production de masse. *DMT 85(102), INRS, Paris,* p. 167-176.

Sagot J. C., V. Gouin and S. Gomes, 2003. Ergonomics in product design: safety factor. *Safety Science, Special issue « Safety in design », 41 (2-3),* p. 137-154.

Sun H., Houssin R;, Gardoni M., de Bouvrond F., 2013 "Integration of user behaviour and product behaviour during the design phase: Software for behavioural design approach". International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 43, Issue 1, January 2013, pp 100–114.

Vanderhaegen F., S. Zieba, S. Enjalbert and P. Polet, 2011. A Benefit/Cost/Deficit (BCD) model for learning from human errors. *Reliability Engineering and system safety, 96,* p. 757-766.

Vilatte R. and S. Dimerman, 2004. Ergonomiser les normes « zones d'atteintes » ou l'usage qui en est fait. *Actes du Congrès SELF,* p. 93-102.

Village J., T. Annett, E. Lin, M. Greig and P. W. Neumann, 2011. Adapting the failure modes effect analysus (FMEA) for early detection of human factors concerns. *Proceedings of the 42nd annual conference, association of Canadian ergonomists,* p. 18-20.