



L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception

*The integration of safety during the design of machines that are hazardous for
operators: comparison of the different design logic*

*La integración de la seguridad al diseñar máquinas con riesgos para los
operadores : comparación de lógicas diferentes de concepción*

Cécilia De la Garza



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/pistes/3251>

DOI : 10.4000/pistes.3251

ISSN : 1481-9384

Éditeur

Les Amis de PISTES

Édition imprimée

Date de publication : 1 février 2005

Référence électronique

Cécilia De la Garza, « L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception », *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* [En ligne], 7-1 | 2005, mis en ligne le 01 février 2005, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/pistes/3251> ; DOI : 10.4000/pistes.3251

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.



Pistes est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception

The integration of safety during the design of machines that are hazardous for operators: comparison of the different design logic

La integración de la seguridad al diseñar máquinas con riesgos para los operadores : comparación de lógicas diferentes de concepción

Cécilia De la Garza

1. Objectifs et hypothèses

- 1 L'objectif de l'étude est d'analyser et de comparer les modalités d'intégration de la sécurité dans des bureaux d'étude chez un constructeur de rotatives d'imprimerie (cf. Annexe 1), afin de mieux outiller le processus de conception visant une meilleure prise en compte du facteur humain.
- 2 Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme pluridisciplinaire « Groupe Intégration de la Prévention dès la Conception » de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (I.N.R.S.), cofinancé par le CNRS dans son Programme Systèmes de Production (PROSPER) (Fadier et coll., 2003). L'objectif global de ce programme est l'analyse des « conditions limites d'usage » des systèmes d'exploitation afin de pouvoir les prendre en compte dès la conception.
- 3 D'un point de vue théorique, nous sommes partis du modèle global de gestion des risques de Rasmussen (1997). L'auteur part du constat que l'analyse de plusieurs accidents et catastrophes industrielles (Bhopal et coll., Tchernobyl) met en évidence que les causes ne

sont pas à rechercher dans une combinaison de défaillances techniques et d'erreurs humaines, mais plutôt dans une dérive du comportement global de l'organisation sous l'influence de pressions fortes vers l'efficacité, dans un environnement fortement compétitif. Ainsi, tout système socio-technique se caractérise par une migration naturelle vers des frontières de performance et de sécurité acceptables, depuis la conception et ce, jusqu'à l'exploitation. L'accident survient lorsque les seuils de tolérance du système sont dépassés, la dérive devenant alors irréversible (Amalberti, 2001 ; Fadier et coll., 2003 ; Neboit, 2003).

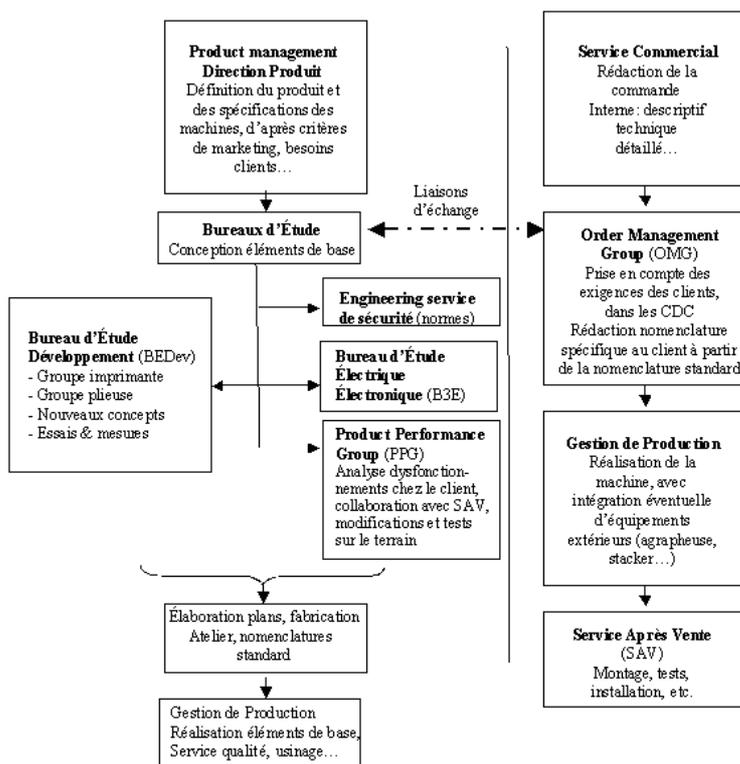
- 4 Le projet PROSPER a permis d'opérationnaliser ce concept de migration à travers la caractérisation en conception et en exploitation de deux notions intrinsèquement liées : les
« conditions limites tolérées à l'usage » et les « activités limites tolérées à l'usage »
(Fadier et coll., op. cit.).
- 5 Les premières sont définies comme des activités palliatives pour maintenir les performances du système et, ceci, parfois au détriment de la santé/sécurité des opérateurs puisqu'elles ont pour but l'optimisation de la production. Elles sont le résultat de compromis face à la gestion des différentes contraintes et sont limites car elles renvoient à des moyens de compensation partiels engendrant des risques pour la performance et la sécurité du système homme - machine. C'est ce caractère particulier qui les différencie des autres activités de travail. Les seuils de tolérance ne sont pas des valeurs nécessairement mesurables et concernent à la fois les systèmes techniques (robustesse, barrières de sécurité, etc.) et les opérateurs (compétences, état fonctionnel, possibilités de récupération, etc.). Ces activités limites peuvent concerner l'activité de travail de l'utilisateur final de la machine, mais aussi l'activité de travail de l'encadrement en relation avec des choix organisationnels inadéquats, ainsi que l'activité de travail des concepteurs. Des choix techniques lors de la conception vont alors s'avérer inadéquats en situation d'exploitation (incompatibilité entre des opérations de sécurité et de production, inaccessibilité de la machine, barrières de sécurité inadaptées) et favoriser des conditions limites d'utilisation et des activités limites de la part de l'utilisateur final.
- 6 Les conditions limites sont définies comme un ensemble de facteurs et d'éléments (environnementaux, matériels, humains, de production) de la situation de travail, qui, au cours de leurs interactions, favorisent la migration du système vers des zones plus ou moins sûres et augmentent l'incertitude dans le système de travail en réduisant les marges de manœuvre des opérateurs. Par conséquent, ces conditions limites sont susceptibles d'engendrer des risques pour le système du travail.
- 7 L'analyse des modalités d'intégration de la sécurité au cours de projets de conception a pour but d'identifier comment des activités limites peuvent être introduites. Autrement dit, l'absence de prise en compte ou la non prise en compte de façon adéquate de critères de sécurité en conception va induire l'émergence de facteurs de migration lors de la situation d'exploitation. En effet, si la sécurité est présente dans tout projet de conception par le biais de normes, de règles et de lois,¹ elle reste une obligation et non pas un investissement, ni un critère de fiabilité, ni de performance (Hollnagel, 1990 ; Hancke, 1995). De ce fait, cette approche n'est pas suffisante. En outre, tout acteur de la conception impliqué dans un projet, même s'il n'est pas expert en sécurité, peut être confronté à des problèmes de sécurité. La difficulté est probablement que les concepteurs manquent d'outils.

- 8 On peut supposer que, selon leur formation, leur métier, leurs objectifs de travail, ils auront une connaissance des risques en situation d'exploitation, qui les guidera dans leur recherche de solutions et leurs prises de décisions finales (Wolff et coll., 2004). Nos résultats mettent en évidence les points forts et les limites d'une telle démarche d'intégration de la sécurité.

2. Démarche méthodologique : une analyse des critères et des connaissances en sécurité intégrés dans deux projets de conception

- 9 L'étude s'est déroulée entre 1999 et 2001 et elle a articulé une analyse de l'activité de conception et une autre d'exploitation (De la Garza, 2003 ; De la Garza et Fadier, 2004 ; Février-Quesada, 2001). Nous présenterons ici les aspects concernant l'analyse de l'activité de conception. Il s'agissait donc d'une analyse de l'activité en relation avec des projets réels en cours chez le constructeur H., et non pas de l'analyse du rôle ou de la pratique de l'ergonome dans le projet, comme cela a été l'objet dans d'autres études (cf. par exemple Lamonde et coll., 2001 ; Bellemare et Garrigou, 1998).
- 10 La méthodologie est fondée sur des entretiens avec des acteurs différents de la conception. La figure 1 présente un schéma de l'organisation des bureaux d'étude et de leurs fonctions chez le constructeur H. Des acteurs du Bureau d'Étude Développement et Bureau d'Étude Électrique-Électronique ont été rencontrés, ainsi que des acteurs de l'Order Management Group, du service après-vente, du Product Performance Group, des démonstrateurs qui installent les machines chez les clients et l'équipe d'essais.
- 11 Un guide d'entretien a été pré-établi, qui pouvait être complété sur place si nécessaire, et qui permettait d'explorer des thèmes tels que : la signification de la sécurité par rapport au métier exercé et l'appartenance à un bureau d'étude spécifique, l'implication dans les décisions de sécurité de chacun, leur rôle concret quant à la sécurité dans les projets actuels, ce qu'ils considèrent être des critères de sécurité et/ou d'ergonomie, et comment pensent-ils en tenir compte au cours de la conception. On leur demandait aussi des exemples de situations dans lesquelles se sont posées des questions de sécurité ou d'ergonomie, des retours d'expérience sur la sécurité et leurs connaissances quant à la situation d'exploitation, c'est-à-dire l'utilisation réelle, dans les sites d'imprimerie, des machines qu'ils conçoivent. On cherchait également à identifier des phases d'intégration spécifiques pour la sécurité dans les projets, et ceci en relation avec les métiers et les Bureaux d'Étude impliqués.

Figure 1. Schéma simplifié de l'organisation des bureaux d'étude, de leurs liens et fonctions dans l'entreprise H



- 12 Une analyse thématique a été conçue, synthétisant les réponses apportées aux différentes questions décrites ci-dessus, à partir des retranscriptions des entretiens ayant été enregistrées et de nos prises de notes. À partir de là, une analyse cognitive fine a été possible prenant en considération six acteurs de la conception : deux du Bureau d'Étude Développement - mécanique, l'expert sécurité et trois du Bureau d'étude électrique-électronique. L'indicateur principal employé pour cette analyse était en relation avec les connaissances objectives et subjectives évoquées (normes, retours informels, caractéristiques des machines, usages connus ou présumés).
- 13 Cette analyse s'est fondée sur le suivi de deux projets de conception en phase finale d'essais qui concernaient respectivement les « essais d'un prototype plieuse » et les « essais d'un système autoplate » du groupe imprimant (cf. annexe 1 pour la configuration d'une ligne d'imprimerie et des composants étudiés). Le suivi de ces deux projets a consisté en observations continues sur place pendant plusieurs jours lors des essais. Un enregistrement vidéo de séquences spécifiques d'essais du système autoplate a été réalisé. En outre, nous avons participé en tant qu'observateur à des réunions de suivi de projets lorsque cela était possible.
- 14 Différents documents de conception et de sécurité ont été examinés afin d'identifier les liens entre les critères de sécurité et les cahiers des charges, le planning projet, le planning de la phase de tests, les procédures de conception issues de la « méthodologie de conception » ISO 9001, les rapports de revues de conception, les normes et directives, etc.
- 15 Au total, ce travail a représenté trente-cinq jours sur le terrain ainsi que trente et un entretiens semi-directifs, individuels ou en binôme, selon la disponibilité des personnes.

- 16 Il nous a semblé intéressant, dans un premier temps, d'identifier les modalités d'intégration de la sécurité d'un point de vue général chez le constructeur H, puis de faire une comparaison de ces modalités dans les deux bureaux d'étude en relation avec les projets suivis. En effet, dans l'organisation séquentielle de la conception, le bureau d'étude de développement intervient en début de projet et le bureau d'étude électrique-électronique après. En outre, ils ne travaillent pas sur les mêmes objets de la conception, ne suivent pas les mêmes procédures de conception, ne sont pas concernés par les mêmes normes et n'ont pas les mêmes connaissances sur la situation d'exploitation.

3. Une intégration de la sécurité dans la conception d'une machine par des voies « directes » et « indirectes »

- 17 D'un point de vue général, les modalités d'intégration effectives de la sécurité, dans les projets de conception, se caractérisent par une double structure liant des voies dites « directes » et des voies dites « indirectes ». Les voies directes sont définies ici comme des modalités d'intégration explicites de la sécurité à partir des normes, guides ou autres documents officiels. Cet aspect normatif apparaît comme un ensemble de connaissances partagées par un collectif impliqué à un moment donné dans un processus de conception. Il s'agit d'un référentiel opératif commun qui facilite le dialogue et la coopération entre acteurs de la conception. En revanche, les voies indirectes se caractérisent comme des modalités d'intégration implicites qui découlent d'un système de connaissances individuelles. Ce système se fonde sur la connaissance de différents acteurs sur la situation d'exploitation suite à des visites sur le terrain, des retours d'expérience informels ou formels par la voie du Service Après-Vente ou d'un autre service le Product Performance Group, qui s'occupe de dysfonctionnements techniques nécessitant des modifications importantes chez un client (cf. fig. 1). Le tableau 1 ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces modalités d'intégration.
- 18 Dans la partie qui suit, nous décrivons comment la sécurité est intégrée selon ces deux voies, qui sont les acteurs impliqués dans l'une ou dans l'autre et pourquoi ces deux modalités sont à la fois nécessaires et insuffisantes telles qu'elles sont pratiquées actuellement.

Tableau 1. Articulation des voies directes et indirectes lors de l'intégration de la sécurité au cours d'un processus de conception

Voies directes : modalités d'intégration explicites et officielles	Voies indirectes : modalités d'intégration implicites
---	--

<p>Normes AFNOR Normes et directives européennes Documents internes Certification de la machine par des organismes externes</p> <p>Impliquent le partage d'un « référentiel opératif commun » en relation avec un système collectif de connaissances, mais un seul expert sécurité en est responsable Une intégration de la sécurité systématique mais qui n'est pas articulée à une phase de la conception particulière</p>	<p>Ces modalités peuvent concerner des choix liés aux :</p> <p>Accès machine, carters Emplacement des commandes, boutons Flux de circulation : passerelles, plates-formes, escaliers, rambarde</p> <p>Impliquent des connaissances sur le travail réel, ses exigences et contraintes et/ou des retours du terrain ou d'accidents. Sont liées à un système individuel de connaissances Une intégration de la sécurité non systématique : des objectifs de sécurité qui viennent se greffer aux objectifs de conception</p>
--	---

3.1 L'intégration de la sécurité réglementaire : un expert sécurité, mais un collectif de travail

19 D'un point de vue des prescriptions, il existe dans l'entreprise un seul responsable sécurité, qui est au Bureau d'études d'ingénierie et de sécurité (cf. fig. 1). Son travail d'intégration de la sécurité est étroitement lié à trois axes fondés sur les normes et la réglementation.

- a. Normes et directives européennes. Elles recensent un certain nombre de risques pour la santé des opérateurs et représentent un recueil de base fondamental. La principale norme est la EN1010. Par rapport aux modalités pratiques d'intégration des normes au cours du processus de conception, l'expert nous explique qu'il n'y a pas de phase particulière, mais que cela devrait être fait « *le plus en amont possible* », en particulier pour tout nouveau produit « *la sécurité doit être anticipée dès la conception, ce qui simplifierait la tâche* ». Le problème est que l'on ne sait pas ce que signifie le « plus en amont possible », ni « dès la conception », et qu'en outre, cela n'est écrit nulle part. L'expert en sécurité se renseigne sur l'avancement d'un projet, à la fois pour contrôler la prise en compte des normes et pour tenter d'anticiper des problèmes avant le contrôle par l'organisme extérieur. Il peut être sollicité « *pour avoir un avis* », mais n'a pas de pouvoir de décision.
- b. Le « normalien ». C'est un document « maison » à usage interne qui donne les règles générales de conception et intègre les normes spécifiques aux types de rotatives conçues dans l'entreprise. Ce normalien est utilisé par l'ensemble des acteurs de la conception. Développé depuis plus de dix ans dans l'entreprise, il regroupe les normes de métier ainsi que celles de type AFNOR et européennes concernant la conception de rotatives. Il contient des informations qui ont été filtrées et expurgées par le responsable sécurité : normes adaptées, côtes, codes d'articles, choix des matériaux selon les pièces, etc. C'est le résultat d'un long travail de dialogue constant avec différents experts et les acteurs de la fabrication. Ce document donne à la fois des contraintes et des repères pour la conception et est utilisé par l'ensemble des concepteurs. Il est informatisé depuis 1999, ce qui facilite sa mise à jour systématique et sa consultation en ligne. Toutefois, il n'y a pas de partie ou de chapitre « sécurité », cela s'insère au fur et à mesure des besoins : « *on code l'usage* », nous dit l'expert.
- c. Un contrôle obligatoire par différents organismes extérieurs pour la confirmation du respect des normes et des directives européennes, pour la vérification de la qualité des composants, ainsi que pour la certification des équipements. Ces différents contrôles sont

réalisés généralement lorsque la machine est encore chez le constructeur, c'est-à-dire en dehors des conditions réelles d'installation, de montage et de production. Dans certains cas, ils sont effectués chez l'exploitant, comme lors d'une mise en conformité d'une ancienne machine ou d'une configuration un peu particulière demandée par le client.

- 20 L'expert cite un exemple illustrant le type de difficultés rencontrées sur le terrain, soit parce que la machine a une configuration particulière, soit parce que la sécurité n'a pas été anticipée :

« on a été obligé de faire sur place un nombre important de modifications parce que le client avait demandé une configuration complètement « tordue », la machine a été inspectée par le BG (...) Machine bizarre dans sa configuration, il y a eu beaucoup de problèmes, qui ont été soulevés sur le terrain. On a apporté un certain nombre de corrections, du point de vue des documents de sécurité, sur place (...)

Dans les cas très particuliers, certaines choses n'ont pas été prévues au niveau de la conception, on est obligé d'aller sur place. L'obligation va jusqu'à la machine complètement finie et installée chez le client. Quand une machine a été certifiée, ce qui est le cas de tous les nouveaux produits, ça nous facilite la tâche, ça veut dire que les problèmes de sécurité ont été vus dès la conception, c'est d'ailleurs une demande de directive européenne. Tous les points de danger doivent être analysés et protégés dès la conception, pour tous les nouveaux produits c'est ce qu'on essaie d'appliquer. Simplification de la tâche, puisque après il y n'a pas, ou très peu de problèmes, on peut avoir des problèmes d'adaptation de clients, un peu particulière.

Si on a bien tout vu dès le départ, et que ça nous a été certifié, on a de fortes chances d'être tranquille. On a souvent des problèmes sur des produits anciens, même s'ils ont subi des améliorations au cours de leur vie, parfois au niveau conformité on est obligé de faire des remises à niveau. C'est plus difficile que sur un produit nouveau. Plus difficile de remettre à niveau un ancien produit (long, coûteux) que de concevoir un nouveau produit bon dès le départ ».

- 21 Les interventions de l'expert sont plus structurées depuis que l'entreprise a été certifiée ISO 9001 en 1994. Cette certification a, en effet, introduit l'obligation d'établir un dossier technique de sécurité. Ce dossier définit la méthodologie avec des check-lists à vérifier avant la certification pour chacun des modules. À partir de nos analyses, deux moments d'intervention de cet expert se dégagent en relation avec ce dossier technique.

- En début de projet, une fois que les check-lists sont établies, il intervient dans le projet le « plus en amont possible » au cours des réunions de conception, afin d'anticiper les problèmes dans la phase de dessin par module et par fonction de façon systématique à partir d'une analyse micro faite avec les acteurs. À ce stade-là, l'expert utilise ses connaissances sur les normes et la législation principalement. Cependant, depuis la fin des années 90, il a commencé à établir un dossier sur les accidents qui se produisent chez les clients et qui remontent jusqu'à l'entreprise H. Il s'est effectivement rendu compte que ceux-ci peuvent être riches d'enseignements pour la prévention d'un risque lors d'une modification ultérieure de la machine. Toutefois, il ne dispose pas d'outil systématique de recueil ou d'analyse.

- 22 Ce niveau d'intervention concerne aussi bien les acteurs internes comme les sous-traitants, à qui l'entreprise H fournit des cahiers des charges relativement précis. Un dossier doit être établi parallèlement pour les organismes de certification externes et l'inspection du travail.

- Lors du montage du module et des essais, l'expert effectue une analyse à partir d'un point de vue d'ensemble, dont le but est l'identification d'oublis éventuels de certains aspects qui ne

sont pas évidents à identifier sur un plan ou sur un dessin : la position des rambardes, les passerelles, des parties de la machine qui dépassent dans des zones de passage, par exemple.

- 23 Si ce cadre réglementaire concerne un expert en particulier, il favorise néanmoins la construction d'un système collectif de connaissances concernant la sécurité et apparaît comme un « référentiel opératif commun » (de Terssac, Chabaud, 1990), plus ou moins partagé par l'ensemble des acteurs de la conception. L'apparition du dossier technique dans l'entreprise est certes une manière de donner un statut à la sécurité, mais celle-ci n'est toujours pas mentionnée dans les cahiers des charges.
- 24 En outre, nos entretiens et observations mettent en évidence que les normes ne sont qu'une des voies d'intégration de la sécurité dès la conception. Normes et contrôles ciblent exclusivement le respect de règles et de la législation, mais n'intègrent pas l'usage de la machine, ce qui peut conduire à des situations à risque, comme nous le verrons par la suite.

3.2 Des modalités d'intégration de la sécurité explicites et implicites qui varient selon les bureaux d'étude et les acteurs de la conception

- 25 Les différents acteurs de la conception (projetants, dessinateurs, ingénieurs, chef de projet), n'étant pas experts dans le domaine réglementaire, ont néanmoins des critères qui guident, orientent des choix ou répondent à des questions de sécurité et d'ergonomie. Ces modalités d'intégration se rapportent à la fois au système collectif de connaissances et à un système individuel de connaissances beaucoup moins explicite.
- 26 Les modalités officielles d'intégration de la sécurité ne diffèrent pas réellement entre les bureaux d'étude. En revanche, celles dites indirectes diffèrent selon les acteurs de la conception et les bureaux d'étude. Trois pôles principaux orientent les modalités d'intégration de la sécurité et de l'ergonomie par ces voies indirectes.
- Les accès machine, les carters.
 - Les commandes et les différents boutons.
 - Les flux de circulation (passerelles, escaliers, rambardes, les passages de papier dans les différents points de la ligne,...).
- 27 Ces pôles n'apparaissent pas de façon systématique dans le processus de conception et ne se manifestent pas non plus de façon systématique chez les différents acteurs interviewés.
- 28 Les deux premiers pôles sont évoqués par des acteurs du développement :
- « On crée des accès là où on pense que c'est nécessaire pour les interventions quotidiennes et la maintenance ; par exemple, pour la plieuse les zones de bourrage possibles en général, les câbles qu'il faut changer, le nettoyage de certains éléments, les cylindres », nous dit un chef de projet.
- « L'ergonomie, c'est les boutons, l'accessibilité des boutons », nous disent trois acteurs du développement.
- « La sécurité, c'est d'être plus malin que les opérateurs », nous disent deux acteurs du développement en parlant des carters afin qu'ils ne puissent pas les enlever.
- 29 Il apparaît, dans ces modalités d'intégration de la sécurité, à la fois des tentatives de prise en compte des opérations de la production et de la maintenance ainsi qu'une sécurité par blocage et par éloignement de l'opérateur des points de danger, ce qui reste dans une logique normative. Dans les deux cas, la démarche est fondée sur une connaissance partielle du travail et/ou sur des retours de terrain informels pour la plupart du Service Après-Vente (SAV) ou du Product Performance Groupe (PPG).

- 30 Quant au troisième pôle, il est surtout évoqué par des acteurs de l'Order Management Group. Ces derniers sont, en effet, confrontés à la réalité de l'installation et de l'implantation des machines chez les clients et savent comment ces éléments peuvent devenir source de risque en raison de configurations particulières. La « *personnalisation de la machine* », c'est-à-dire un ensemble d'ajustements à des besoins, des caractéristiques, ou des contraintes locales du client, peut poser des problèmes de sécurité non envisagés lors de la conception de la machine : « *on corrige sur place comme on peut* ». Il s'agit ici d'une phase de la conception peu étudiée et peu connue, l'intégration-implantation d'une machine ou d'une ligne, pour laquelle il n'y a pas non plus de moment dédié spécifiquement à l'analyse des problèmes de sécurité (Didelot, 2001).
- 31 L'analyse cognitive, en relation avec les deux projets de conception suivis, a permis d'identifier des différences quant aux modalités d'intégration indirectes, relevant de logiques favorisant ou non la prise en compte de la sécurité en conception.

3.3 Les essais « plieuse » et « autoplate » : des objets de conception qui favorisent une intégration de la sécurité fondée sur des logiques différentes

- 32 Les essais du prototype plieuse ont été suivis dans le bureau d'études développement - mécanique, que nous appellerons B1, et ceux de l'autoplate dans le bureau d'étude électrique-électronique que nous appellerons B2 dans la suite de l'article.
- 33 La phase d'essais, chez le constructeur H, est considérée comme étant la phase finale de conception qui précède l'installation chez le client. Cette étape, tout en étant importante puisqu'elle permet de valider les spécifications techniques du cahier des charges, a été écourtée dans les deux cas observés pour des raisons de budget et de délais de livraison. Toutefois, comme il fallait vraiment que toutes les fonctionnalités soient testées et validées, les essais de la plieuse ont été achevés chez le client lors de l'installation définitive.
- 34 Pour toute phase d'essais, un « plan d'essais » est établi en amont visant à tester la fiabilité technique du module et les spécifications techniques. Pour la plieuse, cela renvoie aux spécifications mécaniques, d'impression, de pli, différents réglages, etc. ; pour l'autoplate il s'agit des fonctionnalités, des réglages automatiques, etc.
- 35 Pour les essais du prototype plieuse, une ligne complète a été montée dans le laboratoire de tests (dérouleur-débiteur, groupe imprimant, sécheur, refroidisseur, plieuse, cf. annexe 1) de façon à pouvoir tester réellement la plieuse. L'équipe de tests était constituée de cinq personnes présentes en permanence dans le laboratoire et de deux mécaniciens présents selon les besoins. Le détail de l'équipe est décrit ci-dessous :
- le responsable des essais, ancien conducteur de rotatives,
 - un responsable qualité,
 - un ancien imprimeur, démonstrateur chez les clients,
 - une personne du PPG, ancien dessinateur,
 - un expert terrain, venu du bureau d'études des États-Unis, car il allait suivre par la suite l'installation et la mise en route chez le client.
- 36 Cette équipe est dédiée exclusivement aux tests ; elle se réunit régulièrement pour le suivi des examens avec le chef de projet et autres acteurs du B1 si nécessaire, et elle disparaît à la fin des tests. En cas de difficulté particulière au cours des essais, des

réunions spontanées sont organisées et des contacts privilégiés sont établis avec la fabrication pour des pièces spécifiques.

- 37 En revanche pour l'autoplate, les essais ont été faits de façon isolée sur un groupe imprimant. Il n'y a pas d'équipe de tests, seules une ou deux personnes du B2 y participent et n'ont pas de contacts avec d'autres acteurs de la conception. Dans les deux cas - prototype plieuse et autoplate - la phase d'essais a duré environ deux mois.
- 38 L'analyse comparative des modes d'intégration de la sécurité, dans ces deux projets et au cours du suivi des essais, met en évidence une prédominance des voies indirectes d'intégration de la sécurité dans le B1, tandis qu'au B2 ce type d'intégration est absent. Le tableau 2 synthétise ces différences et leurs modes de prise en compte des usages et du facteur humain.
- 39 Cette différence peut s'expliquer par l'interaction de plusieurs facteurs : le métier pratiqué et les objectifs de travail des différents acteurs, les caractéristiques des objets conçus et les modalités d'organisation des essais.
- 40 Les acteurs du B2 sont, en effet, plus « éloignés » de la réalité de travail ; ils manipulent des concepts abstraits et leurs objectifs de travail sont, d'une certaine manière, l'éloignement de l'opérateur du système, voire son élimination par rapport à une opération concrète de production jugée dangereuse. La notion d'usage et d'utilisateur final est absente de leur modèle de la tâche prescrite puisque, de leur point de vue, l'opérateur de production n'a pas à intervenir et doit être écarté. À l'inverse, considérant l'opérateur de maintenance comme un spécialiste qui devra intervenir en situation d'arrêt total de la ligne d'impression, ils estiment qu'il n'y a aucun problème quant à la sécurité. En outre, ils ont peu ou pas de retours d'expérience informels, car ils sont beaucoup moins en contact que les acteurs du B1 avec le service après vente ou le *product performance group*.
- 41 La situation est différente pour les acteurs du B1 qui travaillent sur des objets concrets et des matériels des équipements : le bâti, les aspects mécaniques, la cartérisation de la machine, etc.
- 42 Par ailleurs, la comparaison de ces deux phases d'essais met en évidence comment l'organisation des essais de la plieuse favorise l'intégration de certains usages et contraintes, ainsi que l'anticipation de certaines situations critiques, aussi bien en production qu'en maintenance. Cela est rendu possible par la mise en place des situations d'utilisation proche d'une situation de travail et ce, même si des utilisateurs finaux ne sont pas présents et même si l'objectif des essais concerne exclusivement la fiabilité technique. On constate comment le montage d'une ligne complète et la participation d'acteurs de centres de décision différents enrichissent le dialogue et favorisent la construction de représentations chez les différents acteurs intégrant des critères d'usage de la machine. Ces modes d'organisation s'expliquent, en partie, par les caractéristiques des modules testés. Pour tester les fonctionnalités de l'autoplate, le montage d'une ligne n'est pas nécessaire. En revanche, tester les fonctionnalités et les performances d'une plieuse nécessite de faire passer du papier comme en situation d'exploitation. Cet exemple met en exergue le fait qu'on peut profiter de démarches qui existent déjà à l'interne, les élargir et les enrichir pour donner un statut de « tests utilisateurs » à cette phase.

Tableau 2. Comparaison des modalités d'intégration dans les deux bureaux d'étude lors du suivi des essais

Modalités d'intégration de la sécurité au sein du B2	Modalités d'intégration de la sécurité au sein du B1
<p>Projet autoplate Prédominance des voies d'intégration directes : la sécurité par le biais des automatismes Une <i>logique prescriptive</i> fondée sur une <i>logique de fonctionnement</i> : « comment c'est fait », « comment ça doit être utilisé »</p>	<p>Projet plieuse Des voies d'intégration directes Des <i>voies d'intégration indirectes présentes</i> par le biais d'un retour d'expérience direct ou indirect, mais dans tous les cas, informel Une <i>logique prescriptive</i> qui s'articule avec une <i>logique d'appropriation</i> et d'utilisation : « comment on s'en sert »</p>
<p>Impacts de l'organisation des essais sur la prise en compte du facteur humain au cours des essais</p>	
<p>Une logique de fonctionnement renforcée par une situation de tests, éloignée de la réalité d'utilisation Pas de possibilité de discussion ou de dialogue avec d'autres acteurs Non-prise en compte du facteur humain à aucun moment au cours des essais</p>	<p>Une logique d'utilisation favorisée à travers la création d'une situation de fonctionnement proche de la réalité et par la diversité des connaissances des acteurs impliqués Des points de vue croisés qui enrichissent les discussions et la prise de décision Prise en compte du facteur humain à travers la connaissance de certaines tâches de production et de maintenance</p>

- 43 La comparaison de ces deux projets de conception montre également que la sécurité est intégrée selon des logiques très différentes (cf. tableau 2). Dans le cas de la plieuse, l'analyse thématique des verbalisations et de documents relatifs au projet met en évidence une intégration de critères ergonomiques et sécuritaires en fonction d'une logique « d'utilisation » et/ou « d'appropriation », (Rabardel, 1995 ; Richard, 1983) en plus d'une logique prescriptive. Cette logique d'utilisation va conférer des caractéristiques spécifiques à la machine en anticipant certains usages, d'après ce que l'on sait sur la situation de travail, en tenant compte à la fois de « ce sur quoi on peut agir » et du « comment on peut agir », i.e. des modalités de l'action (Rabardel, op. cit.). Ainsi, dans le B1, les problèmes d'accès des plieuses sont connus et on agit en faisant « plus d'accès » pour faciliter les opérations de production et de maintenance.
- 44 En revanche, dans le B2, les logiques prescriptive et de fonctionnement semblent prévaloir par rapport à l'intégration de critères de sécurité. Ces logiques caractérisent le discours des trois acteurs que l'on a suivi pendant les essais de l'autoplate. La logique prescriptive est normative et fondée sur la fiabilité technique de l'automate. Celle de fonctionnement est basée sur le « comment s'est fait » d'un point de vue technique et « comment ça doit être utilisé », selon quelles règles, sans tenir compte de l'utilisateur final, car il s'agit d'un automate et l'utilisation envisagée en est une exclusivement nominale. Des scénarios de situations critiques sont impossibles à imaginer. La conception, guidée par une logique du fonctionnement, s'accommode fort bien d'une

réduction d'incertitude précoce qui permet de réduire la complexité d'autres problèmes d'intégration à résoudre. Dans cette logique, les principes en cours de conception ou d'essai ne sont jamais remis en cause (Février-Quesada, 2001).

- 45 Cependant, quels que soient le cas analysé et les logiques impliquées, des défauts persistent concernant la prise en compte du facteur humain et des risques. Nos analyses sur le terrain mettent en évidence des lacunes d'identification des risques, ainsi que des choix techniques inadéquats ou des barrières de sécurité inefficaces face à certaines caractéristiques des situations de travail (Fadier et al., 2003).

4. Des conditions limites d'utilisation introduites dès la conception et générant des activités limites à l'exploitation

- 46 Considérons dans un premier temps l'autoplate. La logique de fonctionnement prescriptive s'appuie sur la vision d'un automatisme « infaillible ». Ainsi, au cours de la conception et des essais, des usages en semi-automatique et en manuel ne sont pas intégrés. En revanche, nos questionnements au cours de la phase d'essais mettent en évidence des ouvertures du système, des usages alternatifs non anticipés, qui peuvent augmenter l'incertitude vis-à-vis de la sécurité que l'on croyait maîtriser, en particulier au moyen d'automatismes. Ceci est lié principalement à deux éléments :
- la méconnaissance de l'activité de production et la non-prise en compte de certains besoins ;
 - l'automatisation sans référence à l'activité d'exploitation. Les automatismes créent de nouvelles contraintes aux exploitants car il faut des processus de contrôle, de supervision à distance, qui peuvent perturber le travail plus qu'ils ne le fiabilisent, le cas échéant.
- 47 Des risques peuvent être « oubliés » ou engendrés, qui ne deviendront effectifs qu'en situation d'exploitation. On peut alors favoriser une migration vers des conditions limites d'usage, en « pré-déterminant », avant même l'intégration-installation et l'exploitation de la machine, des modes opératoires inadéquats.
- 48 Le constat en production consiste en l'exploration en exploitation de différents espaces qui conduisent les opérateurs à contourner, entre autres, par des « activités limites tolérées par l'usage », les barrières installées par le constructeur, pouvant ainsi engendrer des risques pour la fiabilité du système (Fadier et coll., 2003). Du point de vue du prescrit, l'opérateur n'a théoriquement qu'à placer une nouvelle plaque d'impression sur un présentoir prévu à cet effet, fermer les carters de protection, commander au pupitre ou par bouton-poussoir le lancement de la séquence, puis à la fin, retirer la plaque usagée. Dans les situations d'utilisation réelle, le mode semi-automatique permet, quant à lui, d'effectuer la même opération de changement de plaques d'impression. Ce mode, non recommandé par le constructeur, est normalement prévu uniquement pour des situations de secours. Par ce mode, l'opérateur peut réaliser un démontage et un montage par étapes, en contrôlant la séquence au fur et à mesure de son déroulement à partir du tableau de commande. Enfin, en mode manuel, c'est-à-dire sans assistance de l'automate, l'opérateur doit, seul ou avec l'aide d'un collègue, positionner la plaque sur le cylindre et commander les différents mécanismes à mettre en œuvre pour un montage. Or, on observe qu'en exploitation, le mode automatique n'est pas systématiquement utilisé. Sur la base d'une certaine non fiabilité du mode automatique, réelle ou supposée, les opérateurs de conduite justifient l'utilisation des modes semi-automatique ou manuel.

En effet, la variabilité industrielle liée au papier, à l'encre, aux salissures, à l'état et au format des plaques ou l'expérience de séquences automatiques qui ont échoué, conduisent les opérateurs à utiliser les autres modes. Le manque de confiance dans l'automatisme et le souhait de mieux contrôler et maîtriser eux-mêmes le processus sont sans doute des raisons supplémentaires qui les poussent à cette pratique (Février-Quesada, 2001).

- 49 Considérons maintenant la plieuse. Le suivi de la phase d'essais met en évidence, après le passage de l'organisme de contrôle extérieur, toutes les remarques en termes de sécurité qui ne sont pas forcément pertinentes, compte tenu des conditions réelles d'exploitation. Également, ce cadre normatif laisse de côté des risques pour les futurs exploitants. La logique prescriptive-normative apparaît là aussi insuffisante.
- 50 Par rapport à la *logique d'utilisation*, fondée sur des initiatives individuelles et des connaissances partielles du travail d'exploitation, il y a des « oublis » et des inadéquations qui conduisent à des incompatibilités production/sécurité/santé.
- 51 Nous avons, par exemple, identifié au cours des essais des problèmes d'accessibilité de certaines manettes concernant un passage de papier, situé en hauteur, au premier étage de la plieuse. C'est un endroit auquel l'opérateur doit pouvoir accéder en cas de problème pour réengager la bande de papier par exemple. Cette opération est loin d'avoir un caractère exceptionnel au quotidien. Dans la configuration actuelle, l'accès induit une posture acrobatique qui introduit un risque de chute de hauteur, car il faut monter en se plaçant en équilibre sur une rambarde ; il faut donc être plutôt jeune et sportif.
- 52 Ce problème n'a pas été identifié au cours de la conception malgré cette « préoccupation » présente chez certains acteurs quant à l'accessibilité de la machine, pour au moins deux raisons.
- L'intégration de caractéristiques du travail peut s'avérer partielle, voire fautive car elle repose sur des commentaires d'acteurs proches des utilisateurs finaux, mais non des acteurs finaux eux-mêmes. En aucun cas, il ne s'agit d'analyses systématiques du travail, de connaissances méthodiques et structurées pouvant guider des choix de conception adaptés.
 - Ce mode de fonctionnement dépend d'initiatives et de connaissances liées à un individu particulier, mais dont la traçabilité ou la capitalisation n'est pas réalisée pour des projets suivants. Il n'y a aucune mémoire de projet quant à la prise en compte de critères ergonomiques de ce genre ou d'opérations de production ou de maintenance particulières (Lamonde et al., 2001).
- 53 On peut noter que ce même problème n'a pas été signalé par les bureaux de contrôle extérieurs, probablement parce que cela n'est pas considéré comme un « point de danger », car un membre supérieur ne semble pas pouvoir être coupé ou engagé à cet endroit. Pourtant, si l'on consulte les statistiques nationales de la Caisse Régionale d'Assurance Maladie les plus récentes (2001), les chutes de hauteur sont une cause non négligeable d'accidents dans le secteur de l'imprimerie. On constate 324 accidents du travail avec arrêt (AT), dont 17 avec une incapacité permanente, selon la catégorie « chutes avec dénivellation », sur un nombre total de 3375 AT. Ces accidents concernent 91811 salariés travaillant dans les activités édition et impression de journaux (69 AT/423 AT) et imprimerie de labeur (255 AT/2952 AT), secteur dans lequel nous avons réalisé l'étude.
- 54 Ainsi, si objectivement la plieuse est plus accessible sur certains points, d'autres choix peuvent conduire à des activités limites du point de vue de la performance et de la

sécurité en situation d'exploitation. D'autres exemples ont été identifiés comme étant également liés à des problèmes d'accessibilité tels que :

- un bouton de commande inaccessible. Le bouton a été abaissé à 1,80 m et ne pouvait pas être installé plus bas à cause de la présence d'autres éléments techniques que l'on ne pouvait plus déplacer à ce stade de la conception.
 - une porte d'accès à l'intérieur de la plieuse, dont l'ouverture bloque l'accès au bouton marche/arrêt. Or, lorsque l'opérateur intervient dans cette partie de la plieuse, c'est en général suite à un incident technique (casse de papier, bourrage) et il faut pouvoir ouvrir la porte et actionner le bouton marche/arrêt avec une main et décoincer les cahiers avec l'autre main, afin de ne pas se faire prendre la main par des éléments coupants. Du point de vue des prescriptions, un seul opérateur doit faire ces opérations. Dans la configuration actuelle du prototype, ils sont obligés d'intervenir à deux, ce qui introduit un risque d'accident pour l'opérateur introduisant ses mains dans la machine. Des résultats similaires avaient été mis en évidence par Demor (1996) dans l'industrie automobile.
- 55 Ces deux derniers points seront améliorés dans les futures plieuses, mais on ne peut pas considérer qu'il s'agit de « mémoire de projet », ni de « retour d'expérience », mais plutôt de corrections au coup par coup.
- 56 Notre étude démontre donc que des objectifs d'ergonomie et de sécurité ne peuvent pas avoir un caractère d'efficacité réelle sans une procédure d'intégration systématique (De la Garza, 2003).

5. Conclusion : outiller la conception pour l'intégration du facteur humain

- 57 Nos recommandations vont essentiellement dans le sens d'une prévention « proactive », c'est-à-dire *a priori* par rapport à l'événement critique, par opposition à une prévention « réactive », c'est-à-dire *a posteriori* par rapport à l'événement critique. Plusieurs questions importantes se posent alors :
- Comment favoriser chez les différents acteurs de la conception la construction d'une représentation adéquate et plus proche de la réalité d'utilisation des équipements de travail ?
 - Quelles règles d'utilisation, quels critères et quels usages faut-il prioritairement intégrer ?
 - Quelles situations quotidiennes, événementielles et accidentelles faut-il anticiper ? Et quels risques pour la sécurité globale du système, ainsi que pour la santé de l'opérateur faut-il anticiper ? Quelles barrières de sécurité ? Etc.
- 58 Quatre axes principaux exposés brièvement ici visent à orienter une conception sûre d'équipements industriels (Fadier et coll., 2003 ; De la Garza et Fadier, 2004).

5.1 Aller au-delà du savoir technique

- 59 L'intégration du facteur humain de façon globale signifie le passage d'un présupposé de la « situation unique » ou « nominale » à l'acceptation de la variabilité industrielle et de situations critiques plus ou moins connues, plus ou moins dangereuses. Concrètement, par exemple dans le cas étudié, nous avons dégagé, d'une part, une liste d'opérations quotidiennes, notamment liées à des réglages dans les groupes, induisant des postures inconfortables, et d'autre part, une liste de situations événementielles quotidiennes

relatives à des problèmes d'accessibilité ou introduisant des risques (casses de papier et bourrages dans différents points de la ligne, casses de cordons dans la plieuse, etc.). Ces listes n'apportent pas de solutions de conception, mais elles guident une réflexion future intégrant des critères de santé et de sécurité, afin d'améliorer les équipements. Elles visent l'enrichissement de la logique « d'utilisation » des concepteurs à partir d'éléments organisés et concrets de la situation d'exploitation quotidienne et événementielle. L'intégration des facteurs humains dans les projets signifie aussi l'utilisation systématique de données anthropométriques, la prise en compte des exigences réelles du travail, des dysfonctionnements, des usages et des modes opératoires considérés comme des activités limites tolérées à l'usage (Norman, 1988, 1993 ; Vicente, 1999 ; Fadier et coll., 2003). L'analyse ergonomique apporte également des éléments pour une sécurité proactive et conviviale, quant à la répartition des fonctions homme - machine, notamment par rapport à l'automatisation de certaines fonctions.

5.2 Élargir l'espace de conception

- 60 La conception participative et le dialogue doivent être encouragés, avec, par exemple, la mise en place de réunions de conception spécifiques « sécurité » et la participation d'experts différents à des stades particuliers de la conception. Cette conception participative aurait pour effet, en outre, de sortir de la logique de conception « par module » et de créer des groupes de travail inter bureaux d'études afin d'enrichir les représentations des uns et des autres sur la sécurité, les usages et les contraintes en situation d'exploitation. Bien entendu, des questions se posent quant à l'organisation des réunions et/ou de groupes de travail avec des experts et des bureaux d'étude différents afin de rendre efficaces ces formes de participation et d'éviter, par exemple, les décalages sociocognitifs ou des incompréhensions liés à la multiplicité d'expertises, de contraintes et de points de vue (Cahour, 2001 ; De la Garza et Stocker, 2003 ; Wolff et coll., 2004). Il s'agit d'exploiter des richesses et des connaissances qui existent en interne, mais qui, jusqu'à présent, ne sont pas utilisées pour une réflexion sur le facteur humain en conception. En outre, une sensibilisation aux méthodes d'analyse des risques, à la sécurité et à l'ergonomie, du moins pour certains des acteurs des bureaux d'étude, pourrait faciliter le dialogue et l'outiller par rapport à la sécurité.

5.3 Enrichir les phases de la conception en introduisant des critères et des objectifs de sécurité et de santé

- 61 Le but est d'introduire dans les cahiers des charges des objectifs de sécurité et de santé au même titre que les performances et les spécifications techniques. Ces critères vont au-delà des normes propres à chaque domaine et équipement industriel, qui sont minimales. À partir de l'existant (situation d'exploitation connue) et des composants nouveaux des tâches et de l'activité de travail future, en relation avec les transformations effectuées sur les équipements, l'objectif est d'anticiper les usages et les contraintes en situation proche de la situation « future probable et possible » (Daniellou, 1992 ; Sperandio, 1993 ; Grosjean et coll., 1999 ; Boy, 1999). Ainsi, dans les cahiers des charges, on devrait stipuler, par exemple, des critères pour les accès d'une machine ou d'une ligne en relation avec des opérations de maintenance et production, en situation quotidienne et incidente, et non pas seulement en situation normale. Chaque phase de la conception doit consacrer une

réflexion particulière au facteur humain, dès la définition des besoins, jusqu'à l'évaluation des différents critères de sécurité et de santé. Là aussi, les analyses des situations d'exploitation existantes aident les concepteurs à construire des scénarios pour tester et anticiper également les besoins en formation. On peut donc envisager d'utiliser des structures existantes, comme c'est le cas de la phase d'essais, pour intégrer des « tests utilisateurs » orientés sécurité et santé.

5.4 Une sécurité portée par le collectif des concepteurs et l'organisation de retours d'expériences

- 62 Les Retour d'EXpérience (REX) restent actuellement pauvres et non systématiques, en particulier par rapport à la sécurité et à l'usage des équipements industriels, surtout dans les PME-PMI, mais aussi dans nombre de grandes entreprises. Dans le cadre d'une conception cherchant à intégrer des critères de sécurité dans les différentes phases de la conception, l'organisation d'un REX ainsi que la capitalisation des connaissances et des ressources internes à l'entreprise sont absolument nécessaires. Les REX concernent à la fois les événements critiques survenus en situation d'exploitation, les situations quotidiennes d'exploitation et les projets de conception. Différentes méthodes d'analyse d'accidents ont fait leurs preuves depuis plusieurs années maintenant. Cependant, dans les secteurs industriels qui ne sont pas considérés à haut risque, elles ne sont pas forcément connues. C'est pourquoi, dans certains cas, il faut mener une réflexion par rapport à l'événement a posteriori en partant des outils de recueil avant même d'envisager des outils d'analyse. Par exemple, dans le cas que nous avons étudié, nous avons proposé une grille de recueil et d'analyse des accidents, à partir de l'analyse d'une soixantaine de cas survenus dans le secteur de l'imprimerie, afin d'enrichir le REX (Michaud, 2003).
- 63 De façon parallèle, au cours de notre étude, nous avons observé comment la certification ISO 9001 a favorisé une structuration du processus de conception pouvant aider à une mémoire de projet et à un REX par rapport à la santé/sécurité au sens de Lamonde et coll. (2001). En effet, depuis 1998, il existe des traces écrites des projets les plus importants de conception dans l'entreprise puisque la certification impose des fiches de suivi de dossier d'étude qui doivent spécifier les données d'entrée, la planification de la phase projet et de la phase étude, l'exécution et la validation. Pour chaque point, il faut joindre les documents correspondants. Comme le démontre Reverdy (1999), les normes de l'assurance qualité ont introduit un changement fondamental dans les entreprises par « l'injonction en faveur de l'écriture ». Cette écriture est vécue comme contrainte, car elle donne le sentiment « d'alourdir » le travail. Mais parallèlement, certains reconnaissent l'intérêt d'une telle démarche lorsque l'écrit devient « instrument de l'action collective » (Reverdy, op. cit.) et instrument de la mémoire de projet. Elle peut, en effet, si elle est bien organisée, conduire à une capitalisation des connaissances et assurer leur transmission et leur pérennisation, une fois l'équipe projet dissoute. Nous avons constaté, au cours de notre étude, des effets de cette écriture quant à un choix technique réutilisé systématiquement dans la conception de nouvelles plieuses, sans pour autant l'avoir évalué. L'équipe projet a pris conscience, en discutant avec le SAV, que ce choix technique induisait des problèmes sur le terrain depuis dix ans. Cette solution a donc été notée comme inadéquate, en expliquant les raisons. Il y a désormais une trace des choix techniques étudiés, ceux qui ont été retenus et ceux qui ne l'ont pas été. La même

démarche pourrait être enrichie avec des aspects de santé/sécurité qui seraient connus de l'expert sécurité, du SAV, de l'exploitant ou de l'utilisateur final lui-même.

- 64 En conclusion, cette démarche d'intégration de la sécurité et de la santé dans les projets de conception se situe dans une perspective de « conception sûre » qui signifie un changement de philosophie de la conception. Il s'agit de donner un statut à la sécurité et à la santé en tant qu'objectifs de conception mentionnés dans les cahiers des charges. La conception sûre se veut, en outre, écologique car elle cherche à adapter les caractéristiques des dispositifs et des organisations aux besoins des utilisateurs finaux en interaction avec leurs caractéristiques physiques et cognitives (Rasmussen et Vicente, 1989). Elle intègre la variabilité industrielle, comme la variabilité individuelle, et cherche à anticiper l'évolution du système socio-technique dans sa globalité et dans le temps.
- 65 La conception sûre peut être considérée comme un investissement, car s'occuper de la sécurité et de la santé des opérateurs a aussi, pour effet, une meilleure performance et une plus grande efficacité du système socio-technique (Fadier, 1998). Bien entendu, une conception sûre ne relève pas uniquement des seules compétences de l'ergonome, mais ce dernier peut y contribuer. Ainsi, dans les années 80, la notion de « concevoir pour la sécurité » (design for safety) s'est développée, en particulier, pour les aspects techniques et les ingénieurs s'y sont familiarisés (Wang et Ruxton, 1998 ; Birmingham et coll., 2000), mais deux constats importants ressortent.
- La sécurité et la prévention apparaissent comme réservées aux systèmes à hauts risques, en crainte des grandes catastrophes dans le nucléaire, l'aéronautique, le ferroviaire ou le maritime.
 - Les démarches de conception intégrant les besoins des utilisateurs finaux en relation avec les exigences physiques et cognitives du travail et les caractéristiques des utilisateurs, semblent être le privilège du domaine des interfaces homme-machine (IHM) et des logiciels. Les normes dans ce domaine préconisent une démarche « centrée utilisateur » (cf. par exemple, NF EN ISO 13407, ISO TC 159/SC 4, ISO/TR 16982) et la littérature spécialisée est abondante depuis les années 80.
- 66 Un élargissement s'avère indispensable dans le domaine de la conception des équipements industriels, pour une réelle prévention des accidents et des atteintes à la santé spécifiques (maladies professionnelles).
- 67 Enfin, si la conception est une étape clé pour une prévention efficace et adaptée aux conditions réelles de la production, elle ne peut pas tout résoudre. Au-delà du système technique, et d'une vision individuelle du rôle de l'Homme dans la sécurité, il faut considérer les aspects organisationnels dans l'approche de la sécurité. Les analyses d'accidents dans divers domaines (Rasmussen et Svedung, 2000 ; De la Garza, 1999) montrent comment ces aspects jouent aussi un rôle important dans l'émergence de ces processus. Il s'agit alors d'articuler la conception sûre d'équipements industriels avec la conception sûre de systèmes organisationnels.

BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (2001). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science*, 37, 109-126.
- Bellemare, M., Garrigou, A. (1998). Comprendre l'activité des ingénieurs de projet : un enjeu pour l'intervention précoce de l'ergonome. Actes des *Journées de Bordeaux sur la Pratique de l'Ergonomie*, 96-104, Bordeaux, France.
- Birmingham, R., Sen, P., Cain, C., Cripps, R.M. (2000). Development and implementation of a design for safety procedure for search and rescue craft. *Journal of Engineering Design*, 11, 1, 55-78.
- Boy, G. (1999). L'interaction homme machine : une approche de l'ingénierie cognitive pour la conception centrée sur l'homme. Dans, Ganascia J.G., *Sécurité et cognition*, 79-101. Paris : Hermès.
- Cahour, B. (2001). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception industrielle. Actes du 10ème Atelier du Travail Humain, *Modéliser les activités coopératives de conception*, 55-72, CNAM Paris, INRIA Roquencourt, France.
- Daniellou, F. (1992). *Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception*. Document de synthèse présenté à l'Université de Toulouse le Mirail en vue d'obtenir l'Habilitation à diriger des Recherches. Juin, 100 p.
- De la Garza, C. (1999). Fiabilité individuelle et organisationnelle dans l'émergence de processus incidentels au cours d'opérations de maintenance. *Le Travail Humain*, 62, 1, 63-91.
- De la Garza, C. (2003). A cognitive analysis of safety integration into design in the printing sector. Invited presentation for the Workshop on Human Factors and MMI, 3rd International Conference of Industrial Automated Systems, SIAS, 13 - 15 October, Nancy.
- De la Garza, C., Fadier E. (2004). Towards a proactive safety into design : a comparison of safety integration modalities in two design processes. *Cognition, Technology and Work* (accepté).
- De la Garza, C., Stocker, V. (2003). *De la conception participative à la conception « centrée utilisateur »*. Apports de l'ergonomie pour l'amélioration du processus de conception et d'évolution des logiciels. Rapport final Etude CNAM/CPAM - Paris 5.
- Demor, S. (1996). *Les risques et leur gestion au cours de la récupération de dysfonctionnements dans un système automatisé de production séquentielle*. Mémoire de DEA d'Ergonomie, CNAM, Paris.
- Didelot, A. (2001). *Contribution à l'identification et au contrôle des risques dans le processus de conception*. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Laboratoire Génie des systèmes industriels, Nancy.
- EN 1010 (1997). *European standard, definitive project. Safety requirements for the design and construction of printing and paper converting machines - Part 1 : common requirements*. European committee for standardization, Brussels.
- EN 614-1 (1995). *European standard, safety of machinery, Ergonomic design principles - Part 1 : terminology and general principles*. European committee for standardization, Brussels.
- Fadier, E. (1998). L'intégration des facteurs humains à la conception, travaux actuels et perspectives. *Phoebus : La Revue de la sûreté de fonctionnement*, 59-66.

- Fadier, E., De la Garza, C., Didelot, A. (2003). Safe design and human activity : construction of a theoretical framework from an analysis of a printing sector. *Safety Science*, 41, 9, 759-789.
- Fadier, E., Neboit, M., Ciccotelli, J. (2003). Intégration des conditions d'usage dans la conception des systèmes de travail pour la prévention des risques professionnels. Bilan de la thématique 1998 -2002. *Note Scientifique et Technique*, NS 237.
- Février-Quesada, T. (2001). *Analyses cognitives des représentations mentales d'opérateurs de bureaux d'études quant à la future utilisation d'équipements qu'ils contribuent à concevoir*. DEA d'Ergonomie, Université Paris V.
- Grosjean, V., Delclo, J.M., Colin, R., Dernis, D., Ducourant, C., Fadier, E., Lorthioit, V. (1999). Reproduire en situation simulée les contraintes cognitives futures : une démarche ergonomique de prévention. Dans, Ganascia J.G., *Sécurité et cognition*, 39-47. Paris, Hermès.
- Hancke, T. (1995). *The design of human-machine systems : the example of flight decks : design criteria for, potential benefits of and experiences with the human-centred design of human-machine systems*. Achener Reihe Mensch und Technik - ARMT, Band 13, 130 p.
- Hollnagel, E. (1990). The design of integrated man-machine systems and the amplification of intelligence. Invited presentation for the *International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications*, Mitocity, Ibaraki, Japan.
- ISO TC 159/SC, ISO/TR 16982 (2001) (E). *Ergonomics of human-system interaction - Usability methods supporting human centred design*. 2001-01-10.
- Lamonde, F., Viau-Guay, A., Beaufort, P., Richard, J.G. (2001). La mémoire de projet : véhicule d'intégration de l'ergonomie et de la SST à la conception. *PISTES*, 3, 2. <https://pistes.revues.org/3733>
- Michaud, S. (2003). *L'intégration de la prévention des risques en conception des rotatives*. Maîtrise de Psychologie (s/d De la Garza), Université Paris 5.
- Neboit, M. (2003). A support to prevention integration since design phase : the concept of limit conditions tolerated by use. *Safety Science*, 41, 2, 95-110.
- NF EN ISO 13407 (1999). *Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. AFNOR, Septembre.
- Norman, D.A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York, Basic Books.
- Norman, D.A. (1993). *Things that make us smart*. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, Armand Colin.
- Rasmussen, J., (1997). Risk Management in a dynamic society : a modelling problem. *Safety Science*, 27, 2-3, 183-213.
- Rasmussen, J., Svedung, I. (2000). *Proactive risk management in a dynamic society*. Karlstad, Swedish Rescue Services Agency.
- Rasmussen, J., Vicente, K.J. (1989). Coping with human errors through system design : implications for ecological interface design. *International Journal Man-Machine studies*, 31, 517-534.
- Reverdy, T. (1999). L'écriture des procédures. In, Vinck D., *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation*, 145-163, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.

Richard, J.F. (1993). *Logique du fonctionnement et logique de l'utilisation*. Rapport de recherche, n° 202, INRIA, Roquencourt.

Sperandio J.C. (s/d) (1993). *L'ergonomie dans la conception de projets informatiques*. Toulouse, Octarès.

Terressac de, G., Chabaud C. (1990). Référentiel opératif commun et fiabilité. In Leplat, J., Terressac de, G., et coll., *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, 111 - 139. Marseille, Octarès éditions.

Vicente K. (1999). *Cognitive work analysis. Toward safe, production and healthy computer-based work*. London, Lawrence Erlbaum Assoc.

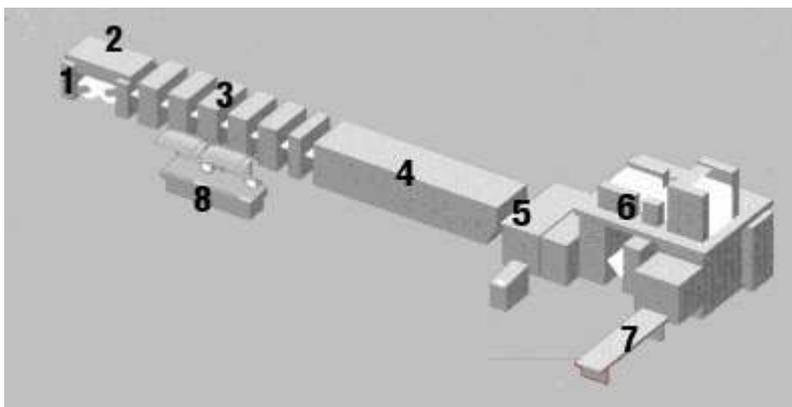
Wang, J., Ruxton, T. (1998). A design-for-safety methodology for large engineering systems. *Journal of Engineering Design*, 9, 2, 159-170.

Wolff, M., Burkhardt, J.M., De la Garza, C. (2004). Objectiver la notion de « point de vue » en conception : une approche par l'utilisation conjointe de l'analyse discursive et de l'analyse géométrique des données. *Le travail Humain (sous presse)*.

ANNEXES

Annexe 1

Schéma d'une ligne d'impression



1. bobine ou bobineau de papier
2. dérouleur / débiteur : le dérouleur permet l'entrée du papier et son déroulement de la bobine, le débiteur permet le réglage de la vitesse du débit du papier
3. groupes imprimants : les plaques d'impression sont installées dans les groupes et c'est là où l'impression est réalisée ; différents réglages manuels sont effectués lors de changements de production
4. sécheur : séchage du papier imprimé
5. refroidisseur : refroidissement du papier imprimé
6. plieuse : pliage et coupe des cahiers selon les besoins et les capacités des machines ; des modules peuvent être rajoutés pour le collage des cahiers ou des fonctions particulières. Différents réglages manuels sont aussi effectués à ce niveau-là lors de changements de production
7. équipements de finition, selon les configurations, on peut aboutir à un cahier rogné, collé, en paquets prêts à être transportés.

8. console ou pupitre de contrôle : sont réalisés différents réglages au niveau de la production, de la vitesse, de la quantité d'encre, des couleurs, etc.. Différents paramètres sont aussi contrôlés à ce niveau-là par la biais d'écrans (bourrages de papier, incident technique, etc.).

La plieuse comporte un module de coupe et, selon les caractéristiques de la machine, des combinaisons de plis différents et un triangle permettant le guidage du papier vers l'intérieur de la machine. Les produits coupés et pliés sortent sur des modules de réception variables. Les opérations de changement de pli sont automatiques et peuvent être réalisées de façon simultanée avec celles de changement de plaques avec l'autoplate. Toutefois, le réglage des plis nécessite dans la plupart des cas des réglages manuels directement sur la plieuse.

L'autoplate est un système qui permet le changement automatique en montage et/ou en démontage de plaques d'impression des groupes imprimants. Une rotative comprend généralement quatre groupes imprimants constitués chacun de deux systèmes autoplate (recto-verso). Théoriquement l'opérateur place une nouvelle plaque d'impression sur un présentoir prévu à cet effet, ferme les carters de protection, commande au pupitre ou par bouton poussoir au niveau de chaque groupe le lancement de la séquence, puis à la fin il retire la plaque usagée. Ce système est censé éviter le changement manuel des plaques et accélérer ainsi le processus.

NOTES

1. Les normes européennes deviennent de plus en plus la seule référence ; le lecteur peut se référer, par exemple, aux normes EN1010 sur les prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier², en vigueur depuis 1998 et la EN 614-5 sur l'intégration de la sécurité en conception de machines. En outre, la législation en France tend à préconiser l'intégration de la sécurité dès la conception des situations de travail cf. par exemple, le décret de novembre 2001, suivi de la circulaire n° 6 DRT du 18 avril 2002, qui préconisent une analyse des risques pour tout poste et situation de travail.

RÉSUMÉS

Cette étude se situe dans le domaine de la conception d'équipements de travail et, a pour but, d'identifier les modalités effectives d'intégration de la sécurité. L'analyse de l'activité de conception met en évidence deux types de voies d'intégration de la sécurité : des « voies directes » et des « voies indirectes ». Les premières renvoient aux aspects normatifs et réglementaires, les deuxièmes à des connaissances individuelles explicites ou implicites sur les usages réels des équipements. La comparaison de deux projets de conception en phase d'essais dans deux bureaux d'étude distincts montre une intégration différente de la sécurité. Dans un cas, l'adhésion est purement normative et émane d'une logique de fonctionnement. Dans l'autre, une logique d'usage favorise la prise en compte de certaines opérations de production et de maintenance dans les choix de conception. Toutefois, dans les deux cas, ces modalités

d'intégration de la sécurité ne couvrent qu'une partie de la prévention en amont et ne sont pas systématiques. L'intégration de la sécurité apparaît plus comme une contrainte que comme un atout et n'est pas intégrée dans les cahiers des charges au même titre que les critères techniques fonctionnels et les objectifs de performance. Elle vient se greffer au cours du processus de conception de façon non systématique. Des lacunes au niveau de la sécurité vont alors favoriser la migration du système lors de l'exploitation vers des zones moins certaines et conduire à des accidents ou à des activités limites tolérées à l'usage.

This study is in the field of work equipment design. The aim was to identify effective methods of integrating safety. Two types of integration were identified in the activity analysis: « direct means » and « indirect means ». The first relates to normative and regulatory aspects and the second to explicit or implicit individual knowledge about the actual use of the equipment. Comparison of two design projects during the testing phase in two different design companies shows a different integration of safety. In the first case, only direct ways existed, linked to a functioning logic. In the second case, utilization logic is involved in certain production and maintenance operations being considered in the design choices. Nevertheless, in both cases, these safety integration methods cover only part of upstream prevention and are not systematic. Safety integration appears more as an obligation than as an investment and is not integrated into the specifications with the same status as technical performance criteria and performance objectives. It is included during the design process in a nonsystematic way. Deficiencies in safety will then promote system migration during operation towards less certain areas and lead to accidents or to boundary activities tolerated with use.

El dominio de este estudio es la concepción de equipos de trabajo y su objetivo es identificar las modalidades efectivas de integración de la seguridad. El análisis de la actividad de diseño pone de relieve dos vías de integración de la seguridad: « vías directas » y « vías indirectas ». Las primeras tratan de los aspectos normativos y regulatorios, las segundas de conocimientos individuales explícitos sobre el uso real de los equipos. La comparación de dos proyectos de diseño en fase de prueba en dos laboratorios de investigación distintos demuestra una integración diferente de la seguridad. En un caso, la adhesión es puramente normativa, mientras que en la otra, una lógica de uso favorece la consideración de ciertas operaciones de producción y de mantenimiento en las opciones de diseño. Sin embargo, en ambos casos, estas modalidades de integración de la seguridad sólo cubren una parte de la prevención proactiva y no son sistemáticas. La integración de la seguridad aparece más como una coacción que como una ventaja y no se la integra en los pliegos de condiciones como los criterios técnicos funcionales y los objetivos de rendimiento. Se añade a lo largo del proceso de concepción de manera no sistemática. Deficiencias al nivel de la seguridad van a favorecer la migración del sistema durante la explotación hacia zonas menos ciertas y conducir a accidentes o a actividades límites toleradas al uso.

INDEX

Mots-clés : conception, sécurité intégrée, prévention, analyse cognitive, activité, conditions limites

Palabras claves : concepción, seguridad integrada, prevención, análisis cognitiva, actividad, condiciones límites

Keywords : design, prevention, cognitive analysis, activity, limited conditions

AUTEUR

CÉCILIA DE LA GARZA

cecilia.de-la-garza-corona@univ-paris5.fr, Université René Descartes, Laboratoire d'Ergonomie Informatique, 45, rue des Saints-Pères, 75006 Paris, France