

CONGRÈS

COMPTE RENDU

SIAS 2003 3^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE

Sécurité des systèmes industriels automatisés

Après les deux premières éditions qui se sont déroulées respectivement à Montréal en 1999 et à Bonn en 2001, c'est en France, à Nancy, que s'est tenue, du 13 au 15 octobre 2003, la 3^e conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés. Cette conférence a été organisée par l'INRS en coopération avec le BIA⁽¹⁾ en Allemagne, le HSE⁽²⁾ au Royaume-Uni, l'IRSST⁽³⁾ au Canada, et avec le soutien des comités « Recherche » et « Machines » de l'AISS⁽⁴⁾, représentés dans le Comité scientifique respectivement par le CIOP⁽⁵⁾ en Pologne et la SUVA⁽⁶⁾ en Suisse.

Cette troisième édition, en chiffres, a compté près de 200 participants de 14 pays, a fait l'objet de 36 communications orales (regroupées en 8 sessions thématiques), 2 ateliers thématiques, 16 communications affichées, et a rassemblé 11 exposants industriels.

Lors de ces rencontres, des spécialistes en prévention des risques professionnels, aux côtés d'acteurs du milieu industriel et de la recherche académique, concepteurs, utilisateurs, formateurs ou experts de ces systèmes industriels, ont eu l'occasion de découvrir les dernières avancées sur les plans conceptuel, méthodologique ou technique.

Les présentations faites ici rendent essentiellement compte des exposés relatifs aux sessions de communications orales.

Comme l'a rappelé J.-L. MARIÉ, directeur général de l'INRS, dans son allocution d'ouverture, les risques liés aux systèmes industriels automatisés surviennent majoritairement lors d'opérations de maintenance et d'entretien, de réglage ou de récupération d'incidents de production. Ces conditions d'exploitation sont encore insuffisamment prises en compte par manque de méthodes, de moyens et d'outils adaptés. Une réflexion doit s'engager sur ces modes d'intervention où les interactions Homme-système sont difficiles à appréhender.

En référence à cette analyse, J. CICCOTELLI, président du comité scientifique de la conférence, précisait, dans son discours de bienvenue, qu'au-delà des thèmes traditionnellement abordés, cette édition mettait un accent parti-

culier sur deux thèmes : la « sécurité fonctionnelle » d'une part, l'étude des interactions homme-machine et la prise en compte des facteurs humains dans la prévention des risques liés à ces systèmes d'autre part.

Session 1 : Appréciation du risque

► Présidée par : R. BOESCH (SUVA, Suisse) et J.-J. PAQUES (IRSST, Canada)

Quatre communications ont été présentées dans cette session :

- **Sécurité intégrée en conception** par D. SMITH (Honda of Canada Manufacturing, Canada),
- **Conception sécurité des machines et équipements de travail – Les points «clés» de la démarche** par J. GILLOT (CRAMIF, France),

13-15 octobre 2003
Nancy (France)

► par : J.-C. Blaise, P. Charpentier, R. Klein, P. Lamy, J. Marsot, D. Pagliero, Département Ingénierie des équipements de travail, INRS, Centre de Lorraine

► E. Fadier, Département Homme au travail, INRS, Centre de Lorraine

► et coordonné par : J. Ciccotelli, Département Ingénierie des équipements de travail, INRS, Centre de Lorraine

- (1) BIA : Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
- (2) HSE : Health and Safety Executive
- (3) IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail
- (4) AISS : Association internationale de la sécurité sociale
- (5) CIOP : Institut central pour la protection du travail
- (6) SUVA : Schweizerische Unfallversicherungsanstalt

- **Une méthode pratique pour l'appréciation du risque machine et la révision de l'ISO 14121** par N. WORSELL (HSL, Royaume-Uni),

- **Une méthode pour affecter les niveaux d'intégrité de sécurité issue de la CEI 62061** par N. WORSELL (HSL, Royaume-Uni),

Une cinquième communication a été introduite brièvement par N. WORSELL en l'absence de son auteur :

- **Relation entre le risque machine et l'exposition au risque des personnes durant le fonctionnement** de M. CHARLWOOD (Innovation Electronics Ltd, Royaume-Uni).

Le premier exposé concernait les expériences pratiques de l'auteur dans le domaine de la gestion du risque. Le secteur d'application de ces travaux intéresse plus particulièrement le produit « Honda Civic » fabriqué sur des lignes automatisées (presses et robots). L'auteur a mis l'accent sur la nécessité de mettre en œuvre une politique de management du risque consistant en la constitution d'une équipe projet sur l'appréciation du risque et la mise en œuvre de solutions de réduction du risque. La méthode d'appréciation du risque utilisée se fonde sur des matrices de quantification qui sont fonction de la probabilité d'occurrence, de la fréquence d'exposition et du dommage encouru. Ces matrices, qui permettent de quantifier un risque croissant de 1 à 25, sont maîtrisées par le personnel et utilisables via un logiciel. À noter que seuls les risques supérieurs à 15 font l'objet de solutions de réduction du risque (élimination de celui-ci, protection ou formation du personnel). Un exemple de protection a été présenté pour les zones d'évolution de robots en vitesse réduite lors des phases d'apprentissage.

Plusieurs questions ont été soulevées à la suite de cet exposé, notamment concernant la limitation de vitesse du robot gérée par logiciel, les éventuels écarts quant aux résultats de quantification du risque et le seuil de 16 pour la prise en compte du risque.

Le deuxième exposé traitait des différents points clés d'une démarche de conception sûre, illustrée par diverses expériences de l'auteur (CRAMIF). Celui-ci a noté l'importance d'avoir une vue globale du poste de travail, c'est-à-dire de la machine et de son environnement. Il a commencé son exposé en faisant le constat que, bien souvent, le dispositif de protection est incomplet, contourné ou défaillant, voire tout simplement absent. Il a ensuite expliqué que cet état de fait

résulte d'une mauvaise analyse des risques, d'une sensibilisation à la sécurité insuffisante, d'une adaptation inappropriée de dispositifs non spécifiquement développés pour leur application et surtout d'une méconnaissance des activités réelles du système. Pour pallier ces insuffisances, l'auteur a préconisé une approche fondée sur la prise en compte de différents « points clés » de sécurité à respecter lors de la conception.

Le troisième exposé présentait une méthode pratique d'estimation du risque. Cette méthode repose à la fois sur la méthode préconisée par la norme ISO 14121 (EN 1050) concernant l'estimation du risque et sur celle proposée par la norme ISO 12100 (EN 292) concernant la réduction du risque. Comme lors du premier exposé, l'auteur a insisté sur la nécessité de travailler en équipe et de définir clairement le domaine et les objectifs du projet. La méthode exposée se veut globale ; elle couvre l'estimation des risques et propose une hiérarchisation des mesures de réduction à mettre en œuvre, en s'appuyant sur les normes appropriées et les « bonnes pratiques ». L'ensemble des informations relatives aux risques et les mesures associées sont capitalisées via des fiches de renseignements.

Le quatrième exposé, présenté également par N. WORSELL, avait pour sujet une méthodologie d'affectation de SIL (Safety Integrity Level – Niveau d'intégrité de sécurité) selon la norme IEC 62061. Le but de ces travaux est d'insérer cette méthode d'affectation de SIL dans le processus d'estimation du risque. Après une présentation des normes CEI 61508 et CDV CEI 62061, la difficulté d'appliquer ces normes pour les PME a été soulignée. Cet exposé s'inscrit dans la continuité du précédent ; en effet, une analyse du risque doit être faite et l'application d'un SRECS (Safety-Related Electronic Control System – Système de commande électronique relatif à la sécurité) est une mesure possible de réduction du risque. En cas de réalisation d'un SRECS, les éventuelles défaillances de ce système doivent être prises en compte et un SIL doit alors lui être affecté. Comme précédemment, il est proposé d'intégrer dans la réflexion les personnes impliquées, pour chacune des fonctions de sécurité réalisées par le SRECS. La réflexion porte sur l'analyse des utilisations prévues, les différentes activités, les utilisateurs potentiels et les conséquences de défaillances éventuelles. Un formulaire comprenant les différents critères d'évaluation du SIL est renseigné

pour chacune des fonctions de sécurité réalisée par le SRECS.

La cinquième communication s'inscrivait dans la continuité des deux précédentes ; elle n'a toutefois pas été présentée du fait de l'absence de son auteur. Elle met l'accent sur la sous-estimation de l'exposition au risque du personnel de maintenance. En effet, contrairement aux opérateurs qui sont généralement affectés à une machine, le personnel de maintenance est exposé aux risques de l'ensemble du parc machine. De plus, les risques encourus par le personnel de maintenance sont trop souvent considérés comme insignifiants en comparaison des risques auxquels sont exposés les opérateurs de production. L'auteur estime que la méthodologie proposée par l'annexe A de la CEI 62061, et donc celle présentée dans les deux exposés précédents, est un apport à la prise en compte du risque grâce à son approche globale.

Session 2 : Applications pratiques

► Session animée par M. SCHAEFFER (BIA, Allemagne) et M. DZWIAREK (CIOP, Pologne)

Cinq communications ont été présentées durant cette session :

- **Approche au niveau du système de la gestion du risque lié à la sécurité des applications de machines téléopérées** par R. TUISANEN (VTT Industrial Systems, Finlande),

- **Initiatives aux États-Unis pour la protection contre les dangers liés à l'énergie** par J. FRYMAN (RIA, USA),

- **Accidents causés par la défaillance de composants de sécurité** par J. VILLARD (SUVA Section SRM, Suisse),

- **Intégration des fonctions de sécurité dans des applications automatisées** par B. MYSLIWIEC (Siemens AG, Allemagne),

- **Bloc logique de sécurité multifonctionnel configurable par logiciel** par K. MICKOLEIT (Schneider Electric, Allemagne).

Elles ont porté à la fois sur les méthodologies d'évaluation du risque, les problèmes de consignation d'une machine et sur la mise en œuvre de dispositifs de sécurité.

R. TUISANEN a tout d'abord montré l'importance du niveau des risques à travers une analyse HAZOP (analyse des risques du cas étudié) d'un système de communication sans fil dans une application automatisée. Il a ensuite souligné

qu'il est important, au démarrage d'un projet de conception, d'une part, de bien spécifier les exigences et les besoins, d'autre part, de connaître l'ensemble du système, notamment tous les modes de fonctionnement.

Le second conférencier, J. FRYMAN, a traité le problème de consignation et en particulier celui de l'isolation des énergies électriques. Au travers de l'évolution des normes, il a montré que l'isolation totale de l'énergie n'est peut être pas la solution idéale pour maintenir une machine à l'arrêt. Dans certains cas, inhiber seulement les énergies dangereuses est une des solutions. Il a ensuite rappelé que la consignation doit prendre en compte « un triplet » : la machine, l'équipement et le process. Il note, entre autres, que les fabricants doivent fournir des moyens de protection hiérarchisés afin d'éliminer ou réduire l'énergie à chaque type d'intervention (entretien, maintenance, réglage, etc.)

J. VILLARD a ensuite abordé le sujet de la défaillance des composants de sécurité. Dans ce contexte, il a rappelé que la sécurité des personnes ne peut être confiée à un seul composant de sécurité. Citant quatre exemples rencontrés sur le terrain, il a ensuite démontré les conséquences que peuvent avoir de telles situations dangereuses, notamment sur la sécurité des opérateurs. Pour éviter une situation dangereuse, et ce fut sa conclusion, il a préconisé d'une part de mettre en œuvre le principe de la redondance (application de la grille de la norme EN 954-1), d'autre part d'appliquer le principe de la diversité comme, par exemple, l'installation de deux contacts sur un organe de commande, l'un à l'ouverture, l'autre à la fermeture.

B. MYSLIWIEC a quant à lui exposé, au nom de la société Siemens, le concept de « safety integrated ». Le principe de ce concept est de fournir, dans un projet, l'ensemble des éléments de la chaîne de sécurité. Cette intégration globale autorise l'utilisation d'un seul logiciel pour tous les éléments de la chaîne de sécurité. Les innovations récentes ont amené les concepteurs à gérer les fonctions de sécurité au plus près des risques. Pour répondre à cette attente, sont apparus, dès l'année 1999, des moyens de communications tels que les bus de sécurité ASI-Safety at Work et Profisafe, qui ont permis de décentraliser les entrées et sorties du système. La mise en œuvre de ces bus de sécurité a nécessité des modifications des matériels et des logiciels ; il en résulte une confusion entre les fonctions standard et celles de sécurité. En conclusion, la société Siemens propose aujourd'hui,

outre de différencier les fonctions standard des fonctions de sécurité, de réduire les coûts afin de couvrir une plus large part des applications de sécurité.

Le dernier conférencier de cette session, K. MICKOLEIT, a présenté un bloc logique de sécurité programmable (de catégorie 4 selon EN 954-1), de type « Préventa », développé par la société Schneider. Il a montré les avantages apportés par ce type de matériel, en regard de la logique câblée. À titre d'exemples, citons : la capacité de traitement de 16 ou 32 entrées, l'autodiagnostic de fonctionnement, la compatibilité avec le système d'exploitation Windows, le téléchargement du programme, etc.

Ce bloc logique de sécurité est un intermédiaire entre les relais de sécurité et les automates programmables de sécurité. K. MICKOLEIT a ensuite démontré que, à partir de 10 entrées, il est plus rentable que les logiques câblées ou relais de sécurité ; il a même ajouté qu'un bloc logique de sécurité permet d'éviter les erreurs de câblage.

Session 3 : Interactions Homme-machine

► Session animée par P. MILLOT (LAMIH, France) et E. FADIER (INRS, France)

Cette session comprenait cinq communications orales :

- **Interface Homme-machine versus interaction Homme-machine pour la sécurité des systèmes automatisés** par P. MILLOT (LAMIH, France),
- **Développement d'une méthodologie de sécurité intégrée pour la conception optimale de systèmes Homme-machine** par S. SHIMIZU (National Institute of Industrial Safety, Japon),
- **Optimisation ergonomique des systèmes de commande manuels** par J. SLOWIKOWSKI (CIOP, Pologne),
- **Réalité augmentée – un nouveau type d'indicateur de situation dangereuse** par M. DZWIAREK (CIOP, Pologne),
- **Un guide d'utilisation innovant pour les systèmes complexes de sécurité** par E. BRUN (BIA, Allemagne).

L'exposé introductif de P. MILLOT a d'abord fait état de la diversité des définitions du terme « interfaces » et surtout de la diversité d'usage de cette notion. Il a ensuite tenté de clarifier la différence entre « interface Homme-machine » et « interaction Homme-machine ». L'interface est la partie immergée de l'iceberg ; c'est la partie physique conçue à partir des cahiers des charges et des normes techniques. L'interaction Homme-machine englobe le

reste : ce qui n'est pas toujours pensé à la conception, qui prend forme lors du fonctionnement et qui est en grande partie conditionné non seulement par les interfaces conçues, mais aussi par la variabilité humaine et celle des situations de travail. Cet exposé s'est ensuite focalisé sur les paramètres influençant la sécurité des systèmes automatisés et qui sont liés à l'interaction : degré d'automation, complexité de système, complexité humaine. La conclusion de cet exposé a insisté sur la nécessité de prolonger l'interaction Homme-machine vers la coopération Homme-machine.

Les exposés suivants étaient des cas d'applications centrés sur la conception des divers types d'interfaces. Ainsi, S. SHIMIZU (NIIS, Japon) a développé une méthodologie de sécurité intégrée pour la conception optimale de systèmes Homme-machine. J. SLOWIKOWSKI (CIOP, Pologne) a présenté les résultats d'une étude expérimentale permettant une optimisation ergonomique de système de commande manuel. Son confrère, M. DZWIAREK (CIOP, Pologne), s'est concentré sur l'identification des indicateurs capables de déceler une situation dangereuse. Il a pour cela eu recours à un dispositif basé sur une technique de réalité augmentée (projection d'images de synthèse sur des lunettes). Le dernier exposé oral de cette session, mené par E. BRUN (BIA, Allemagne), présentait un nouveau guide d'utilisation innovant pour les systèmes complexes de sécurité. Cette présentation a mis en exergue les pièges à éviter et les difficultés liées à la conception de ce nouveau guide.

À cette session orale étaient associées six communications affichées (posters) qui couvraient les thématiques suivantes : les expérimentations utilisant la réalité virtuelle, le rôle des facteurs humains dans la prévention des accidents, la conception ergonomique d'interfaces.

L'atelier thématique « facteurs humains et interactions Homme-machine »

Cette session comprenait également un atelier thématique. Celui-ci était à l'initiative du nouveau groupe de travail du comité recherche de l'AISS, portant sa réflexion sur « la prévention des risques par l'intégration des facteurs humains dans la conception des systèmes de travail ». L'atelier a rassemblé une vingtaine de participants.

L'animateur, E. FADIER, a rappelé, en introduction, quelques postulats rela-

tifs au domaine de la conception. Il a posé des questions fondamentales structurant les préoccupations des concepteurs et des préventeurs. Il a ensuite décliné un certain nombre d'orientations visant à appliquer une politique de conception qui dépasse le cadre de la démarche normative et réglementaire de la santé-sécurité au travail.

C. DE LA GARZA (LEI, France), au cours du deuxième exposé « plus applicatif », a présenté les résultats d'une analyse cognitive de l'intégration de la sécurité dans la conception des rotatives d'imprimerie. Elle a relevé les points forts de cette démarche d'intégration, soit une démarche de sécurité supportée par un collectif de concepteurs, enrichissant l'apport "des normes ; elle a aussi mis en exergue les points faibles, les obstacles et les difficultés rencontrés par ce collectif, notamment :

- l'écart important entre le système conçu et le système utilisé dans une réalité industrielle (des migrations lors de l'implantation sur site, des contraintes opérationnelles obligeant les opérateurs à agir autrement, une confusion entre une solution de sécurité inadaptée et une bonne fonction de sécurité, etc.).

- le retour d'expérience restreint, centré uniquement sur les accidents graves.

La discussion qui s'ensuit a porté sur deux points :

- Le retour d'expérience – Quelles sont les données utiles au concepteur ? Comment collecter ces données ? Avec quels outils ? Enfin, comment les structurer pour que les concepteurs puissent les exploiter ?

- L'apport et l'ambiguïté des normes – Comment dépasser la démarche normative fondée sur une prescription de moyens ? Comment atteindre les exigences et l'obligation de résultats découlant de la nouvelle approche ?

Session 4 : Sécurité fonctionnelle (introduction)

Cette session introductive, animée par R. WARD (HSE, Royaume-Uni) et P. CHARPENTIER (INRS, France), a fourni l'état actuel des différents référentiels normatifs dans le domaine de la sécurité des systèmes de commande des machines. Trois communications y ont été présentées :

- **Introduction à la sécurité fonctionnelle – Evolutions** par P. CHARPENTIER (INRS, France),

- **CEI 62061 : Une méthode pour la sécurité fonctionnelle des systèmes de**

commande de machines relatifs à la sécurité à technologies électrique, électronique et électronique programmable par S. FROST (HSE, Royaume-Uni),

- **EN 954-1 : Conception des parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité** par M. SCHAEFER (BIA, Allemagne).

L'exposé de P. CHARPENTIER a donné un aperçu des différentes normes (EN 954-1, CEI 61508 et CDV CEI 62061) traitant de la sécurité fonctionnelle des systèmes de commande de machines. Il a montré les liens qui pouvaient exister entre ces trois normes et a mis en évidence un certain nombre de questions relatives à leur utilisation.

Dans sa présentation S. FROST, animateur du groupe TC 44 WG7 de la CEI chargé de la rédaction de la norme CEI 62061, a exposé les principales caractéristiques de la version CDV (Committee Draft for Vote) de ce référentiel. L'approche globale de cette norme, qui traite la sécurité fonctionnelle des systèmes électriques complexes tout au long du cycle de vie, a notamment été mise en exergue. L'accent a aussi été mis sur l'approche quantitative, qui démarque ce projet des approches habituelles en sécurité des machines.

La troisième communication fut faite par M. SCHAEFER du BIA. Elle a montré les évolutions qui ont marqué la révision de la norme EN 954-1, notamment l'introduction de la notion de niveau de performance (intermédiaire entre l'analyse de risque et le choix d'une catégorie) ainsi que l'approche quantitative pour déterminer la catégorie associée au système de commande.

Session 5 : Sécurité fonctionnelle (méthodes et outils)

Cette session, animée également par R. WARD (HSE, Royaume-Uni) et P. CHARPENTIER (INRS, France), s'inscrivait dans la continuité de la précédente en exposant le « matériel » normatif relatif à la sécurité des systèmes de commande de machine.

Au programme, quatre présentations : deux portant sur les aspects matériels et deux sur les aspects logiciels :

- **Analyse par l'arbre des fautes et calcul de taux de défaillance dans le domaine des machines** par T. MALM (VTT Industrial Systems, Finlande),

- **Systèmes de commande conventionnel et électronique utilisés pour les**

machines d'emballage et agro-alimentaire par K. WICKERT (BGN, Allemagne),

- **Retour d'expérience concernant la méthodologie de développement du logiciel applicatif de systèmes électroniques programmables** par P. LAMY (INRS, France),

- **Développement de métriques pour le logiciel relatif à la sécurité des machines** par M. KRELL et N. JUNG (University of Applied Sciences Fachhochschule, Allemagne).

En ce qui concerne l'aspect matériel, T. MALM du VTT, organisme finlandais qui s'est préoccupé de comparer les probabilités de défaillances dangereuses d'un système calculées à l'aide de bases de données différentes, rapporte que les travaux mettent en évidence une influence importante du choix de la base sur les résultats, ces derniers pouvant varier d'un facteur multiplicatif 100. Malgré ce constat, les auteurs se sont gardés de conclure et de proposer une base adaptée à la sécurité des machines.

Dans la seconde communication, K. WICKERT du BG allemand de Mannheim a fait état de travaux comparant les performances de sécurité atteintes par des technologies électromécaniques et électroniques programmables. Les calculs de probabilité de défaillances dangereuses montrent que des niveaux de sécurité similaires peuvent être obtenus.

En ce qui concerne l'aspect logiciel, P. LAMY de l'INRS a tout d'abord présenté un retour d'expérience concernant les méthodologies de développement du logiciel applicatif. Une enquête auprès de concepteurs issus de bureaux d'études de taille variable montre qu'il existe le plus souvent un écart sensible entre ce qui peut être prescrit dans les normes (par exemple dans le projet CDV CEI 62061) et les pratiques industrielles. Cet écart se fait notamment sentir au niveau de la documentation produite, ce qui peut entraver non seulement les modifications éventuelles du logiciel, mais également la gestion de la configuration et la réalisation des tests destinés à valider l'ensemble de l'application.

N. JUNG et M. KRELL, universitaires allemands, ont quant à eux fait état de travaux communs avec le BIA sur le développement de métriques applicables aux logiciels de sécurité en machine. Il s'agissait de travailler sur un certain nombre d'indicateurs quantitatifs représentatifs de la qualité de conception d'un logiciel (nombre de boucles, structuration, ...). L'analyse d'un grand nombre de

logiciels développés depuis plus de dix ans leur a permis de définir des bornes adaptées aux logiciels destinés à être intégrés dans des applications de sécurité des machines.

Six communications affichées complétaient les quatre communications orales de cette session. Elles concernaient principalement les aspects commande de machines à base de systèmes programmables.

L'atelier thématique « Sécurité fonctionnelle »

En introduction à cet atelier, la présentation de J.-J. PAQUES portait sur l'état de la sécurité fonctionnelle au Canada. Il y notait une certaine confusion des genres en Europe, en particulier dans les champs d'application des normes CDV CEI 62061 et ISO 13849-1 (référence ISO de la norme EN 954-1). Ce flou joint aux problèmes de compatibilité avec les référentiels en vigueur au Canada et la difficulté d'estimer la valeur ajoutée de ces normes explique certainement leur faible impact au Canada.

De la discussion qui a suivi cet exposé, on peut dégager que :

- La CEI 61508, norme générique traitant de la sécurité fonctionnelle, est réservée aux constructeurs de sous-systèmes à composants complexes, comme les Automates programmables industriels dédiés à la sécurité.

- La possibilité offerte par le CDV 62061 d'intégrer des sous-systèmes développés avec la EN 954-1 est un début de réponse à l'interfaçage entre les normes évoquées précédemment.

- Il reste des points à clarifier entre experts, en particulier l'estimation des différents paramètres de calcul des probabilités de défaillances dangereuses.

Compte tenu de la complexité des problèmes induits par l'introduction des composants électroniques complexes en sécurité des machines, l'ensemble des participants s'accorde à dire qu'il est impératif de poursuivre les échanges, en particulier au niveau des experts chargés de la rédaction des normes.

Session 6 : Communication de systèmes sûrs

► Session animée par T. BÖMER (BIA, Allemagne) et J.-F. AUBRY (CRAN, France)

Cette session comprenait quatre communications :

- **Innovation en sécurité robotique** par M. BRINKMANN (SafetyBUS p Club Int., Allemagne),

- **Étude de faisabilité d'une télécommande radio avec fonction de validation pour robots industriels** par H. IKEDA (National Institute of Industrial Safety, Japon),

- **Système distribué de commande électrique relatif à la sécurité** par J. HERARD (Swedish National Testing and Research Institute, Suède),

- **Un outil d'analyse de la sécurité pour un système distribué de commande de machines** par M. HIETIKKO (VTT Industrial Systems, Finlande).

Après un bref rappel de l'évolution du club « SafetyBUS p », la première présentation de cette session a porté sur les dernières évolutions du bus de communication de sécurité « Safety BUS p » et notamment sur une passerelle spécifiquement développée pour la robotique. Avec cette passerelle, le robot ne se contente plus de transmettre des informations de sécurité sur un réseau de sécurité, il devient un élément à part entière du réseau de communication.

Selon l'auteur, les avantages de cette passerelle sont :

- un nouveau gain en termes de câblage par rapport aux architectures distribuées actuelles,
- une simplification des procédures de test du fait d'un accès direct aux fonctions de sécurité et de diagnostic du robot.

D'autres évolutions ont également été présentées au cours de cette communication, telles un variateur de vitesse « de sécurité » pouvant être connecté au réseau « SafetyBUS p » ou encore des modules d'interface entre ce réseau et des systèmes de transmission par ondes radio.

La communication suivante, toujours dans le domaine de la robotique, a justifié l'intérêt d'utiliser une poignée de validation à trois positions lors d'opérations de maintenance, par exemple. En effet, une analyse d'activité faite sur 25 sujets a montré qu'en cas de situation accidentelle, un sujet relâchait la poignée alors que les 24 autres exerçaient une pression plus importante. Cette communication a également mis en évidence les avantages potentiels d'un dispositif de validation avec transmission des informations par ondes radio (sans fil) par rapport aux poignées actuelles (diminution du risque de chute, maniabilité améliorée, etc.).

La troisième communication était relative à la conception d'un système de commande distribué de sécurité. Après un rappel des principales caractéristiques d'un tel système, les différentes erreurs et

les techniques de détection associées ont été présentées, et ce tant au niveau du bus de transmission, du protocole, des nœuds de connexion que du système.

Dans la continuité de cette présentation, la dernière communication portait sur la présentation d'un outil de documentation et d'analyse des bus de sécurité. Cet outil logiciel est basé sur la méthode d'analyse HAZOP (HAZard an Operability study) et est développé sous Microsoft ACCESS.

Cet outil, qui est encore en phase de développement dans le cadre d'un projet finlandais dénommé KETU, devrait, à terme, présenter comme principal avantage de regrouper sur une base de données unique tous les renseignements utiles relatifs au bus de sécurité et à sa validation (causes potentielles de défaillances, de leurs conséquences, des méthodes de détection, des actions correctives, etc.).

En lien avec cette session, deux posters étaient présentés. Le premier, relatif au bus de sécurité « SafetyBUS p » et aux avantages offerts par ce type de technologie dans la conception et la réalisation de systèmes de commande de lignes automatisées (ligne de presse, enceintes robotisées), était proposé par la société Pilz GmbH. Le second, présenté par le BIA, montrait l'intérêt d'un système sans fil pour le déverrouillage des charges sur une grue.

Session 7 : Dispositifs de protection innovants

► Session animée par J. FRYMAN (RIA, USA) et R. BOURBONNIERE (IRSST, Canada)

Cette session comprenait quatre exposés :

- **Dispositifs de protection par vision - Une vision qui devient réalité** par T. BÖMER (BIA, Allemagne),

- **Détection de personnes en zones dangereuses** par F. GARDEUX (INRS, France),

- **Dispositif de détection de doigt sans contact, pour scies circulaires** par D. REINERT (BIA, Allemagne),

- **Système de protection électromagnétique contre les accidents aux points d'accès des machines dangereuses** par K. UTTLER (Société U-Tech, Allemagne).

Ces communications ont porté d'une part sur la détection de personnes par vision, actuellement au stade d'étude, voire d'investigation, et, d'autre part, sur un dispositif de détection par onde électromagnétique exploité depuis peu.

Le principe de la vision, utilisé depuis deux décennies dans l'industrie pour la reconnaissance d'objets, s'oriente maintenant également vers des applications relatives à la sécurité. Il permet soit de détecter une personne se trouvant dans une zone dangereuse déterminée, soit d'apprécier la distance qui sépare une personne d'une machine fixe ou mobile. La vision permet de répondre à des préoccupations concernant l'extension souhaitée de la zone de détection, la multiplicité de ces zones, la distinction homme/matériau, la possibilité d'observer les scénarios d'arrêt, l'inhibition temporaire du système de sécurité et l'aspect économique.

Cependant le développement de la vision dans le domaine de la sécurité nécessite tout d'abord de se baser sur les scénarios les plus pessimistes, par exemple la présence de perturbations lumineuses et d'ombres, une délimitation imprécise de la zone de détection souhaitée, une détection non sûre, etc. La communication consacrée au traitement du signal issu de la caméra, en tenant compte de ces contraintes, propose, dans un premier temps, d'utiliser une mire passive au sol, en supposant que cela devrait permettre une détection plus aisée. De nombreux algorithmes de traitement du signal ont été évalués à l'aide d'images dans le domaine du visible. Il en résulte que l'information de luminance à elle seule est insuffisante ; l'information fondée sur la couleur permet de limiter l'effet des perturbations mais souffre de certaines limitations. Un algorithme basé sur les informations de contour et de texture se révèle meilleur dans ce cas. L'évolution de ce principe de détection vise tout d'abord à s'affranchir de la mire et des perturbations lumineuses visibles. Cet objectif nécessite de s'orienter vers l'utilisation de caméras infrarouge et/ou de traitement en trois dimensions et de télémétrie.

La détection par vision a été expérimentée à l'aide d'un dispositif anticollision homme-machine et d'un autre permettant de distinguer une personne d'une série de matériaux préalablement classés selon leur texture et pouvant se trouver dans la zone à protéger. Une réalisation a montré que la vision permet à l'homme de travailler en coopération avec un robot manipulateur. Celui-ci s'adapte aux phases de manipulation de pièces par un opérateur. Une autre application de la vision pour la prévention des accidents sur les scies circulaires a été présentée. Il s'agit d'une détection sans contact avec la lame du doigt de l'opérateur. Ce principe de détection combine la vision des contours

dans le domaine visible et la vision dans l'infrarouge. Les positions des parties du corps humain concernées (épaule, région main-bras) sont analysées par vision et celles du doigt à l'aide de son rayonnement infrarouge. Les différentes configurations et caractéristiques du doigt ont été analysées et enregistrées ; la faisabilité a été démontrée à l'aide de réalisations. Cependant cette détection doit être améliorée en ce qui concerne son application sur les petites scies circulaires.

De nombreuses discussions ont suivi les présentations concernant la vision. Elles ont porté sur la normalisation dans ce domaine, la disponibilité d'un dispositif certifié, la participation des fabricants aux projets initiés. Des sujets plus techniques ont concerné l'étendue de la zone de détection, le niveau de sûreté, le temps de réponse.

La détection électromagnétique de personnes est actuellement une solution permettant de réduire le risque résiduel de certains équipements de travail pour lesquels les dispositifs classiques sont inopérants. À l'heure actuelle, ce mode de détection est essentiellement utilisé sur les convoyeurs de déchets recyclables et son installation se généralise. La personne à protéger porte un transpondeur qui est reconnu au passage d'une balise située en zone dangereuse. Les parties électroniques du dispositif présenté ont été validées en catégorie 2 selon la norme EN 954-1. Les préoccupations concernant le port du transpondeur, le niveau de sécurité du dispositif ainsi que les limitations dues aux types de déchets pouvant recouvrir la personne à protéger ont été évoqués lors des discussions. Bien qu'il ait été admis que ce type de détection soit actuellement la meilleure solution technique pour cette application, il ne doit pas conduire à la réduction des dispositions de prévention existantes.

Session 8 : Formation

► Session présidée par P. DOUCET (IRSST, Canada) et J. CICCOTELLI (INRS, France)

Quatre communications ont été présentées dans cette session :

- **Transfert de compétences : de l'expertise du chercheur vers la formation initiale des ingénieurs** par P. DOUCET (conférencier invité), University of Sherbrooke, Canada,
- **Un nouveau centre européen pour la sécurité des systèmes automatisés, un exemple de coopération**

réussie entre l'industrie et l'université par C. BELTRAMI (ENSAM, Centre de Metz, France),

- **Outils de formation et d'application pour améliorer la sécurité des machines** par R. BOURBONNIERE (IRSST, Canada),

- **Approches éducationnelles pour promouvoir et favoriser le transfert de compétence vers la formation en matière d'appréciation du risque et de systèmes de protection** par J. LANE (University of Sherbrooke, Canada).

P. DOUCET, en tant que conférencier invité, a introduit la session par un premier exposé. Au même titre que les troisième et quatrième communications, cet exposé se rattache à un même projet. L'ensemble du projet porte sur le transfert de compétences « Etudes et Recherche » vers la formation. Une formation (6 jours) issue de l'expertise de chercheurs a été proposée par l'IRSST aux inspecteurs de la CSST (Commission de santé et sécurité au travail) au Canada ; le projet a consisté en un transfert de cette formation vers des instituts de formation initiale, en l'occurrence l'université de Sherbrooke. Une partie de la formation a été intégrée aux cours de conception de Systèmes Industriels Automatisés ; elle consiste en une sensibilisation à l'hygiène et sécurité et porte plus particulièrement sur l'analyse du risque ; elle est dispensée au travers de cours magistraux, exercices et mise en pratique dans une usine virtuelle (sur support multimédia). Une deuxième partie de la formation a été intégrée aux cours de mécatronique ; elle concerne la sécurité et les équipements de protection. Ces formations sont récentes mais montrent déjà des résultats encourageants qui permettent d'envisager le développement d'autres modules, notamment dans le cadre de la formation incluant des projets de conception.

Le troisième exposé, dans la suite du premier, concernait la présentation d'outils pratiques à destination principalement des inspecteurs CSST. Les problèmes d'intégration de la sécurité à la conception et d'identification des risques observés ont conduit à créer une formation des inspecteurs et à développer des outils de formation et de sensibilisation pratiques, tels que :

- des affichettes concises (p. ex. la maquette présentée au SIAS 1999 sur les dispositifs de protection),
- le sécurimètre (appareil permettant de mesurer les distances de sécurité à respecter),

- des pochettes contenant différentes fiches d'aide-mémoire (p. ex. l'estimation des risques).

Ces outils remportent un réel succès auprès des inspecteurs et tendent à être transférés vers la formation universitaire. À noter que d'autres outils sont en cours de développement, notamment en ce qui concerne la réduction du risque.

Le quatrième exposé, venant en complément du premier et du troisième, concernait cette fois les aspects pédagogiques du projet. Cet exposé a essentiellement mis l'accent sur l'importance de la définition des objectifs de formation, de la mise en œuvre de la stratégie de formation associée, ainsi que des outils de validation de la formation. L'auteur a souligné le respect des dix principes du paradigme d'apprentissage observés par la formation. Enfin, si des résultats positifs relatifs à la perception de la formation par les apprenants ont été présentés, il reste la difficulté de vérifier la bonne application sur le terrain par l'apprenant.

Le deuxième exposé présentait un nouveau centre européen pour la sécurité des systèmes automatisés : A3SI (Automatisation et simulation pour la sécurité des systèmes industriels). Ce centre est issu de la collaboration entre le CRAN (Centre de recherche en automatique de Nancy), l'ISI (Institut de sûreté industrielle), l'ENSAM (Ecole nationale supérieure d'arts et métiers) de Metz et la société SIEMENS. L'objectif de ce centre est d'organiser des journées techniques et d'accompagner les entreprises dans leurs démarches d'ingénierie des systèmes, plus particulièrement dans les domaines couverts par la norme CEI 61508, c'est-à-dire les systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables. Ce centre, qui a donc pour mission essentielle le transfert des actions de recherche et développement, est équipé de sept plates-formes de travail composées de ce jour des produits et concepts « Safety Integrated » de la société SIEMENS (cf. exposé de B. MYSLIEWIEC dans la session 2).

Au cours de cette session, la question de la formation a été abordée sous différents aspects. Le premier aspect concernait la formation initiale des ingénieurs en matière de sécurité et l'importance d'une bonne préparation de ces ingénieurs à la prise en compte de la sécurité lors de la conception des Systèmes Industriels Automatisés. Le deuxième aspect traité fut la formation de type conseil-expert pour la mise en œuvre concrète de la norme CEI 61508.

La formation continue et les différentes formes d'outils de sensibilisation et d'aide à l'apprentissage ont ensuite apporté la preuve des retombées concrètes de la recherche en matière de sécurité industrielle. Enfin, la présentation de Mme LANE, experte en pédagogie, portait un message d'importance : transmettre des connaissances est une chose, favoriser un apprentissage significatif en est une autre. Il faut user de stratégies et sortir du paradigme commun de l'enseignement ; divers moyens existent pour favoriser un apprentissage efficace, il suffit d'y croire et d'y recourir.

En conclusion, si l'on se réfère au triptyque classique de la recherche, de la formation et de la pratique, il importe de retenir que la formation est aussi un excellent moyen (pas le seul certes) de transférer les fruits de la recherche, parfois trop abstraits, à la pratique. Pour cette raison, la formation doit continuer à faire l'objet d'études et de débats au sein même de cette conférence.

Session de clôture - conclusion générale

Les différentes sessions de travail et ateliers ont permis de découvrir de nouveaux aspects de la sécurité des systèmes industriels et d'ouvrir des perspectives d'amélioration de la sécurité des personnes et des conditions de travail.

En session de clôture, R. KÖRBLER (AUVVA, Autriche), représentant le comité recherche de l'AISS, a livré un regard sur les évolutions et les voies d'amélioration à explorer. En voici les points majeurs :

- Dans les entreprises, les utilisateurs sont ceux qui connaissent le mieux les moyens d'exploitation, les matériaux employés et les technologies utilisées. Ils connaissent de fait les risques et les dangers potentiels dans l'entreprise. L'amélioration des situations potentiellement dangereuses ou polluantes doit donc se faire de préférence avec les intéressés.

- Tous les acteurs concernés par la prévention des risques, autorités, employeurs, employés et syndicats, ont développé ces dernières années de nouvelles approches et méthodes en matière de sécurité des personnes, mais leur mise en pratique demande encore des efforts considérables. L'importance économique de la sécurité du travail, tant du point de vue macroéconomique que de celui de l'entreprise est aujourd'hui reconnue de tous ; pourtant, les investissements en hygiène et sécurité du travail sont encore considérés comme des coûts à charge. Si

ces aspects ne sont plus sérieusement contestés, aujourd'hui encore, les questions de protection des employés ne sont pratiquement pas abordées dans les écoles et les universités, ou alors sous une forme très générale.

- La protection des employés traverse actuellement une phase de mutation rapide. La coopération entre les États membres a favorisé l'apparition d'un niveau minimal commun en matière de sécurité du travail au sein de la Communauté européenne, suscitant du même coup des élans politiques importants. Un réexamen de ces questions se justifie principalement par le fait que les modes de travail, les moyens d'exploitation et les matériaux ont fortement évolué ; les méthodes classiques ont atteint leurs limites. Dans le domaine de la sécurité des machines, le système de directives et de normes devrait être capable d'évoluer encore.

- Une approche globale intégrant l'hygiène et la sécurité dans les processus décisionnels commence à s'imposer ; l'intégration des différents domaines sous le vocable de « système de management » progresse. C'est naturellement l'occasion de réfléchir à des modifications des fondements juridiques, en adoptant le point de vue d'une responsabilité sociale globale et d'une politique de l'emploi. De nombreux aspects de la sécurité portent encore une image davantage liée à l'exercice d'une prudence exacerbée qu'à une action autodéterminée et récompensée par la réussite. C'est en parvenant à faire de l'hygiène et de la sécurité du travail des éléments de décision aux effets positifs sur les investissements que l'on créera des conditions favorables à une nouvelle évolution.

Préfigurant les préoccupations à venir et pouvant orienter les travaux futurs, ces éléments ont été complétés par une analyse exposée par J. CICCOTELLI (INRS, France) dans son allocution de clôture de la conférence.

Tout en rappelant que, durant les trente dernières années, en France, les accidents imputables aux machines ont été réduits de moitié, J. CICCOTELLI a mis l'accent sur la nécessité de ne pas baisser la garde et de faire face à la difficulté croissante d'anticiper et de prendre en compte les changements multiples qui surviennent :

- au niveau de la nature même du travail qui évolue vers des tâches à caractère cognitif,
- au niveau des entreprises, de leurs évolutions technologiques et économiques,
- au niveau des mentalités et de la perception sociétale du risque. Plus on

prend conscience du risque, plus on le comprend, moins on tolère les effets néfastes qu'il peut avoir sur la santé.

Si l'objectif reste toujours de réduire l'accident, d'éviter la maladie, il doit devenir plus ambitieux encore, c'est-à-dire favoriser les conditions qui concourent à un certain confort et un bien-être au travail.

En signalant que l'on se situait toujours dans une approche réductionniste de la prévention (chercher à éviter des accidents, des maladies...), J. CICCOTELLI a rappelé que la santé couvrait bien plus que cela et ne saurait se limiter à l'absence de dommages physiques.

Chercher un mieux-être au travail, c'est s'inscrire dans une approche constructiviste, porteuse d'immenses espoirs de progrès. Notre regard sur la sécurité des systèmes industriels automatisés devrait s'enrichir de cette dimension.

Dans cette optique, il faudrait :

- articuler davantage encore les approches issues des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines et sociales,
- porter un regard pluriel sur la causalité des événements et des situations indésirables,
- développer des outils comme la simulation pour anticiper les futures situations de travail.

Cela s'énonce en quelques mots, mais il s'agit, en fait, d'un véritable changement culturel, fondé sur de nouveaux modes de pensée et d'action.

À l'occasion des remerciements formulés à l'attention des personnes présentes : participants, intervenants et organisateurs, rendez-vous a été pris pour la prochaine conférence SIAS.