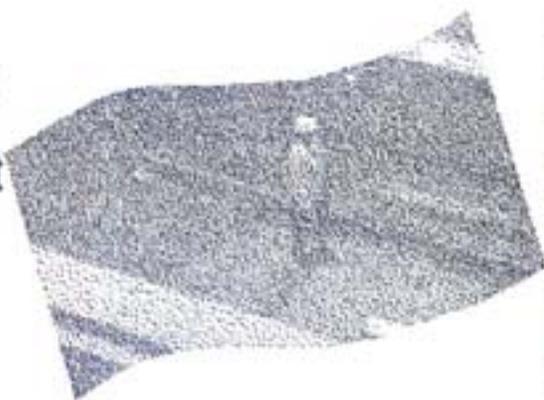


**Intégration de la sécurité
dès la conception des systèmes
de production dans l'industrie
papetière, par le développement
d'un programme de formation
axé sur le transfert
des compétences**

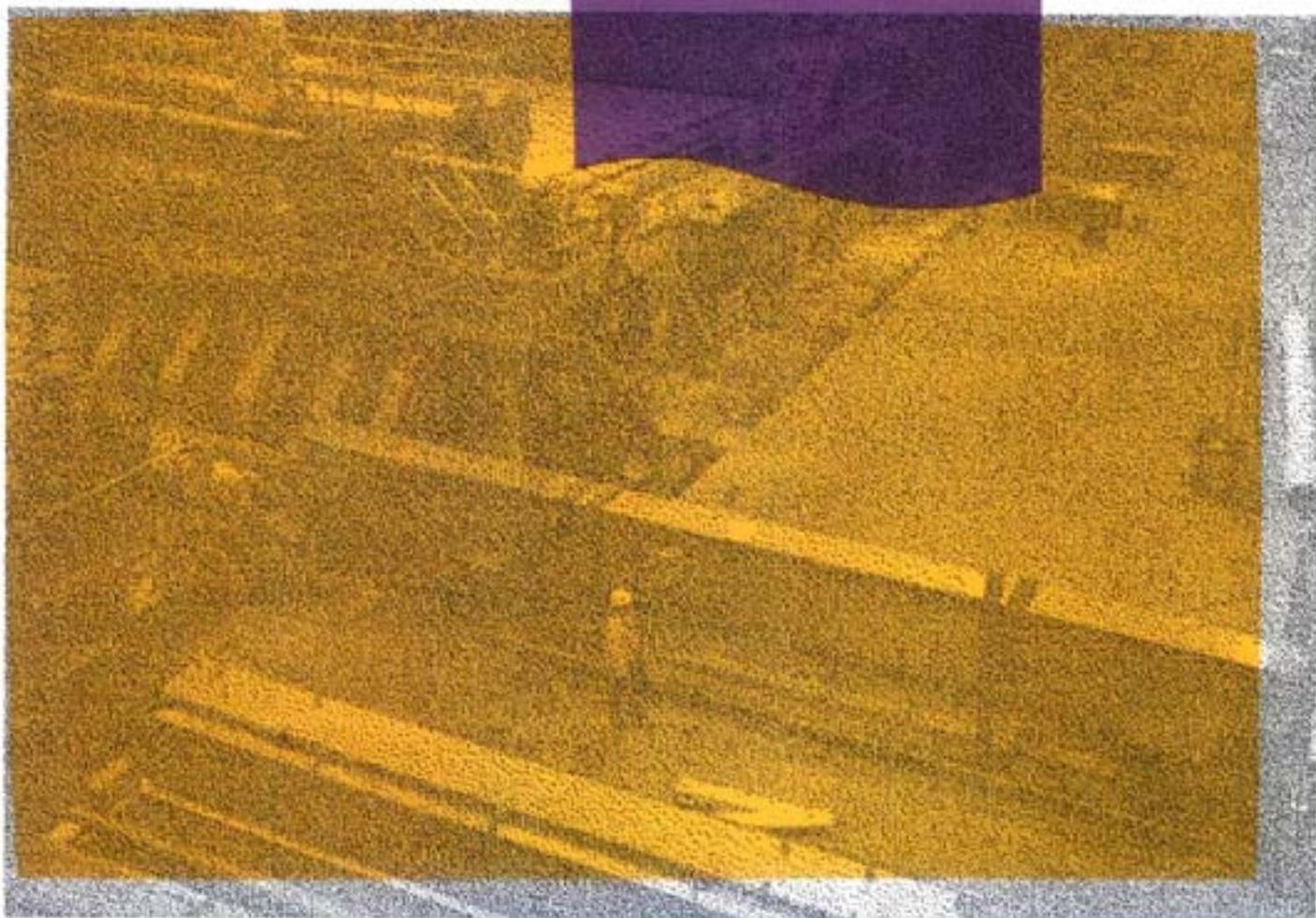


ÉTUDES ET RECHERCHES

René Benoît

Novembre 2001 R-284

RAPPORT



La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et subventionne des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut, en téléphonant au 1-877-221-7046.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications ou gratuitement sur le site de l'Institut.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2001

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publifications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail
Novembre 2001.

Intégration de la sécurité dès la conception des systèmes de production dans l'industrie papetière, par le développement d'un programme de formation axé sur le transfert des compétences

René Benoit,
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

avec la collaboration de :
François Gauthier, Université du Québec à Trois-Rivières,
Patrik Doucet, FACCE + inc. et
Jacques Tardif, Université de Sherbrooke

ÉTUDES ET RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site internet de l'IRSST.

Membres de l'équipe de recherche :

René Benoît	Ingénieur	IRSST
Gilles Bouchard	Ingénieur	FACCE+ inc.
Réal Bourbonnière	Ingénieur	IRSST
Patrik Doucet	Ingénieur stagiaire	FACCE+ inc.
François Charron	Ingénieur	Université de Sherbrooke
Cécile Collinge	Ergonome	IRSST
François Gauthier	Ph.D. Ingénieur	Université du Québec à Trois-Rivières
Mark Milesnik	Ingénieur	Cowan SNC-Lavalin
Caroline Monette	Technicienne	IRSST
Joseph-Jean Paques	Ingénieur	IRSST
Domenica Schiralli	Secrétaire	FACCE+ inc.
Jacques Tardif	Psychologue	Université de Sherbrooke
	Professeur	
Mario Touchette	Assistant de recherche	Université de Sherbrooke
	communication	

SOMMAIRE

Ce rapport fait la synthèse d'un important projet de recherche réalisé dans le secteur des papeteries du Québec. Dans un premier temps, sont décrits le contexte et l'origine du projet de même que la problématique générale reliée aux problèmes de sécurité pour les travailleurs exposés aux risques associés aux machines dotées de systèmes de commandes modernes. Dans un deuxième temps, ce document présente la pré-étude ayant conduit à la réalisation du projet dont ce rapport fait état. Cette pré-étude a permis de confirmer d'une part, le rôle majeur de l'ingénierie dans la conception des systèmes de commandes pour l'amélioration de la sécurité. D'autre part, elle a aussi mis en lumière la nécessité de rendre plus sécuritaires l'opération et l'entretien des systèmes de production, grâce à une meilleure approche de conception des systèmes de commandes dans les papeteries.

Ces constats ont déterminé les objectifs du projet présenté à la section 3 du rapport. Le principal objectif étant de travailler au développement d'un programme de formation continue destiné à l'ensemble des ingénieurs qui interviennent dans la conception des systèmes de production automatisés dans les papeteries québécoises.

La section 4 présente donc la démarche et la méthodologie du projet. La démarche du projet s'est inspirée grandement de l'approche de l'ingénierie simultanée. En effet, elle était multidisciplinaire et multi-institutionnelle. Elle implique une méthodologie où les membres de l'équipe de recherche (une douzaine d'experts de neuf disciplines différentes) et les différents acteurs des usines se sont impliqués activement à toutes les étapes, entre autres, lors des visites, lors de groupes de discussions et tout particulièrement dans un comité technique avisé. Cette section du rapport présente donc la méthodologie divisée en trois grandes sections : l'actualisation des connaissances, le développement d'une approche de conception, le développement du programme de formation.

La cinquième section expose dans sa première partie les résultats sous forme de constats observés tandis que la seconde partie présente les résultats en termes de réalisation en cours de projet. Bien que la sécurité des travailleurs soit perçue par la majorité des personnes impliquées dans la conception des systèmes automatisés dans les papeteries comme une caractéristique importante, celles-ci ne parviennent pas toujours à intégrer cet aspect dans la conception. Les chercheurs n'ont également observé aucun véritable effort de systématisation des activités de conception ni de représentation formelle adéquate de ce processus. Les résultats spécifiques sont regroupés en quatre sous-sections. La première concerne le processus de conception informel que la recherche a permis de rendre explicite dans un format de type schéma très détaillé. La seconde présente les améliorations intégrées dans ce processus relativement commun à la grande majorité des usines. La troisième sous-section donne une description des compétences à améliorer par la formation et finalement, la dernière sous-section présente sommairement le programme de formation, lequel est détaillé dans l'annexe E.

Les données et les observations recueillies et analysées conjointement par les membres de l'équipe multidisciplinaire ont permis de reconnaître la nécessité d'améliorer huit compétences en cohérence étroite avec le processus de conception. Ces compétences sont : 1) le travail en équipe

l'utilisation d'une méthodologie de conception efficace et sécuritaire 3) la communication 4) l'éthique et le professionnalisme 5) l'analyse des besoins 6) l'application de technologies sécuritaires 7) la gestion du risque et 8) la promotion de l'approche.

Le programme de formation est donc essentiellement axé sur le transfert de ces huit compétences. Il est conçu dans le cadre d'une approche très contextualisée basée sur l'apprentissage par problèmes. Les modalités pédagogiques du programme favorisent cette approche notamment grâce au « team teaching » qui permet également l'application de l'approche multidisciplinaire lors de la formation effective.

Finalement, le rapport conclut, entre autres, qu'en favorisant le développement des huit compétences (identifiées plus haut) grâce à une formation concrète issue du programme de formation construit au cours de la recherche, les ingénieurs-concepteurs de systèmes industriels dans les papeteries pourront développer des solutions plus sécuritaires, plus globales, mieux intégrées et mieux adaptées aux situations et à la réalité du monde industriel. Le rapport recommande également qu'un suivi des résultats de la formation soit entrepris afin d'évaluer l'impact d'une telle approche sur la sécurité réelle des travailleurs.

REMERCIEMENTS

Un projet d'une telle ampleur ne se serait pas réalisé sans la collaboration très étroite d'un grand nombre de personnes. La liste exhaustive de toutes les personnes sans qui le projet n'aurait pas atteint ses objectifs serait bien longue, aussi nous nous limiterons à ne nommer que le groupe auquel elles ont appartenu en pensant sincèrement à chacune d'elles. Bien que reconnus dans les nombreux comptes rendus officiels, nous tenons à souligner ici la précieuse et généreuse contribution des membres du comité aviseur et du comité technique aviseur.

Nous tenons aussi à remercier les usines participantes en tant qu'organisations et leurs décideurs, mais surtout chacune des personnes que nous avons rencontrées dans le cadre des visites terrains, des groupes de discussions et lors des rencontres de présentations de toutes sortes.

Un merci tout particulier aux douze usines qui ont mobilisé leur personnel lors des visites en profondeur et à qui nous sommes très reconnaissants¹.

Ce projet n'aurait pas pris son envol sans la participation de l'Association de santé et de sécurité des pâtes et papiers du Québec et la très précieuse collaboration de son président, monsieur Aurèle St-Pierre, et de tous les conseillers, dont messieurs Léon-Maurice Boivin et Jean Martel à qui nous devons une reconnaissance bien sincère.

L'auteur tient à remercier tous les membres de l'équipe de recherche du projet pour leur grand professionnalisme, leur éthique et leur réelle implication dans ce projet. Sans les nombreux échanges de points de vue et les discussions parfois animées lors des réunions, ce projet n'aurait pas donné de résultats aussi importants pour le secteur, pour les concepteurs et ultimement pour les principaux intéressés, les travailleurs, nos clients les plus directement concernés. En tant que coordonnateur et responsable de ce projet, l'auteur tient aussi à remercier le directeur du Programme sécurité-ingénierie pour ses précieux conseils et surtout pour son support dans les moments les plus difficiles qui arrivent inévitablement dans tout projet d'envergure.

¹1- Abitibi-Consolidated division Laurentides à Grand-Mère

2- Smurfit Stone à La Tuque

3- Kruger inc à Bromptonville

4- Domtar inc. à Windsor

5- Bowater Canada inc. à Gatineau

6- FF Soucy inc. à Rivière-du-Loup

7- Produits Forestiers Donohue inc. à Baie-Comeau

8- Produits Forestiers Donohue inc. à St-Félicien

9- Abitibi-Consolidated inc. division Port-Alfred à Ville de LaBaie

10- Produits Forestiers Daishowa Ltée à Québec

11- Produits Forestiers Alliance inc. à Donnacona

12- Abitibi-Consolidated inc. division Belgo à Shawinigan

Enfin, l'auteur exprime sa reconnaissance sincère et toute particulière aux collaborateurs directs à la rédaction de ce rapport, de même qu'à Domenica Schiralli qui a su relever plusieurs défis dans l'organisation et pour son support logistique.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION.....	1
2. CONTEXTE À L'ORIGINE DU PROJET.....	3
2.1 Création d'un comité industriel consultatif.....	3
2.2 Problématique générale.....	4
2.3 Réalisation d'une pré-étude.....	5
3. OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE	9
4. DÉMARCHE DU PROJET ET SA MÉTHODOLOGIE.....	11
4.1 Démarche du projet.....	11
4.2 Méthodologie.....	13
4.2.1 Actualisation des connaissances.....	13
4.2.3 Développement du programme de formation.....	20
5. RÉSULTATS	25
5.1 Principaux constats.....	25
5.1.1 Utilisation d'un processus de conception systématique.....	25
5.1.2 Recherche et analyse des besoins.....	26
5.1.3 Multidisciplinarité des activités de conception.....	27
5.1.4 Utilisation des outils et méthodes d'analyse des risques.....	28
5.1.5 Utilisation de technologies sécuritaires.....	28
5.2 Principaux résultats	28
5.2.1 Processus de conception de l'industrie papetière du Québec.....	29
5.2.2 Optimisation du processus global de conception de l'industrie papetière du Québec.....	30
5.2.3 Compétences du programme de formation	32
5.2.4 Programme de formation.....	37
5.2.5 Approche pédagogique.....	39
5.3 Principales retombées du projet	41
6. CONCLUSION	43
7. RECOMMANDATIONS.....	44
BIBLIOGRAPHIE	45

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : ÉTAT DES CONNAISSANCES ET CADRE DE RÉFÉRENCE SOUS L'ASPECT SÉCURITÉ DES MACHINES ET SYSTÈMES DE COMMANDE

ANNEXE B : ÉTAT DES CONNAISSANCES

ANNEXE C : SCHÉMA DU PROCESSUS DE CONCEPTION TYPE POUR LE SECTEUR DES PÂTES ET PAPIERS

ANNEXE D : LISTE DES CONTENUS DISCIPLINAIRES DÉVELOPPÉS POUR LES COMPÉTENCES

ANNEXE E : GRILLE DÉTAILLÉE DU PROGRAMME DE FORMATION

ANNEXE F : FICHES SIGNALÉTIQUES DES DOCUMENTS DE FORMATION

ANNEXE G : RETOMBÉES EN TERMES DE COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

1.INTRODUCTION

Les systèmes de production du secteur des pâtes et papiers sont en évolution constante et deviennent de plus en plus automatisés. Cette évolution ne va pas sans poser de nombreux problèmes de sécurité pour les travailleurs exposés à de nouveaux risques, mal ou peu maîtrisés par les concepteurs de ces systèmes. Il en résulte des accidents, parfois très graves. À la demande du secteur, l'IRSSST s'est penché sur ce problème.

Après une analyse approfondie de la problématique exposée par le milieu dans le cadre d'une pré-étude, les chercheurs ont décelé plusieurs difficultés éprouvées par les concepteurs dans l'exercice de leur travail. Ces difficultés étant généralement associées à l'acquisition ou au développement de compétences dans leur contexte particulier. Or, à ce jour, il n'existait pas de programme de formation qui puisse répondre de manière globale et satisfaisante au besoin d'intégration de connaissances pratiques dans les domaines reliés à la communication, le travail en équipe, l'analyse de besoins, la sécurité du travail, la gestion du risque et, entre autres, à la conception sécuritaire.

Pour répondre à de telles exigences d'intégration des connaissances, le choix de la solution s'est dès lors orienté vers la mise en œuvre d'un programme de formation axé sur le développement des compétences. Le défi à relever consistant donc à bien comprendre le travail de ces concepteurs dans tout le contexte technique d'une part et surtout dans tout son contexte relationnel. Celui-ci a d'ailleurs fait émerger les plus grandes lacunes dont le programme de formation devait tenir compte de manière prioritaire.

Ce projet visait donc à déterminer adéquatement les compétences à acquérir ou à développer davantage, à concevoir un programme de formation sur mesure axé sur l'intégration de ces compétences par les concepteurs, en tenant compte de leurs nombreuses contraintes et de leur possible résistance au changement.

Ainsi, l'objectif du projet n'est pas de répondre techniquement à chaque cas particulier, mais de développer l'autonomie des concepteurs en regard des difficultés et problèmes parfois excessivement complexes auxquels ils ont à faire face dans la pratique. Ce qui implique bien plus que la simple acquisition de nouvelles connaissances, mais surtout l'acquisition des compétences leur permettant de mobiliser efficacement toutes les connaissances pertinentes pour concevoir des systèmes de production plus performants, plus sécuritaires et beaucoup mieux adaptés à la réalité des opérateurs et du personnel de l'entretien. Ce qui exige de développer de manière cohérente et harmonieuse le savoir, le savoir-faire et le savoir-être. Ce qui conduit également à la nécessité d'une approche multidisciplinaire.

Dans leur démarche et leur méthodologie, les chercheurs ont misé sur une plus grande compréhension de la réalité industrielle en se rapprochant le plus possible du terrain, tout en créant les liens de confiance nécessaires à la communication avec tous les acteurs concernés. Il s'agit donc d'une approche systémique où le processus joue un plus grand rôle que ses constituants.

Ce rapport expose donc le contexte du projet, la problématique, l'approche et la méthodologie, les résultats et les recommandations.

2.CONTEXTE À L'ORIGINE DU PROJET

Depuis plusieurs années, le secteur des pâtes et papiers rénove et reconçoit des systèmes de production. Ces rénovations ont un impact majeur sur la reconception des systèmes de commandes qui y sont associés et sur leurs améliorations ou modifications fréquentes.

Les usines de pâtes et papiers font une utilisation très répandue de technologies récentes incorporant de plus en plus de **Systèmes de commandes Distribuées (DCS** pour **Distributed Control Systems**, en anglais) et de composants comme les **Automates Programmables Industriels (API)**². Or, les papeteries sont sensibles au fait que l'utilisation de ces nouvelles technologies entraîne des risques nouveaux, confirmés par la littérature scientifique³ [Vautrin, J.-P., Edwards, R., Nicolaisen, P. (1992)], [Jarvinen, J., Karwowski, W.(1995)] des risques différents de ceux liés aux technologies plus traditionnelles ou plus anciennes et par conséquent, de nouveaux problèmes de **SST**.

Un accident grave avec un équipement doté d'un système de commandes s'est produit dans une des usines du secteur. S'agissant d'un problème en émergence pour ce secteur qui reconnaît ne pas maîtriser forcément ces nouvelles technologies, notamment sous les aspects de la sécurité intrinsèque et des systèmes de protection qui font partie des systèmes de commandes, le conseil d'administration de l'Association de santé et de sécurité (**ASSPPQ**)⁴ qui représente tout le secteur a donc demandé spécifiquement à l'IRSST d'étudier ces types de problèmes.

2.1 Création d'un comité industriel consultatif

Fort de l'expérience acquise dans plusieurs autres projets de recherche, un comité⁵ industriel consultatif a été mis sur pied afin de donner des avis pertinents sur les orientations de la recherche. De plus, afin de préciser davantage la nature de la problématique, l'étendue, les objectifs et le type de projet de recherche à effectuer le cas échéant, une pré-étude a été réalisée. Le comité, constitué de représentants travailleurs et cadres de six usines du secteur, de représentants d'associations syndicales et patronales créées dès 1994, a suivi tout le projet depuis la pré-étude jusqu'à sa conclusion récente en 1999.

2 Benoît, R. et al. « Étude de l'intégration de la sécurité à la conception des systèmes de production comportant des automates programmables industriels (API) et des systèmes de commandes distribuées (DCS), dans le secteur des pâtes et papiers », Protocole détaillé du projet de recherche IRSST No 94-725.

3 Voir annexe A, Paques J.-J. « État des connaissances et cadre de référence sous l'aspect sécurité des machines et systèmes de commandes. 22-9-95 ».

4 Association de santé et de sécurité des pâtes et papiers du Québec (ASSPPQ).

5 Dans la suite du texte, nous utilisons le terme aviseur pour identifier ce comité, car il est connu sous cette appellation dans le milieu.

2.2 Problématique générale

L'industrie papetière, comme la plupart des secteurs industriels, a commencé à automatiser sa production dès le début des années 1940. Utilisant d'abord une combinaison judicieuse de dispositifs électriques et électromécaniques (logique câblée), les papeteries du Québec ont commencé à incorporer dès 1965 les technologies programmables à leurs équipements. Aujourd'hui, le niveau d'automatisation de cette industrie varie passablement d'une usine à l'autre, allant de l'utilisation de la logique câblée au contrôle automatisé du processus complet de fabrication du papier.

Toute machine automatisée comporte essentiellement deux parties : une partie opérative (PO) et une partie commande (PC). La PO est celle qui agit sur la matière première (bois) pour effectuer sa transformation en vue d'obtenir un produit (papier); elle est donc principalement mécanique. Quant à la PC, elle est celle qui commande toutes les fonctions nécessaires à la réalisation adéquate des opérations effectuées par la PO; c'est elle qui garantit l'automatisation des opérations.

D'autre part, la PC peut être constituée soit de la logique câblée, soit de la logique programmable, soit d'une combinaison de ces techniques. Lorsque la logique programmable est utilisée, les deux technologies les plus répandues sont l'automate programmable industriel (API) et le système de contrôle distribué (DCS, de l'anglais *Distributed Control System*).

Par ailleurs, dans le secteur papetier, il est rarement question de machines automatisées isolées. Ces dernières sont généralement interreliées et dépendantes. Elles forment un « système de production automatisé » (SPA). Ainsi, un SPA est composé de plusieurs machines et donc, de plusieurs PC et PO. Généralement, les API sont utilisés pour assurer les commandes des diverses machines ou parties d'équipements, alors que la supervision globale de l'ensemble de ces machines ou du SPA est assurée par un DCS.

En plus d'avoir permis à l'industrie d'augmenter la productivité et la flexibilité de ses équipements, l'utilisation des technologies programmables a permis d'améliorer les conditions de travail en confiant désormais certaines tâches difficiles ou dangereuses à la machine. Cependant, l'automatisation n'est pas le remède miracle pour contrer les accidents de travail : « *Cette technique conduit donc à éloigner l'homme des machines [...]. Toutefois, l'homme n'est pas systématiquement évincé de son environnement.* » [Edwards, R. et coll., 1992]. La littérature récente en sécurité des machines fait d'ailleurs état d'une préoccupation croissante pour les risques associés aux nouvelles technologies de production [GAUTHIER, F. (juin 1998)].

Il n'existe cependant pas, au Québec, de standard de conception sécuritaire des équipements et des procédés, ni de règles bien définies permettant aux concepteurs de ces équipements et de ces procédés de les concevoir de manière à ce qu'ils soient sécuritaires. En effet, malgré l'existence de plusieurs procédures d'opération et d'entretien qui visent particulièrement la sécurité, il subsiste de nombreux facteurs de risque résultant, entre autres, de l'hétérogénéité des méthodes de conception, du manque d'intégration des éléments de sécurité dès la conception, de la quasi-indisponibilité d'outils de conception adéquats à ce sujet et des difficultés de communication

entre les différents groupes concernés, c'est-à-dire des consultants externes en passant par l'ingénierie d'usine jusqu'aux mécaniciens d'entretien.

En 1993, deux rencontres avec des représentants de divers groupes de travailleurs et de cadres d'usines de la région instigatrice de la demande d'étude avaient permis d'identifier, entre autres, trois approches possibles pour résoudre ces problèmes. La première consistant à résoudre le problème de manière spécifique à l'accident, à l'origine de la demande, ce qui limitait considérablement l'impact à une situation bien précise et peu réutilisable ailleurs. La seconde approche, plus générale, s'orientant vers la préparation d'un guide de conception où les règles générales, certains concepts et des outils de design plus sécuritaires seraient décrits afin de résoudre un certain nombre de problèmes à première vue relativement simples et comparables.

Toutefois, ces deux approches ne sauraient permettre l'acquisition des compétences nécessaires à la résolution de problèmes, qui au niveau spécifique du secteur et compte tenu de ses caractéristiques, pourraient s'avérer très complexes et particulièrement variées dans des systèmes en constante évolution.

En effet, de nombreuses difficultés en rapport avec la sécurité sont vécues par les divers personnels techniques lors de la conception de nouveaux systèmes, lors de leur implantation et plus généralement, lors des modifications plus ou moins fréquentes qu'ils doivent apporter à ces équipements et aux systèmes existants. Il ne faut jamais perdre de vue que des défauts de conception dans les systèmes de commandes peuvent entraîner une série d'événements ou d'interventions sur la machine qui exposent les travailleurs à des risques élevés d'accidents graves.

Ces difficultés étaient à première vue, principalement d'ordre méthodologique. C'est ainsi que méritait d'être considérée, une troisième approche axée sur le transfert de compétences particulières via une formation conçue sur mesure pour les personnes impliquées dans la conception, la reconception ou les modifications des systèmes de production.

2.3 Réalisation d'une pré-étude

Donc, afin de préciser davantage la nature de cette demande du milieu pour ainsi mieux définir les objectifs, l'approche et les moyens à mettre en œuvre dans le projet de recherche dont ce rapport fait état, l'Institut a d'abord réalisé une pré-étude⁶.

Les objectifs de la pré-étude peuvent se résumer à une douzaine de points à préciser :

6 Benoît, R., Paques, J.-J., Collinge, C., Bourbonnière, R. « Étude de la sécurité des équipements et des procédés comportant des automates programmables industriels (API) et des systèmes de commandes distribués (DCS) dans le secteur des pâtes et papiers », IRSST #93-049, (1994).

- 1) Familiariser une équipe de recherche avec les particularités des procédés et le secteur.
- 2) Définir et évaluer une structure de consultation et d'auto-évaluation dans le milieu.
- 3) Déterminer les acteurs et leurs rôles dans l'étude.
- 4) Vérifier le niveau d'intérêt pour le milieu de faire une étude sur les problèmes de la sécurité pour les différents acteurs concernés, plus spécifiquement ceux inhérents à la conception, la reconception ou la modernisation des systèmes de commandes.
- 5) Prendre connaissance du type d'information disponible et les différentes formes sous lesquelles cette information est disponible, les divers types de documents, entre autres.
- 6) Définir dans l'essentiel, les problèmes, les besoins et les attentes du milieu par rapport à cette étude.
- 7) Fixer les objectifs du projet.
- 8) Définir le ou les produits livrables et donner un aperçu du format.
- 9) Déterminer le cadre de l'étude.
- 10) Évaluer la faisabilité et l'intérêt d'une approche multidisciplinaire de type ingénierie simultanée ainsi que valider la démarche préconisée.
- 11) Circonscrire l'ampleur de l'étude et définir un calendrier et un budget appropriés aux efforts requis pour satisfaire les besoins et les attentes du secteur.
- 12) Rédiger un protocole conséquent et cohérent avec l'étude demandée.

L'avant-projet se limitait à une étude prospective, dans le but de recueillir les renseignements et le matériel nécessaires à l'élaboration d'un projet sollicité et orienté par et pour le milieu. Toutefois, afin d'explorer diverses opportunités relatives à l'approche et à la méthodologie du projet (éventuel au moment de la pré-étude), une équipe multidisciplinaire comprenant des ingénieurs des quatre firmes de consultants-experts en systèmes de commandes et en automatisation, spécialisées dans le secteur des pâtes et papiers, de trois experts en sécurité et d'une ergonome de l'Institut, a été constituée pour réaliser la pré-étude. Cette équipe a effectué, en 1994-1995, des visites dans cinq usines.

Lors de ces visites, l'équipe a rencontré tous les groupes (gestionnaires, ingénieurs, opérateurs, personnel de l'entretien, préventionnistes et formateurs internes et des représentants syndicaux) intéressés par le problème initialement soulevé.

Ces visites et tournées de reconnaissance des sites, réalisées simultanément par tous les membres de l'équipe multidisciplinaire, ont permis de familiariser ou d'enrichir le point de vue de chaque membre selon sa discipline, en rapport avec diverses installations et particularités du secteur. Cette façon de faire s'est révélée très performante sur le plan des échanges entre les différentes disciplines et a permis une meilleure dynamique à l'intérieur du groupe de recherche, cette approche favorisant aussi une plus grande synergie entre le groupe de recherche et le milieu.

Les discussions avec chacun des groupes d'acteurs ont aussi permis de confirmer le rôle majeur de l'ingénierie dans la conception des systèmes de commandes pour l'amélioration de la sécurité,

notamment parce que ces systèmes incorporent généralement la commande des fonctions du procédé et des fonctions de protection ou de sécurité.

Chacun des objectifs de la pré-étude a été largement atteint comme en fait état en détail le protocole de recherche rédigé à la suite de cette pré-étude. Ce protocole a de plus été approuvé après un très vaste processus de consultation et d'autorisation très élaboré qui s'est déroulé sur un an pour donner lieu à cet important projet dont ce rapport fait état dans ce qui suit. C'est donc grâce à cette pré-étude que l'équipe de recherche a mis au point la démarche, la méthodologie et l'objectif du projet.

3.OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

L'objectif ultime du projet est de rendre plus sécuritaires l'opération et l'entretien des systèmes de production, grâce à une meilleure approche de conception des systèmes de commandes dans les papeteries. Ces systèmes incluent la commande des fonctions du procédé et la commande des fonctions de protection et de sécurité (ex. : détecteurs de présence, interverrouillage, systèmes d'arrêt d'urgence et plusieurs autres éléments du même genre).

Après quelques visites dans des usines et un certain nombre de rencontres avec des professionnels œuvrant dans ces usines, les chercheurs ont observé que la problématique de la sécurité dans le secteur des pâtes et papiers dépassait largement le seul contexte de la conception de la partie commande et qu'elle résultait notamment de lacunes dans la formation même des ingénieurs. C'est donc en cours de projet qu'il est devenu très évident que pour améliorer significativement la sécurité, il était impératif de ne pas considérer que les systèmes de commandes, mais aussi les systèmes de production concernés. Cette approche système peut s'appliquer même si un système de production se limite à une machine ou à un sous-ensemble.

Les chercheurs ont alors pris la décision de travailler au développement d'un programme de formation continue destiné à l'ensemble des ingénieurs qui interviennent dans la conception des systèmes de production automatisés dans les papeteries québécoises.

En cohérence avec ce recadrage de l'objectif, la recherche devait répondre à trois sous-objectifs particuliers : 1) déterminer la nature et les origines ou liens avec les activités de conception, des problèmes de sécurité rencontrés par les travailleurs du secteur des pâtes et papiers; 2) expliciter le processus de conception employé par les ingénieurs de ce secteur afin d'y intégrer des activités permettant d'accroître la sécurité; 3) élaborer un programme de formation continue respectant les points forts du processus de conception explicité à partir de la pratique des ingénieurs et assurant la prise en compte de la sécurité dès les premiers moments de la conception.

Ce programme de formation constitue dans les faits le principal livrable de ce projet. Toutefois, pour que ce projet contribue réellement à l'atteinte de l'objectif visant à rendre plus sécuritaires l'opération et l'entretien des systèmes de production, il est nécessaire que les acteurs concernés reçoivent effectivement une formation adéquate.

4. DÉMARCHE DU PROJET ET SA MÉTHODOLOGIE

Le projet s'est déroulé de septembre 1996 à février 1999 sur une période de 30 mois. Cette section décrit la démarche et la méthodologie générale du projet.

4.1 Démarche du projet

Une équipe de chercheurs multidisciplinaires a été mise sur pied dès le début du projet. Neuf disciplines ont été représentées au sein de cette équipe.

Composition et expertise de l'équipe

- 2 consultants experts en conception pâtes et papiers
- 2 experts méthodologie de conception
- 1 expert en sécurité
- 2 experts en sécurité des systèmes
- 1 ergonomiste
- 1 expert en analyse de risques
- 1 expert en communication
- 1 expert en travail d'équipe
- 1 expert en formation
- 2 personnes de soutien

Dans le cadre d'une série de visites dans 12 des 56 plus importantes usines du secteur, cette équipe de recherche a réalisé des entrevues semi-dirigées auprès d'ingénieurs, de cadres supérieurs, de responsables de santé et sécurité du travail, d'opérateurs de systèmes automatisés et de personnes chargées d'entretenir ces systèmes. En plus des observations terrains et d'une importante collecte de documents, des groupes de discussions et des rencontres avec des ingénieurs-concepteurs de firmes de consultants ont également été réalisés. Les usines participant aux visites et à chacun des groupes de discussions, dans chacune des 6 régions du Québec, ont été choisies en collaboration étroite avec le comité avisé.

La démarche du projet s'est inspirée grandement de l'approche de l'ingénierie simultanée. En effet, elle était multidisciplinaire et multi-institutionnelle. Elle implique une méthodologie où les membres de l'équipe de recherche et les différents acteurs des usines se sont impliqués activement à toutes les étapes, entre autres, lors des visites, lors des groupes de discussions et tout particulièrement dans un comité technique avisé. Ce comité fut mis sur pied dès le début du projet afin de faciliter des échanges plus approfondis sur les aspects scientifiques et techniques et

pour assurer une validation technique en continu auprès des experts concernés du domaine. Une dizaine d'experts ingénieurs (à l'exception d'un technicien de haut niveau) représentaient différents secteurs tels que les alumineries, les cimenteries, les scieries et de façon majoritaire, les papeteries.

Il importe de souligner qu'un des fondements de l'ingénierie simultanée est le travail en équipes multidisciplinaires [LAWSON, M. KARANDIKAR, H.M. (mars 1994)]. Ces équipes sont nécessairement formées de personnes dont les compétences et les aptitudes sont complémentaires, et qui doivent développer des méthodes de travail et des objectifs communs. Ces caractéristiques sont très avantageuses pour la réalisation d'un projet, mais elles peuvent également être source de conflits. Pour être efficaces, les équipes multidisciplinaires doivent donc satisfaire quelques principes de base, qui sont assez bien décrits dans la littérature [CLAUSING, D. (1994)]. Tous les membres du groupe de recherche doivent connaître ces principes et leurs implications dans la pratique. Ces principes reposent sur la cohésion des membres, les spécialités représentées, la vision et les objectifs, l'information et les communications. Ces principes reposent aussi sur l'équilibre entre les contributions individuelles et les réalisations communes, et l'utilisation d'approches systématiques, notamment lors des rencontres et enfin, sur le leadership.

Il faut cependant ajouter ici que l'application de ces principes dans l'équipe de recherche a représenté un défi considérable pour tous les membres, notamment parce qu'elle était constituée non seulement de plusieurs disciplines parfois très différentes dans leurs approches mais aussi par le fait que les membres provenaient de plusieurs départements et même de nombreuses organisations différentes. Chaque membre étant en réalité autonome et libre d'adhérer aux objectifs et aux moyens d'action. Malgré cela, il faut souligner que tous les experts de l'équipe mentionnés plus haut ont participé simultanément à la majorité des visites et que de manière générale, toutes les expertises étaient représentées sur le terrain.

Une des particularités de la démarche était de s'assurer le plus possible en continu que le programme de formation soit bien adapté aux besoins et aux caractéristiques du secteur. La démarche générale est illustrée sur la figure 4.1.1.

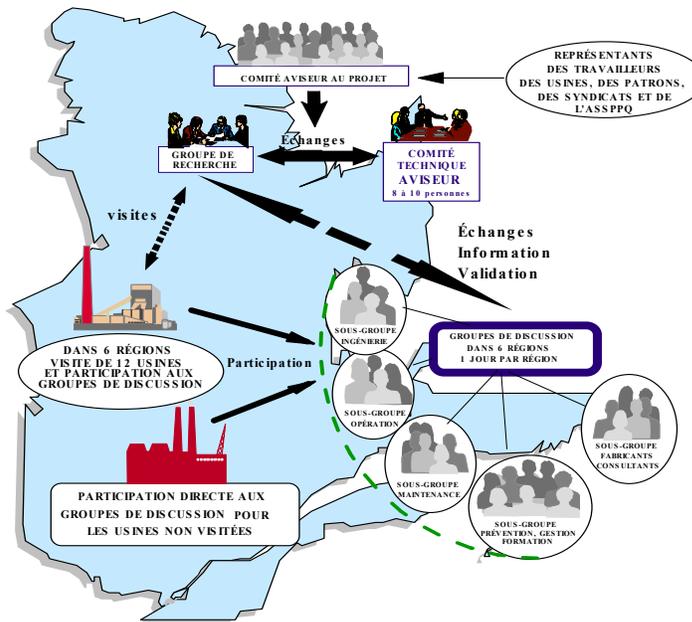


Figure 4.1.1 La démarche générale du projet

4.2 Méthodologie

La méthodologie a été divisée en trois grandes sections :

- 1) actualisation des connaissances;
- 2) développement d'une approche de conception;
- 3) développement du programme de formation.

4.2.1 Actualisation des connaissances

L'actualisation des connaissances s'est réalisée de deux manières complémentaires. D'une part à travers des revues de littérature et, d'autre part, grâce à une approche terrain effectuée très en profondeur et de façon très systématique.

4.1.1.1 Revue de la littérature

Sur le plan théorique, il existe certains modèles et philosophies de conception des systèmes de commandes regroupés en classes ou catégories considérées plus ou moins sécuritaires. Cependant, entre ces modèles théoriques et leur utilisation pratique sur le terrain, il existe un important fossé. Ce fossé peut s'expliquer en partie par la méconnaissance de ces modèles par les concepteurs sur le terrain (déjà confirmé par la pré-étude) mais aussi par la nécessité de métamorphoser le cadre théorique de l'intégration de la sécurité à la conception des systèmes de commandes en un cadre pratique basé sur la réalité concrète du milieu, de ses besoins et de ses attentes.

Cette partie de la méthodologie visait, entre autres, à répertorier les solutions technologiques et les méthodes existantes ou autres outils, pouvant être adaptés afin de satisfaire le plus parfaitement possible les besoins répertoriés auprès des concepteurs, mais aussi pour satisfaire l'ensemble des besoins des différents acteurs avec qui ils interagissent. Le recensement, l'analyse et l'évaluation des besoins et attentes de ces divers groupes ont été faits simultanément lors de l'étude terrain présentée à la section suivante 4.2.1.2.

Une première revue de la littérature réalisée lors de la pré-étude présentée en détail dans le protocole de recherche dont l'annexe A de ce rapport est extraite, décrit le cadre de référence théorique sur lequel en partie le projet s'est appuyé. Les principaux sujets qui y sont traités concernent :

- les bases de la sécurité des machines;
- la présence des automates programmables industriels (API) au Québec;
- les accidents et automatismes;
- la réglementation et normes relatives à la sécurité des machines et de leurs commandes;
- les risques et prévention pour les automatismes.

Les diverses études ont clairement démontré que les équipements automatisés utilisant les technologies programmables sont responsables d'un bon nombre d'accidents graves. Ces derniers affectent plus souvent les opérateurs, mais également le personnel d'entretien. Aussi, ils se produisent plus fréquemment suite à une intervention sur l'équipement qu'en mode de fonctionnement normal, ce qui est logique, car c'est à ce moment que le travailleur se rapproche le plus de ces systèmes de production.

Une seconde revue de littérature [Doucet, P., 1998], a été réalisée pendant le projet en même temps que l'étude terrain présentée ci-après. Cette revue très détaillée de la littérature est présentée à l'annexe B de ce rapport. Nous en présentons ici un très bref résumé.

Revue des approches, méthodes et outils pour la conception de systèmes de production automatisés sécuritaires

Il est reconnu depuis fort longtemps que le meilleur moment pour introduire les aspects de sécurité d'un équipement est lors de sa conception comme en témoigne cette citation tirée d'un éditorial datant de 1910 : « *We reiterate that the time to safeguard machinery is when it is on the drawing board; and designers should awaken fully to a sense of their responsibility in this respect.* » [Roberts, V.L., 1984]. Dans cette section, un aperçu de plusieurs approches, méthodes et outils de conception qui permettent d'accroître la sécurité des équipements automatisés est présenté.

Stratégie globale pour la maîtrise des risques

Un principe fondamental devant toujours être considéré lors de la conception des équipements est *l'échelle de priorités des solutions pour la maîtrise du risque*. Cette échelle de priorités se compose de quatre niveaux que le concepteur doit parcourir dans l'ordre, à savoir [Gallagher, V.A., 1991][EN 292-1, 1992] :

- 1) éliminer le phénomène dangereux à la source ou en diminuer le risque;
- 2) prévoir des protections contre les phénomènes dangereux qui n'ont pas pu être éliminés ou leurs risques suffisamment diminués;
- 3) informer les utilisateurs à propos des risques résiduels;
- 4) prendre toutes les dispositions supplémentaires nécessaires.

Bien que la littérature favorise le premier niveau, c'est-à-dire éliminer les dangers à la source, c'est souvent le second qui est mis en pratique par l'installation de gardes protecteurs et de dispositifs de protection. Le troisième niveau, celui des informations et des mises en garde, est souvent nécessaire pour prescrire les procédures et les modes opératoires prévus pour maîtriser les phénomènes dangereux, indiquer si une formation spéciale est requise. Le dernier niveau comprenant, entre autres, les équipements de protection individuels et les procédures de cadenassage, ne doit être utilisé qu'en dernier recours. En fait, le concepteur prudent n'utilise jamais ce niveau comme substitut à une mauvaise conception.

Méthodes d'analyse du risque

Il existe plusieurs méthodes d'analyse du risque. À titre d'exemple, un manuel de la *System Safety Society* décrit brièvement 90 méthodes [Stephans, R.A. et coll., 1993]. Cependant, plusieurs d'entre elles sont issues de l'industrie du nucléaire ou de la pétrochimie et sont conséquemment difficilement applicables dans la conception d'équipement pour l'industrie papetière.

D'autre part, dans sa thèse de doctorat, F. Gauthier [1997] présente une classification originale de l'ensemble de ces méthodes selon leur nature, l'objectif poursuivi et les facteurs de risque pouvant être identifiés (un extrait de sa thèse est inclus à la fin de l'annexe B). Cette classification pourrait être d'une grande utilité pour identifier les méthodes d'analyse du risque pertinentes à la conception de SPA destinés à l'industrie papetière.

Finalement, parmi toutes les normes consultées, il ressort qu'aucune d'entre elles n'exige clairement l'utilisation particulière de méthodes d'analyse du risque. Par contre, quelques ouvrages importants prescrivent une étape spécifiquement consacrée à l'identification des dangers et à l'estimation de leur risque lors de la conception de machines industrielles, automatisées ou non [CAN/CSA Q634-91, 1991] [CEI/IEC 1508, 1995] [prEN 1050, 1996] [prEN 954-1,1996].

Gestion du risque

La gestion du risque est le processus complet permettant d'identifier les dangers, d'estimer et d'évaluer leur risque et finalement, de trouver des solutions pour la maîtrise des risques respectant le principe de l'échelle de priorités vu précédemment.

Plusieurs modèles de gestion du risque sont présentés dans la littérature. Le plus général est celui proposé par le projet de norme EN 1050 [1996]. Un autre modèle, plus complet mais probablement plus complexe à mettre en œuvre, a été développé par F. Gauthier [1997].

Méthodes d'élaboration et d'analyse des besoins pour la conception des SPA

L'élaboration et l'analyse des besoins permettent au concepteur de définir clairement les besoins et les contraintes par rapport au SPA à concevoir. Or, selon une étude récente menée à l'IRSSST, « [...] une cause commune d'accidents est la mauvaise adaptation aux besoins et à un usage sécuritaire des outils, des machines et des procédés industriels » [Bélanger, R. et coll., 1991]. L'expression claire et nette de l'ensemble des besoins relatifs à un système de production automatisé est donc essentielle à la rencontre des objectifs de sécurité.

Plusieurs méthodes d'élaboration et d'analyse des besoins ont été répertoriées et étudiées, comme l'analyse fonctionnelle, l'approche par points de vue successifs, le GRAFCET, le GEMMA [ADEPA (s.d.) *GEMMA*], SADT, Merise, les réseaux de Pétri. Par contre, il semble qu'aucune de ces méthodes ne puisse être directement appliquée dans l'industrie papetière du Québec, principalement en raison des contraintes de temps auxquelles font face les concepteurs. Néanmoins, il serait tout à fait réalisable d'exploiter le principe de certaines méthodes (comme celui de l'analyse fonctionnelle qui vise à exprimer le besoin en faisant abstraction des solutions) ou d'en appliquer quelques éléments seulement. La méthode d'analyse des besoins qui sera développée pour ce secteur industriel pourrait donc s'inspirer des diverses méthodes répertoriées.

Principes techniques de réduction du risque

Les principes techniques de réduction du risque sont en fait des solutions actuellement connues et appliquées qui permettent d'accroître le niveau de sécurité atteint par les SPA comportant des systèmes électroniques programmables. Ces principes peuvent également être vus comme faisant partie des règles de l'art en matière de conception sécuritaire. Le but premier de ces principes est d'abaisser le niveau de risque associé aux phénomènes dangereux (lorsque leur élimination à la source est impossible) en vue de le ramener à un niveau plus acceptable.

Il existe plusieurs principes utilisant diverses technologies. Par exemple, la fonction « chien de garde » (*watch dog*) qui permet de continuellement vérifier la fonctionnalité des modules d'entrée et de sortie du système électronique programmable, est un principe abondamment utilisé par les constructeurs de ces dispositifs. Il y a aussi l'utilisation d'une mémoire permanente pour la programmation qui peut être intéressante lorsque l'on veut éviter les modifications des programmes. Par ailleurs, une nouvelle génération d'automates programmables industriels dédiés à la sécurité (APIDS) qui sont construits spécialement pour pouvoir traiter les fonctions de sécurité, font leur entrée sur le marché des automatismes industriels. Cependant, ces nouveaux APIDS ne sont pas encore reconnus comme étant parfaitement fiables par la communauté internationale.

Par ailleurs, il existe aussi des principes de conception qui visent à accroître le niveau de sécurité des SPA. Par exemple, le principe de comportement orienté suite à une panne du système, le principe de tolérance aux fautes et la redondance qui vise à doubler, tripler, voire quadrupler les équipements de contrôle. Cette dernière technique est très efficace, particulièrement la tri-redondance, mais également très dispendieuse.

Finalement, la seule solution actuellement acceptée, reconnue comme étant très fiable et dont la technologie est accessible pour l'industrie québécoise des pâtes et papiers est d'assurer toutes les fonctions de sécurité (arrêt d'urgence, etc.) par une logique câblée et non programmée.

Approches pour la conception de SPA sécuritaires

Tel qu'indiqué précédemment, c'est dès la conception qu'il faut intégrer les aspects de sécurité au système de production automatisé. Toutes les solutions de sécurité trouvées après conception, lorsqu'elles existent, sont souvent inefficaces, coûteuses et difficiles à mettre en œuvre. Dans le cadre de cette revue de littérature, plusieurs approches ou méthodologies de conception ont été répertoriées et analysées.

Par exemple, dans le livre *La sûreté des machines et installations automatisées* [Merlaud, C. et coll., 1992], la société Apave-Télémechanique propose une méthodologie de conception permettant d'introduire la sécurité dès les premières étapes de conception. Cependant, la lourdeur de cette méthode, comme bien d'autres d'ailleurs, fait en sorte qu'il est inconcevable de la mettre en pratique dans l'industrie papetière du Québec compte tenu de l'état de la situation dans ce secteur.

D'autre part, les normes prEN 954 (1996) et CEI/IEC 1508 (1995) proposent des approches de conception qui ont ce même objectif d'intégrer la sécurité aux systèmes de production automatisés. De ces normes, seule la première pourrait être applicable, l'autre semblant être encore une fois lourde et complexe à mettre en œuvre.

Finalement, une autre méthodologie de conception a été développée pour la conception d'outils, de machines et de procédés industriels [Gauthier, F., 1997]. Bien que très intéressante, cette approche imposerait aux concepteurs de l'industrie papetière des changements importants dans leur façon de faire. Il semble donc qu'aucune des méthodologies de conception répertoriées dans la littérature ne puissent être appliquées intégralement.

4.2.1.2 Étude terrain

L'objet de cette importante partie de la méthodologie est de s'assurer d'acquérir une bonne connaissance aussi complète que possible sur plusieurs plans qui interagissent, soit les procédés, les technologies, les méthodologies, les savoir-faire et les cultures des organisations impliquées. Il fallait donc bien comprendre toutes les facettes de la conception des systèmes de production et constituer la base des connaissances requises pour améliorer le processus.

Ainsi, la majorité des membres de l'équipe de recherche ont participé aux visites de 12 usines du secteur des pâtes et papiers du Québec. Chaque visite était longuement planifiée et elle durait en général trois jours. À l'occasion de ces visites, chacun des groupes de travailleurs était rencontré et des observations étaient réalisées sur les lieux mêmes du travail dans le cas des opérateurs et des personnes chargées de l'entretien. Dans ce contexte, les chercheurs avaient non seulement accès aux opinions des divers groupes d'acteurs, mais ils avaient aussi l'occasion de prendre connaissance des situations dangereuses et des risques de danger. À la fin de chaque visite, tous les membres de l'équipe participaient à une rencontre dans le but de faire émerger, immédiatement, les grandes conclusions qui devaient être prises en considération dans la suite des travaux. De plus, ces connaissances et ces conclusions ont été comparées au cadre de référence théorique mentionné plus haut (annexe A).

Pour atteindre l'objectif ultime cité plus haut, il est, entre autres, nécessaire que les experts concernés du milieu soient en mesure de poser les actes professionnels réfléchis et cohérents avec ces connaissances dans un processus aussi complexe que celui de la conception de systèmes de production. En s'appuyant sur l'avis d'experts [Tardif, J. (1996)], [Tardif, J. (1994)], [Curry, L. et Wergin, J. F. (1993)], le projet a été orienté vers l'un des meilleurs moyens d'atteindre ce niveau de transfert, soit la formation des ingénieurs impliqués dans la conception, en se basant sur un programme de formation axé sur le transfert des compétences.

C'est à partir de cet énoncé et des conclusions tirées des visites, en considérant les situations dangereuses pour la santé et la sécurité des travailleurs, situations observées ou discutées en usine, que les chercheurs ont déterminé les compétences que devaient maîtriser les ingénieurs responsables de la conception.

À la suite de l'ensemble des visites, les problèmes et les phénomènes observés ont été analysés et l'équipe de recherche a déterminé les compétences devant être maîtrisées par les ingénieurs afin d'assurer une conception sécuritaire. Ces compétences ont fait l'objet de deux séances de validation de la part des membres du CTA. Chaque séance de validation donnait lieu à une révision, le cas échéant.

Il faut cependant préciser que dans ce processus de détermination des compétences, les chercheurs ont dû choisir le lieu d'arrimage qui assure le maximum de liens authentiques entre ces compétences.

C'est le *processus de conception* qui permettait le mieux de faire tous ces liens. Puisqu'il s'agit par définition (celle adoptée dans le cadre du projet) de :

l'ensemble des actions et des techniques organisées et mises en œuvre aux fins que puisse être en totalité ou en partie (y compris toute modification) réalisé, installé, opéré ou maintenu de manière efficace et sécuritaire un outil, une machine ou un procédé de fabrication d'un produit de qualité.

La conception est donc un processus dynamique complexe et même un art, faisant appel à de nombreuses compétences dans différents domaines et à des façons de faire et d'être nécessitant la participation importante de plusieurs experts de plusieurs disciplines et techniques variées. La deuxième partie de la méthodologie concerne donc ce processus de conception.

4.2.2 Développement d'une approche méthodologique de conception plus sécuritaire adaptée à ce secteur

Bien que présentée de façon séquentielle, cette partie de la méthodologie a été réalisée simultanément avec l'actualisation des connaissances et l'étude terrain. Toutefois, au moment de préparer le protocole, il était prévu d'élaborer le processus de conception « idéal ». L'étude terrain a cependant très rapidement permis de conclure à la quasi-inutilité pratique d'une telle approche. En effet, les façons de faire des concepteurs sont profondément ancrées dans leur culture disciplinaire et organisationnelle de telle sorte que tout processus externe n'est pas perçu comme authentique, ni crédible. Cette perception ayant pour conséquence le déploiement d'énormes réticences à tout changement. D'autre part, les chercheurs ont constaté que, selon la définition donnée précédemment au processus de conception, celui-ci n'était pas explicite et que par conséquent, il était pratiquement impossible d'y intégrer efficacement certains éléments clés pour améliorer la sécurité des systèmes de production.

La méthodologie a donc rapidement été réajustée afin, dans un premier temps, de rendre explicite leur processus de conception courant et authentique grâce aux observations et aux entrevues semi-dirigées réalisées auprès des concepteurs sur le terrain et dans les grands bureaux d'ingénierie impliqués dans ce secteur. Dans un deuxième temps, les chercheurs ont réalisé une validation en continu de ce processus explicite et de l'intégration de certains éléments ou activités spécifiques pour l'amélioration de la sécurité. Les résultats de ces observations et analyses sont

présentés à la section 5.2. Cette validation en continu s'est faite auprès des mêmes groupes de personnes concernées par la conception et par le comité technique avisé lors de rencontres et de sessions de travail spécifiques. Les personnes concernées avaient accès à la documentation pertinente et aux explications détaillées de la part des chercheurs qui devaient après discussions et consensus intégrer toutes les corrections requises.

Les améliorations au processus s'inspirent également des principes suggérés par les tenants de l'ingénierie simultanée, de plus en plus nombreux dans ce secteur d'activité même si l'intégration de ces principes n'est pas forcément très avancée.

4.2.3 Développement du programme de formation

Cette partie de la méthodologie concerne spécifiquement le développement d'un programme de formation axé sur le développement de compétences. Ces compétences ayant été déterminées en fonction des actes professionnels que doivent poser les concepteurs et ceux qui participent ou qui devraient participer à la conception dans ce secteur.

L'objectif de ce programme était donc de fournir les occasions de développer les compétences reconnues comme étant à la base de l'expertise attendue et, d'autre part, faire en sorte que ces compétences soient transférables dans diverses situations de conception.

Plusieurs recherches réalisées dans le contexte de la formation professionnelle en milieu universitaire et postsecondaire ont démontré que les programmes de formation axés sur la construction de connaissances, par rapport à ceux axés sur le développement de compétences, avaient de faibles retombées sur la professionnalisation des étudiants [Tardif, J. (1996)], [Curry, L. et Wergin, J. F. (1993)], [TARDIF, J. (1994)]. En réalité, ces programmes n'offrent pas à ces derniers la chance de développer l'expertise leur permettant de gérer, d'une manière judicieuse et réfléchie, les exigences et les contraintes des situations de travail. En outre, les étudiants ne parviennent que très difficilement à réutiliser leurs connaissances dans un contexte de travail professionnel.

Chez les étudiants, on observe donc deux grandes limites liées aux programmes de formation mettant l'accent sur la construction de connaissances : un très faible taux de développement de compétences et un degré très bas de transfert des apprentissages. À la suite de la constatation de ces limites et en cohérence avec la conception de l'apprentissage découlant des travaux en sciences cognitives, des chercheurs ont proposé la mise en œuvre de programmes de formation orientés directement vers le développement de compétences. Dès les premiers moments de la formation, ces programmes placent les étudiants dans des situations d'apprentissage de type « résolution de problèmes », « réalisation de projets » ou « étude de cas », afin que les connaissances construites soient immédiatement finalisées et opérationnelles dans des compétences. Les situations d'apprentissage incitent constamment les étudiants à considérer leurs connaissances comme des ressources cognitives mobilisables dans des compétences. De plus, dès les premiers moments de la formation, les situations d'apprentissage accordent une grande

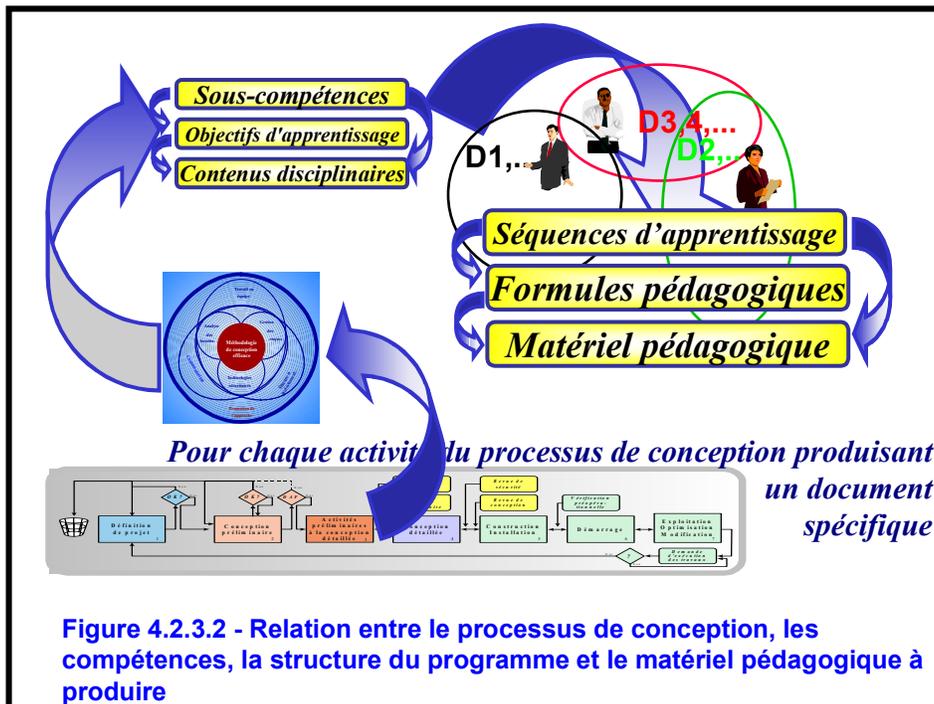
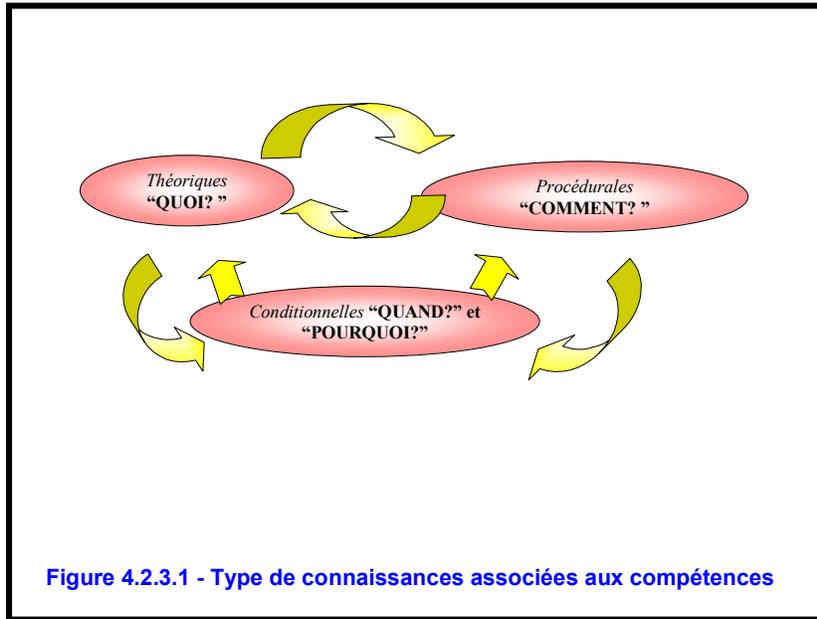
attention au transfert des compétences et des connaissances et les étudiants sont régulièrement contraints à envisager plusieurs domaines de transfert.

Dans la logique des exigences cognitives et sociocognitives reliées au développement des compétences, l'élaboration des programmes de formation place la détermination des compétences et des sous-compétences en premier lieu et, sous leur dépendance, la détermination des connaissances. C'est une dynamique complètement inversée par rapport aux programmes orientés vers la construction de connaissances. Cette dynamique accorde notamment aux formateurs une très grande responsabilité dans le processus de professionnalisation des étudiants.

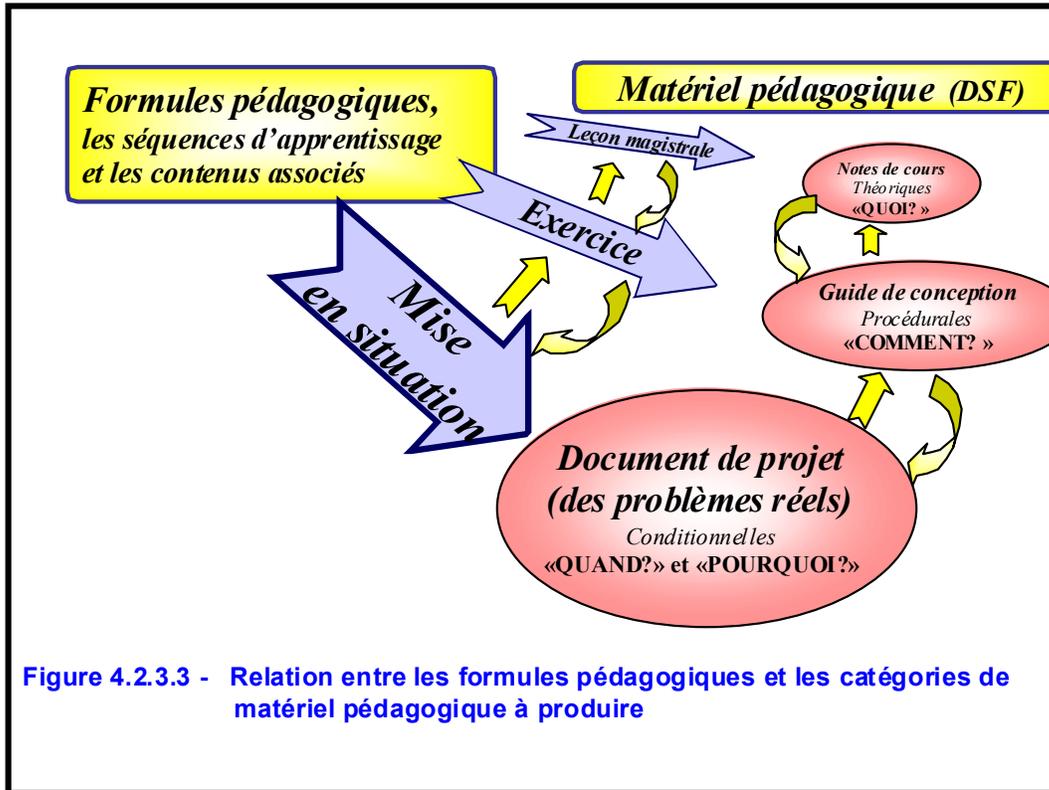
Lorsque les compétences ont été déterminées définitivement à partir des besoins et attentes de chacun des groupes ayant un rôle à jouer dans le processus de conception, les chercheurs en cohérence avec ce processus, ont élaboré le programme de formation. Le programme a été élaboré en respectant la structure suivante : détermination des sous-compétences, définition des objectifs d'apprentissage, description des contenus disciplinaires, détermination des modalités pédagogiques et, enfin, détermination des documents de support à la formation.

Tel que mentionné précédemment à la section 4.2.1.2, bien que généralement de disciplines différentes (consultants experts en conception pâtes et papiers, experts en méthodologie de conception, expert en sécurité, experts en sécurité des systèmes, ergonomes, expert en analyse de risques, expert en communication, expert en travail d'équipe, expert en formation, personnes de soutien), chaque membre de l'équipe de recherche s'est penché sur les divers aspects de chaque compétence. Cet examen s'est fait, entre autres, lors de nombreuses réunions de travail où chacun pouvait faire valoir le point de vue de sa discipline et participer au consensus relatif à toutes les étapes de la structure de construction du programme telle que décrite au paragraphe précédent.

Cette façon de faire apporte certes au programme une très grande intégration des connaissances interdisciplinaires, mais aussi un très grand potentiel d'intégration de ces connaissances dans les façons de faire des concepteurs par le lien direct que ces connaissances ont avec les activités réelles de leur processus de conception. Il s'agit en d'autres mots d'un programme axé sur le transfert de compétences. Une compétence étant définie dans ce contexte comme un savoir, un savoir-faire et un savoir-être de haut niveau exigeant la prise en compte simultanée de multiples connaissances. Ce concept est illustré sur la figure 4.2.3.1 suivante et la figure 4.2.3.2 représente schématiquement la structure du programme de formation et ses différents éléments en relation avec le processus de conception. Les compétences, de même que ce processus de conception sont présentés en détail dans la section qui traite des résultats.



La figure 4.2.3.3 illustre les trois grandes familles (leçon magistrale, exercices et mise en situation) de formules pédagogiques retenues pour le programme de formation en relation avec les trois catégories de connaissances auxquelles se réfère chacune des compétences déterminées par l'équipe.



L'ensemble des liens entre chaque activité du processus de conception et chacun des produits en sortie de chaque activité, les compétences, les sous-compétences, les objectifs d'apprentissage, les contenus disciplinaires, les modalités pédagogiques et enfin, les documents de support à la formation ont été consignés dans un tableau croisé (ce tableau est présenté à l'annexe E). Ce tableau était dans l'essentiel, constamment mis à jour en temps réel pendant les réunions de travail grâce aux méthodes de travail du groupe de recherche où était combinée l'utilisation des outils récents de projection électronique, de l'affichage de schémas (poster géant) et de la documentation standard.

Bien qu'inspirée des principes de base énoncés plus haut, cette méthodologie spécifique à la création du programme de formation n'existait pas avant le projet. Elle constitue donc à la fois une façon de faire et un résultat en soi puisque développée et mise au point pendant le projet. Le contenu du tableau et sa structure sont plus précisément le résultat spécifique du projet, soit le programme de formation en tant que tel. Ce qui est très différent d'une table des matières et d'un recueil de notes de cours avec un morcellement en plusieurs sections correspondant à la séquence linéaire dans laquelle une formation classique est habituellement présentée. L'approche choisie

implique une bien plus grande intégration des connaissances dans le champ des compétences et, par conséquent, un programme de formation dont les liens entre les objectifs d'apprentissage, les contenus, les formules pédagogiques et les séquences d'apprentissage (avec boucles de retour prévues) sont considérablement plus élaborés et définis. Ces liens sont cristallisés à l'intérieur du tableau relationnel croisé qui constitue l'essentiel du programme dont il est plus précisément question à la section 5.2.4

5. RÉSULTATS

Cette section est divisée en deux parties. La première traite des résultats sous forme de constats observés tandis que la seconde partie présente les résultats en termes de réalisation en cours de projet.

5.1 Principaux constats

L'étude terrain a permis de mettre en relief le rôle important que tiennent les bureaux d'ingénierie (en usine autant que consultants extérieurs) dans la conception ou la reconception, ou lors des modernisations mineures ou majeures des systèmes de commandes et des systèmes de production en général. L'ingénierie d'usine n'est pas toujours aussi directement impliquée dans la conception des correctifs ou modifications courantes qu'il faut apporter aux installations et aux systèmes de commandes, car dans ces cas-là l'opération adresse ses demandes à l'entretien. Ce sont donc les ingénieurs d'entretien qui doivent réaliser le processus de conception en l'adaptant à la taille du problème à résoudre. Ces modifications peuvent entraîner des révisions, voire la reconception des procédures prescrites d'opération et d'entretien (dont les procédures de cadenassage avec toutes les conséquences qui en découlent). Même si dans la réalité actuelle de la pratique, les ingénieurs qui procèdent à de telles modifications ne sont pas toujours conscients qu'ils agissent comme concepteurs, en fait, la plupart des activités qu'ils réalisent font partie du processus de conception, même si ce processus est parfois grandement simplifié.

Tout comme au niveau international, les politiques en matière de santé et sécurité au travail du Québec préconisent l'élimination à la source des risques reliés à l'utilisation des machines. La phase de conception est d'une importance capitale pour l'intégration de la SST dans les outils, les machines, et les procédés industriels [Gauthier, 1997]. Cette intégration est d'autant plus importante que la complexité du système est grande, ce qui est précisément le cas en ce qui concerne les systèmes automatisés. Or, les chercheurs ont pu constater que les façons de faire en conception des systèmes de production automatisés dans les papeteries ne permettaient que, dans une très faible mesure de favoriser l'élimination des dangers à la source par l'intégration des aspects de sécurité. Plusieurs facteurs sous-jacents à ce constat général ont également été relevés et sont présentés dans les prochains paragraphes.

5.1.1 Utilisation d'un processus de conception systématique

La sécurité d'un système complexe n'est évidemment qu'un des aspects qui doivent être pris en compte lors de sa conception. La sécurité fait partie d'un ensemble de caractéristiques, chacune avec son importance relative et ses contraintes. Bien que la sécurité des travailleurs soit perçue

par la majorité des personnes impliquées dans la conception des systèmes automatisés dans les papeteries comme une caractéristique importante, celles-ci ne parviennent pas toujours à intégrer cet aspect dans la conception. Les aspects temporels, fonctionnels et financiers accaparent la plus grande partie de l'attention des ingénieurs-concepteurs. Par conséquent, l'aspect sécurité est plus souvent traité par des activités de vérification et de révision, isolées de la démarche de conception (vérification *a posteriori* de la conformité aux normes, utilisation de listes-guides, revues de sécurité).

Des études ont démontré que la majorité des ingénieurs de tous les domaines, même s'ils ne manquent pas de sensibilisation ou de motivation pour intégrer la sécurité dès la conception, ne parviennent pas à réaliser cette intégration [Main, B.W., Ward, A.C.]. Cet état de fait n'est donc pas le propre des ingénieurs-concepteurs dans les papeteries. L'absence d'un processus systématique de conception peut contribuer à cette inéquation entre sécurité et conception. Dans les papeteries québécoises, il a été observé que la conception et la modification des installations automatisées n'étaient basées sur aucun processus défini et formel. Bien qu'une démarche commune semble se dégager d'une usine à l'autre, celle-ci est basée en grande partie sur l'expérience des personnes en place. Dans la très grande majorité des usines investiguées au cours de la recherche, il n'existait pratiquement pas de documentation sur le processus ou la démarche à suivre. De plus, les chercheurs n'ont également observé aucun véritable effort de systématisation des activités de conception. Ce constat a d'ailleurs conduit à la nécessité de rendre explicite leur processus commun de conception, ce résultat est présenté à la section 5.2.1.

5.1.2 Recherche et analyse des besoins

Une des toutes premières étapes du processus de conception évoqué précédemment consiste à réaliser une analyse approfondie des besoins des personnes qui utiliseront le système qui doit être conçu. En regard de la sécurité des travailleurs, il est difficile de faire en sorte qu'une intervention humaine quelconque sur un système de production automatisé se fasse de façon sécuritaire, si le contexte et les contraintes associés à cette intervention ne sont pas bien identifiés et compris par le concepteur. En effet, la compréhension des besoins des utilisateurs d'un système est un élément essentiel d'une conception fonctionnelle et optimale. Dans le cas d'un système de production automatisé, les utilisateurs sont nombreux et divers : opérateurs, gens de l'entretien (mécanique, électrique), personnel attitré au nettoyage, ingénieurs de procédé, etc. La définition de ces « clients » ou utilisateurs du système automatisé et la recherche et l'analyse de leurs besoins au moment de la conception ont donc un impact important sur le niveau de sécurité de ce système une fois en opération.

La recherche a permis de constater que les personnes chargées de la conception des systèmes automatisés dans les papeteries québécoises n'utilisaient aucune approche systématique de recherche et d'analyse des besoins des utilisateurs. Bien que l'on consulte de plus en plus le personnel d'opération et de l'entretien lors de la conception, ces consultations ne se font pas

toujours de la bonne manière ni auprès des bonnes personnes. Il en résulte de nombreuses difficultés à obtenir les informations pertinentes et le manque de temps est généralement invoqué pour ne pas réaliser cette étape cruciale.

5.1.3 Multidisciplinarité des activités de conception

L'analyse approfondie des besoins lors de la conception de systèmes automatisés révèle généralement des problèmes qui donnent souvent lieu à des interrelations complexes. Dans la majorité des cas, la résolution de ces problèmes de sécurité du travail doit faire appel à plusieurs disciplines, ce qui exige une réelle collaboration entre de nombreux experts de ces différentes disciplines [BRAUER, R.L., 1994] [GAUTHIER, F., CHARRON, F., 1995].

Parmi les personnes qui sont habituellement impliquées dans la conception ou la modification d'installations automatisées dans les papeteries, on retrouve des gestionnaires, des ingénieurs de projets (de l'usine, de la maison mère), des ingénieurs de procédés, des techniciens et ingénieurs d'instrumentation et contrôle, des consultants et autres sous-traitants, des responsables d'opération, etc. Or, il a été observé que plusieurs projets de conception ou de modifications de systèmes automatisés avaient souffert de certaines difficultés associées au manque de collaboration entre ces différentes disciplines. L'équipe de recherche a par exemple relevé de nombreux cas de manque de coordination et de coopération pour élaborer les besoins et analyser les risques.

L'approche de l'ingénierie simultanée est maintenant reconnue par plusieurs auteurs [JARVINEN, J., KARWOWSKI, W. (1995)], [GRAHAM, J., KARWOWSKI, W., PARSAEI, H., ZURADA, J. (1994)] comme étant celle qui offre la possibilité de faire le lien entre la conception et la sécurité en incluant, dès le début de la conception, les connaissances des divers spécialistes dans une méthodologie globale, systématique et multidisciplinaire [RAHEJA, D.G., 1991] [MAIN, B.W., WARD, A.C., 1992]. L'intégration de la sécurité dans le processus de conception des systèmes automatisés doit se faire dans un contexte de multidisciplinarité favorisé par les échanges et les communications entre les intervenants, tel que le préconise la philosophie de l'ingénierie simultanée.

Des problèmes de communication entre les différents intervenants ont par ailleurs été observés au cours de la recherche. Dans le secteur des pâtes et papiers, la philosophie de l'ingénierie traditionnelle séquentielle, même si plusieurs activités sont réalisées en parallèle, est davantage prisée que celle de l'ingénierie simultanée. Ces lacunes au niveau de la communication et de l'habileté à travailler étroitement en équipes multidisciplinaires affectent directement la capacité des ingénieurs-concepteurs des systèmes automatisés à véritablement intégrer les aspects de la sécurité au moment de la conception de ces systèmes.

5.1.4 Utilisation des outils et méthodes d'analyse des risques

L'utilisation de méthodes rigoureuses et systématiques d'analyse des risques dans le processus de conception d'installations automatisées est essentielle en raison notamment de la complexité de ces systèmes et des nombreuses situations dangereuses qu'ils peuvent engendrer. Il existe plusieurs méthodes d'analyse des risques qui peuvent être utilisées lors de la conception des machines industrielles. Des études ont cependant démontré que plusieurs ingénieurs-concepteurs de tous les domaines ne connaissent pas ou ne maîtrisent pas les méthodes existantes pour l'analyse des risques [MAIN, B.W., WARD, A.C., 1992]. Les ingénieurs et autres personnes responsables de la conception des systèmes automatisés dans les papeteries ne font pas exception. Lors de la recherche, il a été constaté que les papeteries québécoises avaient un très faible taux d'utilisation des méthodes d'analyse des risques. Les raisons évoquées sont principalement le manque de temps et de connaissances nécessaires à leur application. Bien que quelques expériences d'utilisation de méthodes et d'outils tels le *HAZOP* (*Hazard and Operability Study*), la méthode *What-if Analysis* et les listes-guides ont été répertoriées, ces rares applications n'avaient pas été réalisées en conception, mais plutôt dans le cadre d'analyses *a posteriori* de systèmes en place.

5.1.5 Utilisation de technologies sécuritaires

Malgré les lacunes observées en ce qui a trait aux aspects méthodologiques et organisationnels de la conception, les observations faites au cours de la recherche ont permis de constater que l'état de la situation nord-américaine en matière de sécurité des systèmes de commandes était généralement respecté dans les papeteries québécoises. Néanmoins, certaines lacunes ont été observées notamment en ce qui concerne les fonctions et dispositifs de sécurité (interverrouillage, arrêts d'urgence, utilisation de dispositifs conçus pour la surveillance des procédés pour remplir une fonction de sécurité, facilité des modifications aux programmes, etc.).

Ces défauts dans la conception des systèmes de commandes peuvent entraîner une série d'événements ou d'interventions sur la machine qui exposent les travailleurs à des risques élevés d'accidents graves. Au-delà du débat entourant l'équation fiabilité-sécurité des technologies programmables, il n'en reste pas moins que le choix des technologies ainsi que leur agencement peut avoir un impact considérable sur la sécurité d'un système. Le milieu lui-même souhaite d'ailleurs que des améliorations significatives soient apportées sur ce plan.

5.2 Principaux résultats

Les résultats qui suivent sont regroupés en cinq sous-sections. La première concerne le processus de conception informel que la recherche a permis de rendre explicite dans un format de type schéma très détaillé. La seconde présente les améliorations intégrées dans ce processus

relativement commun à la grande majorité des usines. La troisième sous-section donne une description des compétences à améliorer par la formation. La quatrième présente sommairement le programme de formation, lequel est détaillé dans l'annexe E. Finalement, la dernière sous-section présente l'approche pédagogique.

5.2.1 Processus de conception de l'industrie papetière du Québec

Les constats décrits plus haut ont orienté de manière décisive les solutions et les stratégies pour l'atteinte des objectifs du projet.

Selon la majorité des chercheurs et des praticiens dans le domaine, pour une véritable intégration de la sécurité dans les machines, cet aspect doit être intimement lié aux activités de conception et ce, durant tout le processus de conception [STOOP, J.A., 1990] [HUNTER, T.A., 1992] [REUNANEN, M., 1993ab]. Un processus de conception est le cheminement systématique des activités nécessaires à la réalisation d'un produit, d'un outil ou d'un système de production. Dans un tel processus, toutes les activités, les ressources requises et leurs organisations sont explicitement définies. La figure 5.2.1a illustre schématiquement l'intégration des aspects de sécurité tout au long du processus de conception.

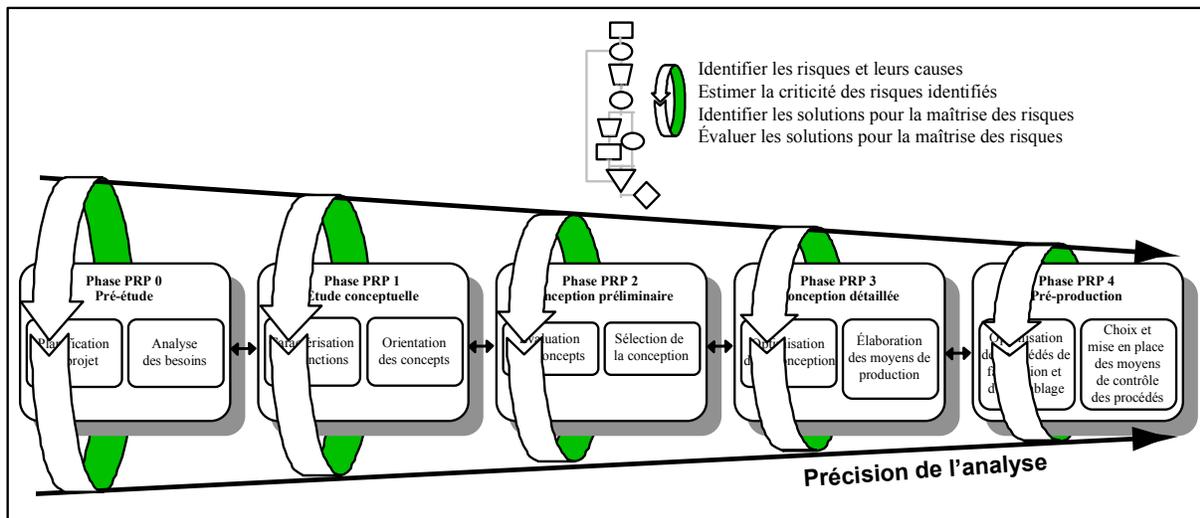


Figure 5.2.1a Schéma de l'intégration de la démarche d'analyse et de maîtrise des risques dans le processus de conception

Cependant, comme le secteur des pâtes et papiers est très conservateur et mise sur des méthodes et des techniques éprouvées, il était essentiel que les concepteurs puissent se reconnaître dans le processus de conception intégrant les aspects de sécurité. Les chercheurs ont donc, dans un premier temps, extrait le processus de conception informel qui se dégageait de l'ensemble des usines visitées afin de le rendre explicite et formel. Une validation de ce processus auprès de nombreux intervenants du secteur a également été réalisée.

Dans ce processus, chacune des disciplines (mécanique, tuyauterie, électricité, structure, contrôle, instrumentation, etc.) réalise des activités de conception qui leur sont propres. Au total, le processus comporte près de 130 activités toutes interreliées (ce processus détaillé est illustré à l'annexe C). La figure 5.2.1b résume les sept principales phases de ce processus de conception qui correspond à l'explicitation du savoir-faire actuel des concepteurs de cette industrie.

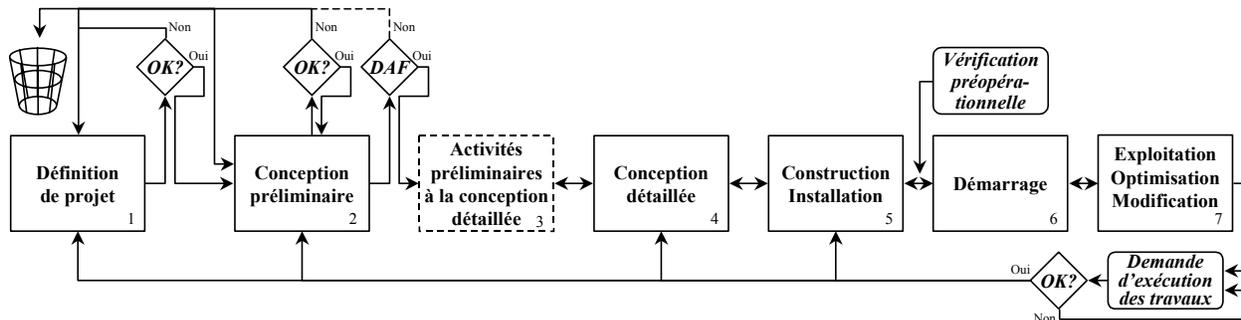


Figure 5.2.1b - Processus global de conception des systèmes de production automatisés

5.2.2 Optimisation du processus global de conception de l'industrie papetière du Québec

En cohérence avec les choix faits en fonction des constats décrits plus haut, la stratégie retenue pour améliorer la sécurité consiste à optimiser le processus de conception à partir du processus existant, authentique et validé auprès du secteur. Des principes méthodologiques associés à la gestion du risque, tels que l'analyse des besoins, l'analyse des risques et les stratégies de conception pour la maîtrise des risques devaient être arrimés au processus existant. Cependant, la culture, les besoins et attentes de même que les contraintes spécifiques des concepteurs de ce secteur leur font percevoir plusieurs techniques de conception sécuritaire comme des méthodes théoriques complexes et très lourdes à appliquer en pratique. Le processus optimisé devait tenir compte de cette réalité du secteur (voir figure 5.2.2a). Les méthodes d'analyse des besoins et d'analyse du risque ont donc été choisies en fonction de leur efficacité et de leurs affinités avec le processus de conception. Ces méthodes ont ensuite été adaptées et intégrées judicieusement afin de ne pas alourdir indûment le processus existant, en conformité avec les besoins et les attentes des concepteurs eux-mêmes. La figure suivante schématise ce processus optimisé.

Concrètement, des activités d'analyse des besoins et d'analyse des risques sont ajoutées dans toutes les phases du processus. En ce qui a trait à l'analyse des besoins, plusieurs méthodes d'analyse ont été considérées : l'analyse fonctionnelle, le GRAFCET, le GEMMA entre autres. Bien que présentant toutes un excellent potentiel, ces méthodes ont été jugées trop complexes, lourdes ou inadéquates par les concepteurs du secteur. C'est pourquoi des méthodes simples et axées sur une approche multidisciplinaire et sur une communication efficace ont plutôt été favorisées. *L'approche par points de vue successifs* a été retenue. Cette approche permet de mieux comprendre le système à concevoir et ses répercussions sur le personnel en dressant la liste

des principales fonctions en considérant successivement le produit, la production visée, le procédé utilisé, la partie commande. Comme l'illustre la figure 5.2.2a, une *revue de la liste des besoins* a également été introduite dans le processus.

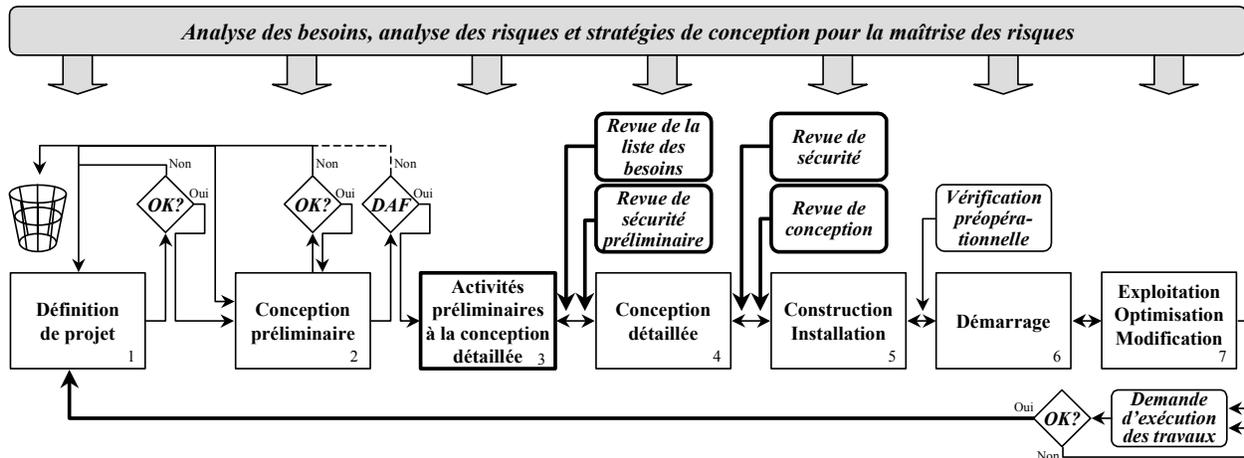


Figure 5.2.2a - Processus global de conception optimisé

Tout comme l'analyse des besoins, l'analyse des risques doit être intégrée le plus tôt possible dans le processus de conception. C'est en s'inspirant, entre autres, des travaux de Gauthier que s'est concrétisée l'intégration d'une démarche d'analyse et de maîtrise des risques au processus global de conception. Cette démarche prévoit d'abord une étape d'analyse rétrospective, lors de laquelle les ingénieurs-concepteurs consultent les opérateurs et le personnel d'entretien, les rapports d'accidents ou d'incidents, etc. Cet exercice a pour but de dresser la liste préliminaire des dangers typiques au système à concevoir avant même de débiter la conception proprement dite. Par la suite, l'application de quelques méthodes d'analyse prospective des risques est prévue à des étapes précises de la conception. À titre d'exemple, il est prévu de réaliser une *analyse des modes de défaillance et de leurs effets* (AMDE) lors de la préparation des schémas de moteurs, ou encore une HAZOP (*HAZard and OPerability study*), lors de l'élaboration du schéma du procédé et de l'instrumentation (P&ID). Comme le montre aussi la figure 5.2.2a, des revues de sécurité formelles ont également été intégrées au processus de conception. Enfin, pour chacun des dangers identifiés, des solutions doivent être proposées selon une approche rigoureuse basée sur le principe de l'échelle de priorités des solutions pour la maîtrise des risques.

Le processus optimisé présenté ici est le résultat d'un effort d'analyse et de compréhension du processus de conception informelle utilisé dans les papeteries québécoises. À ce processus ont été intégrés des éléments méthodologiques qui répondent aux contraintes et aux besoins des concepteurs concernés et qui leur permettront de prendre plus efficacement en compte les aspects de la sécurité des systèmes automatisés.

Par ailleurs, la représentation schématique du processus détaillé (annexe C) apporte d'innombrables bénéfices aux concepteurs. En effet, pour ne mentionner que quelques-uns, soulignons les points suivants :

- faciliter la communication entre les divers intervenants des diverses disciplines;
- faciliter le repérage et la priorisation des actions;
- faciliter l'évaluation des enjeux et améliorer le processus décisionnel;
- permettre aux acteurs de mieux se situer dans le processus (particulièrement ceux qui ne sont pas familiers avec ce type de processus) et de mieux mesurer leur influence réciproque;
- favoriser l'anticipation des dangers, des risques et des conséquences des choix à faire plus en amont dans le processus.

Cette représentation a également permis à l'équipe de recherche de mieux comprendre les activités des concepteurs et d'en tirer avantage pour construire le programme de formation en **parfaite cohésion avec ce processus authentique.**

5.2.3 Compétences du programme de formation

Comment décrire explicitement un programme de formation axé sur le transfert de compétences? Dans un premier temps, en présentant les compétences à transférer, ce qui fait l'objet de cette section. Dans un deuxième temps, en montrant tous les liens entre ces compétences, le processus de conception validé (décrit précédemment à la section 5.2.2) et tous les autres éléments du programme de formation (sous-compétences, objectifs d'apprentissage, contenus disciplinaires, modalités pédagogiques, séquences d'apprentissage, les durées, les documents de support à la formation et toute information nécessaire à la formation) dans un seul tableau croisé complexe. Ce tableau contenant tous les liens est présenté à la section 5.2.4

Les données et les observations recueillies et analysées conjointement par les membres de l'équipe multidisciplinaire dans le cadre de la recherche ont permis de reconnaître la nécessité d'améliorer huit compétences en cohérence étroite avec le processus de conception décrit plus haut. Ces compétences sont : 1) le travail en équipe, 2) l'utilisation d'une méthodologie de conception efficace et sécuritaire, 3) la communication, 4) l'éthique et le professionnalisme, 5) l'analyse des besoins, 6) l'application de technologies sécuritaires, 7) la gestion du risque et 8) la promotion de l'approche. L'interrelation entre les huit compétences est illustrée à la figure 5.2.3.1. La numérotation qui précède ne vise que le repérage dans la figure et ne représente pas l'importance relative d'une compétence. Cependant, dans la dynamique du programme, l'une des compétences – méthodologie de conception sécuritaire et efficace – gère la totalité de l'organisation des composantes du programme et des activités de formation. Ce choix repose sur le fait que dans la « vraie vie », des ingénieurs qui interviennent dans la conception de systèmes automatisés, une méthodologie de conception efficace doit encadrer l'analyse des besoins, la gestion du risque et le choix des technologies. De plus, une telle méthodologie de conception exige des modalités fonctionnelles de travail en équipe et des stratégies de communication

appropriées. Elle exige aussi que les ingénieurs endossent un haut degré de professionnalisme et que, dans une certaine mesure, ils assument la responsabilité de la promotion de la sécurité dès les premiers moments de la conception des systèmes automatisés dans leur milieu de travail, tant auprès des opérateurs et des personnes chargées de l'entretien qu'auprès des dirigeants de l'entreprise.

L'interrelation entre les huit compétences est illustrée à la figure 5.2.3.1 . Rappelons qu'une compétence est une intégration de savoirs, de savoir-faire et de savoir-être ou attitudes. C'est donc dans sa maîtrise et non dans sa définition qu'une compétence prend tout son sens et toute son importance. Ainsi, même si la définition d'une compétence peut être en théorie ou en apparence simple, sa maîtrise peut néanmoins exiger un temps considérable.

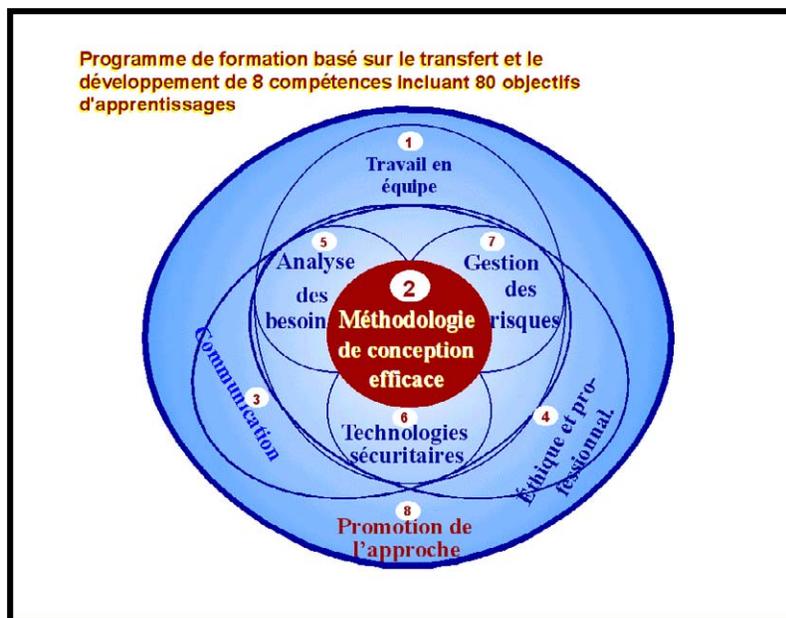


Figure 5.2.3.1 Les huit compétences à développer

À ces compétences se rattachent un certain nombre de sous-compétences. La fonction des sous-compétences est de mieux définir la compétence en établissant des thèmes spécifiques sur lesquels la formation sera axée. Les sous-compétences⁷ se définissent elles-mêmes en objectifs d'apprentissage, nécessaires à l'acquisition de la sous-compétence et ultimement, de la compétence. En partant de la compétence centrale, chacune des compétences est brièvement décrite ci-après.

⁷ L'annexe D de ce rapport présente sous forme de tableau les sous-compétences, les objectifs d'apprentissage et les contenus disciplinaires associés à chaque compétence.

5.2.3.1 Méthodologie de conception efficace et sécuritaire

Cette compétence touche l'élaboration et l'application d'une méthodologie, d'une démarche, d'un processus systématique de conception, qui intègre de façon simultanée toutes les considérations de conception en plus des aspects fonctionnels, financiers et temporels. Comme l'illustre la figure 5.2.3.1, cette compétence est au cœur du programme de formation. Ainsi, la méthodologie appliquée sera intégratrice des autres compétences telles que l'analyse des besoins et la gestion du risque. Elle fera également en sorte d'inclure des éléments de validation de la conception, notamment du point de vue de la sécurité et ce, tout au long du processus. Par l'acquisition de cette compétence, les acteurs concernés seront également mieux en mesure de prendre en compte les normes et les règlements applicables, d'intégrer les technologies sécuritaires dans la conception et de produire une documentation adéquate et utile à la conception.

Tel qu'il en a été question précédemment, la majorité des chercheurs et des praticiens dans le domaine reconnaissent que pour une véritable intégration de la sécurité dans les équipements industriels, cet aspect doit être intimement lié aux activités de conception et ce, durant tout le processus de réalisation du produit. Par ailleurs, la recherche a démontré que, dans les papeteries québécoises, la conception et la modification des installations automatisées n'étaient basées sur aucun processus défini et formel. On y retrouve peu d'écrits sur le processus de conception lui-même, ce qui rend à peu près impossible la systématisation ou l'optimisation des activités et par le fait même, l'intégration des aspects de sécurité dans le processus.

5.2.3.2 Analyse des besoins

L'élaboration et l'analyse des besoins permettent au concepteur de définir clairement les besoins et les contraintes par rapport au système à concevoir. Des études récentes ont démontré que plusieurs accidents impliquant divers types de machines avaient été au moins en partie causés par une mauvaise adaptation aux besoins et à un usage sécuritaire. Tel qu'il en a été question précédemment, les ingénieurs chargés de la conception des systèmes automatisés dans les papeteries québécoises n'utilisent de façon générale aucune approche systématique de recherche et d'analyse des besoins des utilisateurs. Une certaine recherche des besoins des utilisateurs est parfois entreprise, mais cette démarche manque trop souvent de rigueur et de profondeur. Considérant la complexité grandissante des systèmes de production automatisés, l'expression claire et nette de l'ensemble des besoins relatifs à ces systèmes est donc essentielle à la rencontre des objectifs de sécurité. Il est donc essentiel qu'ils développent cette compétence et qu'ils l'appliquent dans leur travail.

La compétence en analyse des besoins est composée de plusieurs sous-compétences qui permettent de mieux définir ses impératifs. Les personnes chargées de la conception doivent d'abord savoir recueillir et reconnaître les différents types de besoins (besoins de fonctionnalité, de performance, de confort, de sécurité, etc.) des différents types d'utilisateur ou des personnes

œuvrant en contact direct ou indirect avec le système automatisé (opérateurs, techniciens de l'entretien, ingénieurs de procédé, etc.). Pour ce faire, ils doivent également connaître et savoir appliquer les différentes techniques et méthodes de cueillette de besoins, telles que l'analyse de la tâche, l'analyse fonctionnelle, les groupes de discussion, etc. Ils doivent enfin être en mesure de prioriser ces différents besoins, à l'aide des méthodes adéquates, afin de savoir optimiser les compromis lorsque certains besoins sont techniquement ou économiquement difficiles à satisfaire pleinement. Évidemment, cette compétence doit pouvoir s'exercer tout au long du processus de conception afin d'assurer une mise à jour constante des besoins de toutes les personnes concernées par le système.

Cette compétence est inspirée par la nécessité de prendre en compte l'ergonomie de la conception des systèmes automatisés. Sans en faire des ergonomes, l'acquisition de cette compétence par les concepteurs leur fera prendre conscience de la nécessité d'adapter la machine à l'homme dans le but d'atteindre un niveau plus élevé de sécurité, de fonctionnalité et de performance.

5.2.3.3 Technologies sécuritaires

L'intégration de la sécurité dans la conception de systèmes automatisés complexes ne peut se faire sans l'apport de technologies dites sécuritaires. Les ingénieurs-concepteurs se doivent donc d'être au fait de ces technologies et doivent savoir où, quand et comment les intégrer au système. L'acquisition de cette compétence par les ingénieurs-concepteurs vise donc à leur faire connaître les moyens disponibles, au niveau des systèmes et dispositifs de commande et comprendre leur hiérarchie pour maîtriser les risques associés aux systèmes automatisés. De plus, cette compétence vise aussi à leur fournir les outils nécessaires pour être effectivement capables d'intégrer et d'appliquer les dispositifs de commande et de sécurité de façon à éliminer ou à réduire les risques. Cette compétence évolue directement avec la compétence de gestion du risque pour ce qui a trait à la sélection des mesures ou des dispositifs pour la maîtrise des risques.

5.2.3.4 Gestion du risque

La compétence gestion du risque englobe les notions d'identification des dangers, d'évaluation du risque et de sélection des solutions pour la maîtrise des risques. Tel qu'il en a été question précédemment, les ingénieurs et autres personnes responsables de la conception des systèmes automatisés dans les papeteries n'utilisent pratiquement jamais de méthodes systématiques pour l'identification des dangers. Ces méthodes ont malheureusement la réputation d'être fastidieuses et très exigeantes en termes de temps. Or, il est possible d'utiliser ces méthodes de façon très efficace. La compétence de gestion du risque vise, entre autres, à ce que les ingénieurs-concepteurs soient en mesure de sélectionner les méthodes adéquates et à les appliquer efficacement pour identifier les dangers et leurs causes à chaque étape du processus de conception. Elle vise également à les rendre capables d'évaluer les risques, c'est-à-dire de définir

le niveau de criticité que présente un certain danger en fonction de la probabilité d'occurrence de l'événement à risque et de la gravité de ses conséquences. Enfin, cette compétence doit faire en sorte que les ingénieurs-concepteurs sachent reconnaître les possibilités de maîtriser les risques, basées sur la hiérarchie des solutions pour la maîtrise des risques, en agissant sur les causes identifiées.

5.2.3.5 Travail en équipe

Cette compétence vise à améliorer la capacité des personnes impliquées dans la conception des systèmes automatisés de façon à évoluer efficacement en équipes multidisciplinaires. En effet, une étroite collaboration entre les différentes disciplines impliquées dans la conception (gestionnaires, ingénieurs de projets, ingénieurs de procédés, techniciens et ingénieurs d'instrumentation et contrôle, responsables d'opération, etc.) est essentielle pour en arriver à identifier, puis à solutionner efficacement les problèmes de sécurité. Bien qu'il existe dans les papeteries québécoises une certaine forme de travail d'équipe, certains principes de base et certaines façons de faire peuvent être grandement améliorés.

Les sous-compétences rattachées au travail d'équipe permettront aux personnes concernées de situer l'importance du véritable travail en équipe multidisciplinaire dans la conception des installations automatisées, de comprendre la dynamique d'un travail d'équipe efficace, d'appliquer cette dynamique dans toute la démarche de réalisation du projet. L'acquisition de cette compétence nécessite cependant qu'une autre compétence fasse partie du bagage des concepteurs : la communication.

5.2.3.6 Communication

Cette compétence peut contribuer significativement au travail d'équipe. En effet, des lacunes au niveau des communications peuvent rendre difficile la mise en pratique de la compétence du travail en équipe. En l'absence d'un processus de communication efficace avec les utilisateurs potentiels et avec toutes les personnes impliquées dans la conception, l'intégration de l'aspect sécurité dans les systèmes automatisés peut devenir ardue, voire impossible. La compétence en communication vise à améliorer la capacité des personnes impliquées dans la conception des systèmes de production automatisés à communiquer efficacement avec des gens de différents niveaux hiérarchiques et de différentes disciplines. Elle vise également à ce que les personnes concernées soient en mesure de rendre explicites les savoirs d'expérience des autres, d'abord en les reconnaissant, puis en les traduisant de façon adéquate.

Les ingénieurs ont généralement un modèle très réducteur du processus de communication. En effet, leur modèle de base ne considère que l'émetteur, le récepteur et le message en termes de contenu, dont la qualité est principalement assurée par la syntaxe. Ce modèle néglige tous les

aspects relationnels et interrelationnels de la communication, lesquels sont porteurs du codage sémantique. Sans ce code, il ne leur est pas possible de comprendre les valeurs et, par conséquent, les motivations de leurs partenaires dans l'adhésion ou le refus d'adhésions aux innombrables choix et compromis que toute conception de systèmes complexes impose.

5.2.3.7 Éthique et professionnalisme

Cette compétence, déjà acquise chez la grande majorité des ingénieurs, reflète essentiellement la prise de conscience du rôle critique que peuvent jouer les concepteurs d'un équipement complexe sur la sécurité de ses utilisateurs. Dans le contexte du programme de formation développé, la compétence spécifique à développer sera la capacité de reconnaître les situations où l'éthique et le professionnalisme sont en jeu dans le contexte de conception des installations automatisées.

5.2.3.8 Promotion de l'approche

Il est peu probable qu'un programme de formation tel que celui envisagé, puisse rapidement rejoindre toutes les personnes impliquées dans la conception des installations automatisées dans toutes les usines du Québec. Ainsi, les quelques personnes qui seront formées et qui auront acquis les compétences visées devront, du moins au départ, fonctionner dans le même environnement que dans lequel elles fonctionnaient initialement. Ces personnes devront donc faire preuve d'une certaine capacité à influencer leurs collègues pour qu'eux aussi prennent conscience de la nécessité de tenir compte des aspects de sécurité dans toutes les phases de la conception. C'est ici qu'entre en jeu la compétence de promotion de l'approche, qui vise à permettre aux personnes formées d'intégrer des outils particuliers de la communication nécessaires pour faciliter la promotion de leur approche de conception auprès de leurs supérieurs, collègues et sous-traitants.

Comme l'illustre la figure 5.2.3.1, cette dernière compétence englobe toutes les autres compétences. En effet, c'est en sachant faire la promotion de l'approche de conception à laquelle elles ont été formées que les personnes pourront véritablement créer un lieu propice à la mise en œuvre des autres compétences qu'elles auront acquises.

5.2.4 Programme de formation

Le programme de formation présenté correspond en fait à la structure complète de la formation à être réalisée. Ce programme comporte tous les éléments et tous les liens entre les objectifs d'apprentissage, les contenus disciplinaires, les modalités pédagogiques, les séquences d'apprentissage et la description de tout le matériel pédagogique requis. Il s'avère donc l'outil essentiel à l'élaboration finale d'une formation de même qu'à la préparation des formateurs et de l'ensemble du matériel requis en tant que tel pour donner cette formation à un groupe selon les

modalités et le temps prévus. Compte tenu de sa très grande spécificité, cet outil vise intrinsèquement un groupe de formateurs actuellement relativement restreint parce que très spécialisés, experts des divers domaines disciplinaires et ayant développé des compétences appropriées au type de formation (approche par problème en « team teaching ») et au contexte socioculturel et industriel du secteur des pâtes et papiers.

La description de ces huit compétences permet de constater qu'elles ne sont pas indépendantes dans le programme de formation proposé. En effet, ces compétences sont toutes interreliées et l'acquisition complète d'une compétence est souvent conditionnelle à l'acquisition des autres compétences. Tel que souligné précédemment, la figure 5.2.3.1 illustre d'ailleurs ces interrelations entre les huit compétences. De ce fait, l'acquisition de ces compétences par les ingénieurs-concepteurs doit se faire à travers un cheminement logique qui permet cet arrimage entre les compétences. Le cheminement logique sur lequel s'appuie le programme de formation développé est en fait le processus de conception tel que rendu explicite par la recherche. Le schéma du processus, même à un niveau très détaillé, n'en demeure pas moins qu'une représentation théorique du processus réel et authentique qui se recrée chaque fois qu'un projet doit être initié. Toutefois, cette représentation conforme (qui est en soit un des résultats importants du projet) aux critères généralement utilisés par les ingénieurs-concepteurs de systèmes automatisés dans les papeteries a été utilisée comme la référence de base pour la construction du programme de formation. L'équipe de recherche s'en est donc servi comme d'un outil de travail pour interrelier chacune des compétences dans chacune des activités du processus de conception. Ces interrelations incluent les liens avec les entrées et les sorties de chacune de ces activités conditionnées par leurs interdépendances. Cette représentation permet de plus, d'associer les ressources requises (matérielles et humaines) pour réaliser chaque activité du processus de conception afin d'en contextualiser davantage les interrelations.

C'est ainsi qu'une grille (tableau croisé multidimensionnel présenté à l'annexe E) a été choisie comme format et support à la description du programme de formation. Les éléments pédagogiques relatifs aux huit compétences ont été arrimés très spécifiquement aux activités de conception. Le processus constitue donc la colonne vertébrale du programme de formation et ce dernier est en fait entièrement contenu dans la grille où sont également codifiés tous les liens nécessaires à la préparation spécifique de la formation en tant que telle de même que tous les matériels pédagogiques requis.

Il importe aussi de saisir que cette grille est essentiellement un outil très spécifique conçu à l'intention des formateurs et que ceux-ci, compte tenu de leur expertise, sont les mieux placés pour s'approprier l'outil et l'adapter à leurs besoins. Ainsi cette grille n'est pas figée mais peut être constamment améliorée en fonction de l'expérience et de la réalité, laquelle évolue constamment.

En pratique, cette grille comporte cinq grandes catégories de colonnes :

- 1) Les repères relatifs au processus de conception, dont la discipline concernée, l'activité spécifique, le type de livrable en sortie et son identification.
- 2) Le lien avec les compétences concernées par chaque activité spécifique incluant, entre autres, les sous-compétences et les objectifs d'apprentissage.

- 3) Le lien avec les contenus disciplinaires relatifs à chaque élément des deux catégories précédentes.
- 4) Les formules pédagogiques (comportant, entre autres, les séquences d'apprentissage, les modalités pédagogiques, la durée prévue de la séquence et son interrelation avec chacun des apprentissages précédents ou à venir et son contexte d'apprentissage.
- 5) Le lien avec le matériel pédagogique requis. Cette dernière catégorie comporte une classification détaillée de chaque type de matériel requis par rapport à l'utilisateur final de ce matériel et par rapport à la formule pédagogique concernée. Elle contient également les liens hypertextes qui réfèrent à une description plus détaillée du matériel pédagogique à produire, aux ressources requises et aux auteurs potentiels de ces documents.

La cohérence verticale de cette grille est assurée par les liens séquentiels et relationnels croisés du processus de conception. En pratique, ces liens sont repérables en consultant les colonnes identifiant le numéro de l'activité et son nom que l'on retrouve également dans le schéma détaillé du processus de conception. Il faut aussi ajouter que pour chaque activité du processus, il y a un lien avec les groupes de personnels potentiellement concernés par l'activité, afin de bien situer la clientèle cible de chaque partie de la formation et son contexte relationnel. Finalement, soulignons que pour faciliter la mise en œuvre de la formation, cette grille comporte également les colonnes permettant d'identifier les acteurs et auteurs ou responsables de chacun des éléments du programme. Cette grille est donc principalement l'outil de base pour la construction de la formation réelle qui sera donnée aux concepteurs.

5.2.5 Approche pédagogique

Le programme de formation doit fournir aux participants toutes les occasions nécessaires de développer les compétences reconnues comme étant à la base d'un haut degré d'expertise dans le domaine de la conception sécuritaire des systèmes de production dans l'industrie papetière et il faut également qu'il offre le soutien approprié en matière de transférabilité des apprentissages dans les situations réelles de travail. Dans cette optique, il devenait crucial de sélectionner une approche rigoureuse sur le plan pédagogique de sorte que les apprentissages souhaités se produisent dans le cadre même de la formation. Les membres de l'équipe de recherche ont développé l'ensemble du matériel pédagogique en ayant à l'esprit que chaque étape de la formation devait être inscrite dans une dynamique de contextualisation, de décontextualisation et de recontextualisation des apprentissages.

L'approche par problèmes (APP) a été privilégiée comme modalité pédagogique pour encadrer la planification et la réalisation des situations d'apprentissage parce qu'elle permet de mettre en œuvre la triade «contextualisation-décontextualisation-recontextualisation». Dans le cadre d'une formation de type APP, le participant est constamment confronté à des situations problèmes [POCHET, 1995, dans TURGEON, J., 1998] — contextualisation — qui l'obligent à effectuer une analyse systématique du problème en question, à réaliser une recherche de solutions basées sur le recours à de nouvelles connaissances et à résoudre le problème. Dans un tel contexte de

formation, l'accent est placé sur l'authenticité professionnelle des situations problèmes compte tenu du fait que, de cette manière, on introduit des points d'ancrage pour ce qui est de la construction des nouvelles connaissances servant de ressources aux compétences visées par chacune des situations problèmes.

À la suite de la résolution d'une situation problème, les formateurs entreprennent une démarche de validation des solutions proposées et ils prévoient alors des moments de décontextualisation, ces moments étant axés sur la construction systématique et hors «contexte» des connaissances jugées nécessaires pour que le recours aux compétences soit judicieux et réfléchi dans les situations réelles de travail dans les papeteries. Après cette phase de décontextualisation, les formateurs proposent une nouvelle situation problème qui peut soit assurer la recontextualisation des apprentissages venant d'être réalisés, soit provoquer de nouveaux apprentissages tout en permettant la réutilisation, donc le transfert, de certains apprentissages effectués en amont lors de la formation.

Dans un programme de type APP, il existe plusieurs possibilités d'opérationnalisation des situations de contextualisation et de recontextualisation. Le présent programme accorde la priorité à des mises en situation (MES). Dans cette logique, l'ensemble des objectifs d'apprentissage de même que leurs contenus s'arriment à des MES issues du contexte de travail des personnes en formation. Pour répondre aux critères d'authenticité et de complexité de l'APP, les MES seront élaborées par des professionnels ayant une très grande expérience dans l'industrie papetière du Québec, à partir de cas réellement vécus par ceux-ci et en prenant soin de ne pas les simplifier. En plus de favoriser l'atteinte des objectifs d'apprentissage, ces exigences particulières pour l'élaboration des MES permettront de mieux tenir compte de la culture spécifique du secteur, de favoriser une meilleure prise de conscience de celle-ci, et éventuellement de modifier définitivement certaines façons de faire.

De plus, il faut que le format des MES soit varié, nécessitant tantôt un travail individuel d'analyse, tantôt une forte interaction entre les personnes en formation. Il est également prévu que certaines de ces MES se déroulent en usine. À titre d'exemple, une d'entre-elles prévoit l'analyse, du point de vue de la sécurité, d'une partie de machine, dans une usine d'un des participants. Il est aussi prévu de faire interagir les participants avec différents personnels d'usines (opérateurs, mainteneurs, responsable SST, etc.) invités à la formation, de même qu'avec des ingénieurs-conseils. La variété des MES permettra le développement des huit compétences visées et, par conséquent, l'atteinte des divers objectifs d'apprentissage.

Dans l'APP, la théorie (ou contenus disciplinaires) est abordée dans une étape de décontextualisation, **après** l'analyse du problème. Les nouvelles connaissances, jugées pertinentes en fonction de l'acquis antérieur des personnes en formation, sont introduites au moment opportun. Conséquemment, les objectifs d'apprentissage et leurs contenus devront être revus et adaptés en fonction des besoins spécifiques des personnes constituant le groupe de formation, de même qu'en fonction de leurs acquis antérieurs. Par exemple, lors de la recherche, il a été déterminé que l'analyse fonctionnelle, quoiqu'elle soit une méthode d'identification et d'analyse des besoins très systématique et complète, imposait un trop grand changement de culture pour l'ingénieur-concepteur de l'industrie papetière. Toutefois, selon la composition du

groupe de personnes en formation et de leurs acquis respectifs, cette méthode pourrait devenir le choix premier pour renforcer l'analyse des besoins. Ainsi, les formateurs devront, en temps réel, faire preuve d'une très grande adaptabilité de manière à répondre adéquatement aux besoins des participants à la formation compte tenu des compétences visées.

Dans un cadre d'APP, les formateurs ne s'interdisent pas de recourir à des exposés théoriques qui poursuivent l'objectif, lors d'une phase de décontextualisation, d'intervenir sur la systématisation et la structuration de connaissances particulières jugées essentielles pour la mise en œuvre judicieuse des huit compétences. Lors de la formation, le *coaching* sera utilisé en complémentarité avec l'APP dans la mesure où il facilite les prises de conscience chez chacun des participants, il permet de déstabiliser davantage ces derniers, suscitant ainsi une plus grande ouverture à l'apprentissage, il soutient chacun dans l'introspection nécessaire pour mieux comprendre ses propres résistances au changement et ensuite trouver des modalités pour les vaincre.

Dans un processus de formation, le *coaching* favorise l'ouverture d'esprit chez chacun des participants, tout en permettant aux formateurs de mieux comprendre leurs besoins réels en formation. En bout de ligne, l'approche *coaching* renforce l'APP et permet de mieux circonscrire les contenus disciplinaires.

5.3 Principales retombées du projet

Avant même d'être entièrement complété le projet avait déjà plusieurs retombées. En effet, il a donné lieu à la tenue d'une conférence internationale sur la sécurité des systèmes de commandes industrielles. Cette conférence s'est tenue à Montréal en octobre 1999 et a réuni des experts scientifiques et des praticiens. Cet événement a permis, entre autres, de confronter la réalité du monde industriel en termes de besoins d'une part et d'autre part, la réponse du milieu scientifique en termes d'axes, d'approches de recherche et de solutions.

Ce projet a aussi donné des fruits du côté de la relève afin d'assurer un potentiel de pérennité. La création de FACCE+ est une autre retombée directe du projet. Cette société privée s'est donné pour mission de dispenser une formation de qualité axée sur l'amélioration des compétences en conception efficace et sécuritaire. Ce qui correspond à la prise en charge directe des résultats de la recherche aux fins de les transférer, voire même de les intégrer dans le milieu.

Il faut de plus, souligner l'approbation⁸ et la mise en route d'une importante activité de recherche comme suite à ce projet. Il s'agit de l'activité⁹ de développement du matériel pédagogique

⁸ Le comité de pairs qui a évalué la qualité scientifique de l'activité de recherche a d'abord évalué le programme de formation duquel découle totalement ladite activité puisque que tous les aspects de la formation sont effectivement décrits dans ledit programme.

⁹ IRSSST, Activité de recherche #99-017 « Développement du matériel pédagogique du programme de transfert des compétences issu du projet de recherche sur l'intégration de la sécurité lors de la conception des équipements et des systèmes dans le secteur des pâtes et papiers » budget 298 284 \$/12mois .

associé au principal résultat du projet, soit le programme de formation. Cette activité qui doit se dérouler sur 12 mois, a débuté en juin 1999.

En plus, le projet a permis de former les formateurs qui, en parallèle à la réalisation de l'activité #99-017, ont pris en charge la formation effective d'un groupe pilote de concepteurs de deux usines du secteur. L'ASSPPQ contribue d'ailleurs concrètement et directement à cette formation pilote, entre autres, par la participation de l'ergonome, Caroline Jean, au sein de l'équipe de formateurs. Ce qui confirme l'appropriation par le milieu des résultats de la recherche.

Par ailleurs, en accord avec la démarche initialement prévue dans le projet API, le secteur a réitéré¹⁰ sa demande pour une formation visant l'ensemble des personnels d'usines. Lors d'une rencontre récente spécifique sur le sujet, un consensus clair s'est dégagé sur la nécessité de former simultanément opérateurs, mécaniciens et électroniciens, gestionnaires et préventionnistes afin d'assurer un lien cohérent avec les concepteurs ou intégrateurs¹¹ d'équipements automatisés dans le but d'en améliorer sensiblement la sécurité. Un avant-projet est actuellement en cours pour répondre à cette demande qui s'inscrit dans les suites du projet de recherche API et qui avait été prévue dès 1994¹².

Cette recherche a aussi contribué à la production de plusieurs communications et publications scientifiques (voir la liste en annexe G) de même qu'à de nombreuses conférences et présentations de vulgarisation dans divers milieux industriels.

Finalement, la retombée la plus directe et la plus prometteuse demeure la participation concrète des concepteurs à une formation issue de la recherche. Or, au mois de juin 2000, un premier groupe avait déjà complété 50 % de cette formation et il est également prévu qu'un second groupe commence une nouvelle série de huit sessions à l'automne 2000.

10 Deuxième réunion du comité de suivi de la formation le 23 mai 2000 à l'ASSPPQ à Ste Foy.

11 Le terme concepteur ne se limite pas à celui qui conçoit une nouvelle machine mais également à tous ceux qui modifient ou intègrent différents équipements ou procédés d'où le terme intégrateur utilisé par le milieu.

12 Protocole détaillé projet IRSST 94-725 page 48

« Élaboration des programmes de formation

L'élaboration des programmes de formation reposera sur la définition des compétences et des informations et des outils développés dans le cadre de ce projet. Un seul programme de formation spécifique (celui des concepteurs) sera élaboré dans le présent projet. Ceci permettra de valider la démarche et d'apporter des correctifs pour le développement futur des autres programmes de formation. »

6.CONCLUSION

Habituellement confinées dans le cadre réducteur de la technicité, plusieurs recherches en sécurité-ingénierie n'appréhendent qu'une mince couche des problèmes complexes reliant la santé et la sécurité du travail à la dynamique de la réalisation du processus de conception. Sans une approche systémique plus globale, il n'est pas possible de considérer les aspects relationnels et interrelationnels qui conditionnent et déterminent les solutions technologiques et les choix appropriés. Ces aspects ont une existence et une particularité qu'on ne peut pas découvrir en dehors du milieu de travail réel concerné. C'est pourquoi, dès le début, cette recherche fut délibérément orientée vers une méthodologie basée sur l'approche terrain. Aussi, il ne peut y avoir de changements significatifs dans les comportements professionnels des concepteurs sans leur motivation profonde. Or, l'ouverture du milieu – des personnes rencontrées autant que de l'usine au sens de l'institution – n'aurait pas été possible sans un lien de confiance favorisé par les nombreuses visites, le respect mutuel et la crédibilité de l'équipe de recherche auprès du milieu. Dans ce projet, l'objectif n'était pas d'imposer une ou des solutions (généralement à contenu presque exclusivement technique), mais bien davantage de développer l'autonomie des concepteurs. Cette autonomie ne peut pas se développer sans leur participation active au développement des solutions. D'où le choix d'une approche systémique pour développer une formation axée sur le transfert de compétences.

Cette formation, dont la durée actuelle prévue est de 24 jours répartis sur 12 mois, s'adresse aux ingénieurs de toutes les spécialités impliqués dans la conception des systèmes automatisés dans les papeteries. Des ingénieurs d'usine ainsi que des ingénieurs consultants sont invités à participer à cette activité de formation.

En favorisant le développement des huit compétences identifiées au cours de la recherche à travers cette vaste formation, les ingénieurs-concepteurs de systèmes industriels dans les papeteries pourront développer des solutions plus sécuritaires, plus globales, mieux intégrées et mieux adaptées aux situations et à la réalité du monde industriel.

Dès son origine, l'approche et la méthodologie choisies tenaient compte de ces nécessités et dans le sens systémique du terme, on peut affirmer qu'en tant que processus, le projet de recherche a livré la marchandise et qu'il devrait continuer d'opérer à travers la formation qui se donne actuellement. Ainsi, bien que beaucoup moins tangible, et bien au-delà de ses aspects multidisciplinaire et multi-organisationnel, l'application en tant que telle, de l'approche systémique dans ce contexte de recherche est aussi un des résultats importants du projet.

7.RECOMMANDATIONS

Les premiers groupes de professionnels formés devraient faire l'objet d'un suivi visant à évaluer les résultats du programme de formation du point de vue des personnes formées, mais également des personnes dans leur entourage : supérieurs, collègues et de tous les autres groupes avec lesquels ils sont en relation au cours de la réalisation du processus de conception.

L'évaluation des impacts à moyen terme sur la sécurité générale des installations automatisées dans les papeteries devrait également être évaluée dans le cadre de la suite de la recherche. Ces évaluations permettront de valider ce type d'approche de prévention ainsi que la démarche de transfert de compétences choisie et d'ajuster au besoin les paramètres de la formation.

De ce cette recherche action, il semble se dégager un modèle opérationnel d'approche systémique en santé sécurité du travail. Il serait opportun d'approfondir également cet axe de recherche dans les projets futurs.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEPA (s.d.) *GEMMA - Guide d'étude des modes de marche et d'arrêt*, Association pour le développement de la productique appliquée à l'industrie, Paris (France), 2^e édition, 32 p.
- BÉLANGER, R., CESTA, V., MASSÉ, S. (1991) *Sécurité en forêt, amélioration technique des machines de récolte forestière*, Institut de recherche en santé et en sécurité du Québec, Montréal (Canada), s.p.
- BENOÎT, R., PAQUES, J.-J. (1998) « *Safety and Advanced Control System in Quebec Pulp and Paper Industries: A Practical Industrial Integration Approach* », International Federation of Automatic Control, INCOM '98, Nancy-Metz (France).
- BLANK, V.L.G., LAFLAMME, L., ANDERSSON, R. (1997) « *The Impact of Advances in Production Technology on Industrial Injuries: A Review of the Literature* », Safety Science, vol. 26, n° 3, p. 219-234.
- BRAUER, R.L. (1994) *Safety and Health for Engineers*, Van Nostrand Reinhold, New York, 651 p.
- BRAUER, R.L. (juin 1991) « *Safety Engineers Have Obligation to Control Hazards Through Design* », Occupational Health and Safety, vol. 60, n° 6, p. 42-43.
- CAN/CSA Q634-91 (1991) *Risk Analysis Requirements and Guidelines*, Etobicoke (Canada), Association canadienne de normalisation, 42 p.
- CEI/IEC 1508-1 (1995) *Sûreté fonctionnelle : systèmes relatifs à la sûreté - Partie 1 : prescriptions générales*, Genève (Suisse), Commission électrotechnique internationale, projet de norme CEI/IEC 1508-1, 57 p.
- CEI/IEC 1508-2 (1995) *Sûreté fonctionnelle : systèmes relatifs à la sûreté - Partie 2 : prescriptions concernant les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables*, Genève (Suisse), Commission électrotechnique internationale, projet de norme CEI/IEC 1508-2, 59 p.
- CLAUSING, D. (1994) *Total Quality Development, A Step-by-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering*, ASME Press, New York, 506 p.
- CURRY, L. et WERGIN, J. F. (1993). *Educating Professionals: Responding to New Expectations for Competence and Accountability*. San Francisco: Jossey-Bass.
- DOUCET, P. (1998) *Développement d'une méthodologie de conception permettant l'intégration sécuritaire des automates programmables industriels (API) et des systèmes de contrôle distribués (SCD) aux systèmes de production automatisés destinés à l'industrie québécoise des pâtes et papiers*, Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, 224 p.
- EDWARDS, R., NICOLAISEN, P., VAUTRIN, J.-P. (1992) *Robots et ensemble automatisés*, INRS (France), Cahier de notes documentaires n° 149, p. 455-478.
- EN 292-1, (1992) *Sécurité des machines - Principes fondamentaux, principes généraux de conception - Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie*, Comité Européen de Normalisation, 23 p.
- GALLAGHER, V.A. (1991) *Fall and Machine Hazards*, Professional Safety, vol. 36, n° 2, p. 22-26.
- GAUTHIER, F., CHARRON, F. (août 1995) « *Design for Health and Safety: A Simultaneous Engineering Approach* », 10th International Conference on Engineering Design - ICED 95, Czech Technical University, Prague, République Tchèque.
- GAUTHIER, F. (1997) *Développement d'une approche méthodologique permettant l'intégration systématique des aspects de la santé et de la sécurité du travail dans le processus de conception d'outils, de machines et de procédés industriels*, Thèse de doctorat ès sciences appliquées, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Canada), 257 p.
- GAUTHIER, F. (juin 1998) *La sécurité des machines : Bilan des connaissances*, Rapport d'étude présenté à l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 18 p.

- GRAHAM, J., KARWOWSKI, W., PARSAEI, H., ZURADA, J. (1994) « *Concurrent Engineering for Enhancing Worker Safety in Robotic Workcells* », *Advances in Agile Manufacturing: Integrating Technology, Organization and People*, Édité par P.T. Kidd et W. Karwowski, IOS Press, Amsterdam, p. 79-82
- HUNTER, T.A. (1992) *Engineering Design for Safety*, McGraw-Hill Inc., 298 p.
- JARVINEN, J., KARWOWSKI, W., *Analysis of self-reported accidents attributed to advanced manufacturing systems*, *The international journal of human factors in manufacturing*, vol. 5 (3), p. 251-266, 1995
- IRSST (1995) *Étude de l'intégration de la sécurité à la conception des systèmes de production comportant des automates programmables industriels (API) et des systèmes de commandes distribuées (DCS) dans le secteur des pâtes et papiers*, Projet de recherche No 94-725 soumis à l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST).
- LAWSON, M. KARANDIKAR, H.M. (mars 1994) « *A Survey of Concurrent Engineering* », *Concurrent Engineering: Research and Applications*, vol. 2, n° 1, p. 1-6.
- MAIN, B.W., WARD, A.C. (août 1992) « *What do Design Engineers Really Know About Safety?* », *Mechanical Engineering*, vol. 114, n° 8, p. 44-51.
- MATTILA, M., TALLBERG, T., VANNAS, V., KIVISTO-RAHNASTO, J. (1995) « *Fatalities at Advanced Machines and Dangerous Incidents at FMS Implementations* », *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, p. 237-250.
- MERLAUD, C., MOREL, J.-P., SOURISSE, C. et coll. (1992) *La sûreté des machines et installations automatisées*, Paris (France), Sadave, 333 p.
- PAQUES, J.-J. (1991) *Règles sommaires de sécurité, pour l'utilisation des automates programmables industriels (API), Étude/Bilan des connaissances*, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal (Canada), 19 p.
- PRATT, S.G., KISNER, S.M., HELMKAMP, J.C., (1996) « *Machinery-Related Occupational Fatalities in the United States 1980-1989* », *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 38, n° 1, p.70-76.
- prEN 954-1 (1996) *Sécurité des machines - Parties des systèmes de commandes relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception*, Comité européen de normalisation, 44 p.
- prEN 1050 (1996) *Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque*, Comité européen de normalisation, 21 p.
- RAHEJA D.G. (1991) *Assurance Technologies, Principles and Practices*, McGraw Hill, 342 p.
- REUNANEN, M. (mai 1993a) *Systematic Safety Consideration in Product Design*, Thèse de doctorat, Université de Technologie de Tampere, Finlande, 125 p.
- REUNANEN, M. (août 1993b) « *Systematic Safety Analysis Methods in Product Design* », *International Conference on Engineering Design*, The Hague, p. 1174-1181.
- ROBERTS, V.L. (1984) *Defensive Design*, *Mechanical Engineering*, vol. 106, n° 9, p. 88-93.
- STEPHANS, R.A., TALSO, W.W. 1993 *System Safety Analysis Handbook*, Albuquerque, New Mexico (États-Unis), System Safety Society, 491 p.
- STOOP, J.A. (1990) *Safety and the Design Process*, Thèse de doctorat, Université technologique de Delft, Hollande, 125 p.
- TARDIF, J. (1994) *Le transfert des compétences analysé à travers la formation de professionnels*, Colloque international sur les transferts de connaissances en formation initiale et continue, Lyon.

- TARDIF, J. (1996). L'entrée par la question de la formation des enseignants : le transfert des compétences à travers la formation de professionnels. Dans P. Meirieu, M. Develay, C. Durand et Y. Mariani (dir.), *Le transfert des connaissances en formation initiale et continue* (p. 31-47). Lyon : Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie de Lyon.
- TURGEON, J. (1998) *L'apprentissage par problème – L'APP*, Document d'appui sur l'apprentissage par problème soumis au groupe de l'IRSST (projet 94-725), Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke, 34 p.
- VANNAS, V., MATTILA, M. (1996) « *Safety Aspects in FMS Implementations* », *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, vol. 6, n° 2, p. 163-179.
- VAUTRIN, J.-P., EDWARDS, R., NICOLAISEN, P., « *Robots et ensembles automatisés, impact de leur utilisation sur les conditions de travail au sein de la communauté européenne* », Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de Notes documentaires, ND 149, 1992.

Annexe A**Titre :**

État des connaissances et cadre de référence sous l'aspect sécurité des machines et systèmes de commande

Auteur(s) :

Joseph-Jean Paques

Date de production du document : Septembre 1999

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST

Annexe B

Titre :

État des connaissances

Auteur(s) :

Patrik Doucet

Date de production du document : Janvier 1998

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST

Document de 165 pages

Référence :

« Développement d'une méthodologie de conception permettant l'intégration sécuritaire des automates programmables industriels (API) et des systèmes de contrôle distribués (SCD) aux systèmes de production automatisés destinés à l'industrie Québécoise des pâtes et papiers », mémoire de maîtrise des sciences appliquées, Patrik Doucet, Université de Sherbrooke, janvier 1998, 225 pages.

Annexe C

Titre :

Schéma du processus de conception type pour le secteur des pâtes et papiers

Auteur(s) :

Patrik Doucet, Gilles Bouchard, Mark Milesnik en collaboration avec les autres membres de l'équipe de recherche, des ingénieurs consultants et des ingénieurs d'usine.

Date de production du document : Mai 1999

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST

Annexe D

Titre :

Liste des contenus disciplinaires développés pour les compétences

Auteur(s) :

René Benoît
Gilles Bouchard
Réal Bourbonnière
Patrik Doucet
François Charron
Cécile Collinge
François Gauthier
Mark Milesnik
Caroline Monette
Joseph-Jean Paques
Jacques Tardif
Mario Touchette

Date de production du document : Avril 1999

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST

Document de travail intermédiaire ayant servi à la préparation de la grille du programme de formation

Annexe E**Titre :**

Grille détaillée du programme de formation

Auteur(s) :

Membres de l'équipe de recherche :

René Benoît
Gilles Bouchard
Réal Bourbonnière
Patrik Doucet
François Charron
Cécile Collinge
François Gauthier
Mark Milesnik
Caroline Monette
Joseph-Jean Paques
Jacques Tardif
Mario Touchette
Domenica Schiralli

Date de production du document : Version imprimée le 22 septembre 1999

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informatique de l'IRSST

Document de référence du programme de formation. Ce document (l'original comprend 5 grands posters pour plus de clarté) permet de lier entre eux tous les paramètres de la formation. Dans son format informatique (Excel) toutes les fiches signalétiques de tous les documents de formation à produire sont accessibles par des liens hypertextes. D'autre part, ce choix de format a permis de faire également tous les tris et autres liaisons souhaitables entre les différents paramètres. Ce document a été principalement construit simultanément par tous les membres de l'équipe à l'occasion des nombreuses réunions de travail grâce à l'utilisation judicieuse de l'ordinateur et de projection vidéo en ligne.

Annexe F

Titre :

Fiches signalétiques des documents de formation

Auteur(s) :

Membres de l'équipe de recherche :

René Benoît
Gilles Bouchard
Réal Bourbonnière
Patrik Doucet
François Charron
Cécile Collinge
François Gauthier
Mark Milesnik
Caroline Monette
Joseph-Jean Paques
Jacques Tardif
Mario Touchette
Domenica Schiralli

Date de production du document : Mars 1999

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST

Documents de référence du programme de formation. Chaque fiche est liée avec les différents paramètres de la grille détaillée du programme à l'annexe précédent E.

Annexe G

Titre :

Retombées en termes de communications scientifiques

Auteur(s) :

René Benoît

Date de production du document : Août 2000

Remarque(s) :

Document disponible sur demande seulement à l'informathèque de l'IRSST