

les notes
scientifiques
et techniques de l'i.n.r.s

JUILLET 2002

N° ISSN 0397 - 4529

222

**Contribution à l'amélioration des performances
des systèmes complexes par la prise en compte
des aspects socio-techniques dès la conception :
proposition d'un modèle original de situation de
travail pour une nouvelle approche de conception**

THESE DE

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ
NANCY 1**

PRESENTEE PAR

Raïd HASAN

INRS

N° Edition : NS 0222

JUILLET 2002

N° ISSN 0397 - 4529

222

**Contribution à l'amélioration des performances
des systèmes complexes par la prise en compte
des aspects socio-techniques dès la conception :
proposition d'un modèle original de situation de
travail pour une nouvelle approche de conception**

THESE DE

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ
NANCY 1**

PRESENTEE PAR

Raïd HASAN

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE

**SIEGE SOCIAL :
30, RUE OLIVIER-NOYER, 75680 PARIS CEDEX 14**

**CENTRE DE LORRAINE :
AVENUE DE BOURGOGNE, 54501 VANDOEUVRE CEDEX**



FACULTE DES SCIENCES

UFR Sciences Techniques Mathématiques Informatique Automatique

École Doctorale IAE + M

DFD Automatique et Production Automatisée.

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du titre de

**Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I
en Production Automatisée**

par **RAÏD HASAN**

**Contribution à l'amélioration des performances des
systèmes complexes par la prise en compte
des aspects socio-techniques dès la conception :
proposition d'un modèle original de SITUATION DE TRAVAIL
pour une nouvelle approche de conception**

Soutenue le 22 / mars / 2002 devant la Commission d'Examen :

Rapporteurs :	O. GARRO	Professeur, Laboratoire Mécatronique 3M, Université de Technologie de Belfort Montbelliard
	D. NOYES	Professeur, Laboratoire de Génie de la Production, Directeur de la Recherche de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes
Examineurs :	A. R. HALE	Professeur, Safety Science Group, Delft University of Technology, Holland
	P. LHOSTE	Maître de Conférences HDR, Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Université Henri Poincaré, Nancy I
Directeur	A. BERNARD	Professeur, Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes, École Centrale Nantes
Codirecteurs :	J. CICCOTELLI	Docteur d'État, Institut National de Recherche et de Sécurité, Directeur de Recherche Associé CNRS, Nancy
	P. MARTIN	Professeur, Laboratoire de Génie Industriel et de Production Mécanique, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Metz
Invité industriel	J.C.BOURGEOIS	Responsable Sécurité, Société HEIDELBERG, Montataire

Résumé :

L'intégration de la sécurité dès la conception, est une nécessité pour l'amélioration des performances des systèmes de production aussi bien en mode de fonctionnement normal qu'en mode de fonctionnement dégradé ou de maintenance, lors de réglages, de dépannages, de changements de production, etc.

Cette intégration nécessite l'existence d'outils et de méthodes facilitant la communication entre les différents métiers intervenant dans le processus de conception. Le manque d'outils et de méthode, constaté par les résultats de nos analyses, a conduit à la spécification de modèles pertinents relatifs au système de production et à son processus de conception permettant à terme une prise en compte des risques pouvant apparaître en phase d'exploitation.

Une définition de la notion **Situation de travail** a été proposée. Cette notion, développée et argumentée, a permis d'établir les fondements d'un modèle conceptuel de situation de travail, à partir d'éléments exprimés dans les normes, de résultats de nos analyses et pour certains de la littérature scientifique. Ce modèle proposé devrait permettre la prise en compte du point de vue « sécurité » au plus tôt possible dans les phases de conception des systèmes complexes.

Une approche de l'utilisation de ce modèle a été décrite en prenant en compte différents niveaux de la dynamique de la situation de travail dans l'utilisation du modèle et dans un contexte socio-technique. L'intérêt et la pertinence du modèle pour le processus de conception, en y incluant le processus d'intégration de la sécurité des hommes et les retours de terrain, ont été illustrés. L'intégration et la dynamique de l'utilisation de ce modèle permettent de faciliter la communication entre les différents acteurs du projet et d'éviter des modifications ultérieures coûteuses. Ces modifications nécessitent la recherche de moyens (méthodes, outils, etc.) pour résoudre des contradictions, comme sécurité-productivité, lesquelles ont été traitées.

Un support méthodologique et technique (maquette informatique démonstrative) a été proposé afin d'aider le concepteur à structurer le processus de conception dans un objectif de représenter et gérer l'ensemble des informations relatives au système socio-technique en phase d'utilisation sur site industriel. Ce support méthodologique permet aussi de faciliter et systématiser la communication entre les différents projecteurs dans le projet.

Abstract:

The integration of the safety in design phase, is as well a necessity for the performances improvement of production systems as well for normal operating mode that for degraded operating mode, maintenance mode, at the time of regulating, of breakdown, of production types changes, etc.

This integration requires the existence of tools and methods to facilitate the communication between the various trades intervening in the design process. The lacks in these tools and methods, noted by the results of our analyses, required the specification of relevant models relating to the production system and its design process in order to, in the long term, allow a taking into account of risks which can exist in exploitation phases.

A definition of Working Situation concept was proposed. This notion was developed, detailed and argued as the bases of the conceptual model of working situation resulting from elements in conformity with European standard, from the results of our analyses and from some of scientific literature. This suggested model allowing the taking into account of the safety viewpoint as soon as possible in the various design phases of these complex systems.

An using approach of this model was argued in order to take into account various dynamic levels of the working situation for the use of our model and in a socio-technical approach. The interest and relevance of the model for the design process, including the human safety integration process and the use feedback, were illustrated.

Using dynamics of this model make it possible to facilitate the communication between the various project actors in order to avoid expensive later modifications. These modifications require the research for means (methods, tools, etc.) to solve contradictions like safety-productivity, which were treated.

A methodological and technical support (demonstrative informatics model) was proposed in order to help the designer to structure the design process in an objective to represent and manage whole of information relating to the socio-technical system during its utilization phase in factory. This methodological support also makes it possible to facilitate and systematize the communication between the various designers in the project.

Remerciements

Je commence mes remerciements par préciser que cette thèse est le fruit de travaux de recherche menés au sein du Centre de recherche en Automatique de Nancy (CRAN). J'adresse des remerciements tout particulier à **Francis LEPAGE** Professeur Directeur de CRAN et à **Gérard MOREL** Professeur responsable du groupe Productique et Automatisation des procédés Discrets PAPD pour m'avoir accepté dans ce laboratoire.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent tout d'abord à **Alain BERNARD** Professeur à l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes, École Centrale Nantes, qui a bien voulu diriger ma thèse et pour le conseil, les multiples idées et questionnements et le suivi qu'il m'a accordé.

Je remercie chaleureusement mes deux co-encadreurs :

Patrick MARTIN Professeur, Laboratoire de Génie Industriel et de Production Mécanique, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Metz pour avoir accepté de co-diriger ma thèse ainsi que pour l'autonomie et le soutien constant qu'il a su m'apporter tout au long de ce travail.

Joseph CICCOTELLI Adjoint au chef du département « Ingénierie des équipements de travail » de l'INRS, Directeur de Recherche Associé CNRS, Nancy pour la confiance qu'il m'accorde et pour son soutien dans les moments plus difficiles.

Ces travaux de recherche sont réalisés dans le cadre d'un projet mené par le "Groupe Intégration de la Prévention dès la Conception" de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), au titre du Programme Systèmes de Production (PROSPER). Pour cela, je tiens à adresser mes remerciements à **Michel NEBOIT**, Chef du Département « Homme au travail », et plus particulièrement à **Élie FADIER**, HDR – Laboratoire « Ergonomie & Psychologie Appliquées à La Prévention » de l'INRS pour ce thème de recherche qu'ils ont dirigé et pour la chaleur et l'intérêt des discussions auxquelles j'ai participé tout au long du projet.

Je remercie également l'entreprise, partenaire industriel de notre projet **HEIDELBERG**, qui est le leader mondial en conception et intégration des lignes d'imprimerie. Je tiens à remercier, particulièrement, **Jean-Claude BOURGEOIS** pour ses conseils et le temps qu'il m'a consacré pour réaliser mes études de terrain. Et je n'oublie pas tous les membres du Bureau des Études qui m'ont accepté au sein de leur Bureau.

Je tiens, aussi, à exprimer mes profonds remerciements aux membres du jury, présidé par **Andrew HALLE** Professeur au Safety Science Group, Delft University of Technology, pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail. Je remercie plus particulièrement **Olivier GARRO** Professeur au Laboratoire Mécatronique 3M, Université de Technologie de Belfort Montbelliard et **Daniel NOYES** Professeur au Laboratoire de Génie de la Production, Directeur de la Recherche de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes pour m'avoir fait l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse.

Mes remerciements et ma profonde reconnaissance s'adressent aussi à tous mes collègues du groupe PAPD et CSSF pour leurs conseils, leur soutien et tout simplement leur sympathie. Je nommerai ici tout particulièrement le professeur **Gabriel RIS** pour ses conseils ainsi que pour le temps qu'il m'ait consacré pour moi.

Que toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé à progresser dans mon travail trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance. Je pense, en particulier, au professeur **Michel VERON, Benoît IUNG, Patrick CHARPENTIER, Jean-François PETIN, Pascal LHOSTE, Denise CHEFFEL, Muriel LOMBARD**, et les autres pour leur contribution à ce travail mais aussi pour leur soutien amical.

Merci, bien sûr, à mes amis et mes proches pour leur patience. Mention spéciale pour qui ont supporté durant ces années mes inquiétudes, rêveries... pour l'ambiance agréable de travail qu'il m'ont ont assuré et surtout pour leur aide « logistique », je cite, **Fabrice, Khaled, Sébastien, Houssein, Bertrand, Fabien, Michael, David, Michel et Marc**.

Enfin, je voudrais associer à ces remerciements mon épouse **Rozat** pour sa patience et sa compréhension à mon égard.

Table de matières

CHAPITRE INTRODUCTION	1
TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE INTRODUCTION	3
INTRODUCTION	5
<i>Définition d'un système de production complexe</i>	6
<i>Amélioration de performances du système de production complexe</i>	7
LA PROBLEMATIQUE	8
POSITIONNEMENT DE NOTRE PROBLEMATIQUE.....	11
<i>La productive</i>	11
<i>La sûreté de fonctionnement</i>	12
<i>Simulation et réalité virtuelle</i>	14
STRUCTURE DU MANUSCRIT	15
1. CHAPITRE 1	17
TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 1	19
1.1 METHODOLOGIE DE TRAVAIL	21
1.1.1. <i>Observation</i>	21
1.1.2. <i>Analyse de documents dans l'entreprise partenaire</i>	22
1.1.3. <i>Formalisation et modélisation</i>	22
1.2 ANALYSE DES MODES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME.....	23
1.3 ANALYSE DU PROCESSUS DE CONCEPTION	25
1.3.1. <i>Niveau organisationnel</i>	25
1.3.2. <i>Niveau opérationnel</i>	26
1.4 NOS ANALYSES POUR L'INTEGRATION DE LA SECURITE	29
1.4.1. <i>L'approche normative relative au risque</i>	29
1.4.2. <i>Notre première réflexion sur la situation de travail</i>	31
1.5 CONCLUSION CHAPITRE 1.....	32
2. CHAPITRE 2	33
TABLES DE MATIERES DU CHAPITRE 2	35
2.1. INTRODUCTION	37
2.2. LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION	38
2.2.1. <i>Les approches de conception</i>	40
2.2.2. <i>Le cycle de vie d'un produit</i>	41
2.2.3. <i>Le cycle de développement</i>	42
2.3. LES METHODES DE CONCEPTION	42
2.3.1. <i>Les méthodes séquentielles</i>	42
2.3.2. <i>Les méthodes concourantes</i>	43
2.3.3. <i>La conception intégrée</i>	44
2.4. LES MODELES DE PRODUIT	44
2.5. LES PROCESSUS DE CONCEPTION	49
2.5.1. <i>Définition</i>	49
2.5.2. <i>Les modèles de processus de conception</i>	50
2.6. L'EVOLUTION DE LA NOTION DE SECURITE (CONTRAINTE VERSUS FONCTION).....	56
2.6.1. <i>La sécurité</i>	57
2.6.2. <i>L'application des normes</i>	58
2.6.3. <i>Le processus accidentel</i>	60
2.7. L'INTEGRATION DE LA SECURITE EN CONCEPTION	60
2.7.1. <i>Les classes de l'intégration de la sécurité en conception</i>	60
2.7.1.1. Du point de vue méthodes de conception.....	62
2.7.1.2. Du point de vue modèles de produit	64
2.7.1.3. Du point de vue Paradigmes et Processus de conception.....	65
2.7.2. <i>La conception de la situation de travail</i>	67
2.7.3. <i>L'analyse et l'estimation des risques</i>	68
2.8. CONCLUSION CHAPITRE 2.....	69
3. CHAPITRE 3	71
TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 3	73
3.1. INTRODUCTION	75

3.1.1.	<i>La nécessité de modéliser</i>	75
3.1.2.	<i>Les objectifs de la modélisation</i>	76
3.2.	LA NOTION DE LA SITUATION DE TRAVAIL	76
3.3.	COMMENT LIRE LE MODELE ?	78
3.4.	LA MODELISATION AVEC UML	79
3.5.	LES CONCEPTS ELEMENTAIRES ADOPTES	80
3.5.1.	<i>Le concept « Paramètre »</i>	80
3.5.2.	<i>Le concept « Description »</i>	81
3.5.3.	<i>Le concept « Point de vue »</i>	82
3.6.	PRESENTATION DES CONCEPTS NOUVEAUX	84
3.6.1.	<i>Concept « Situation de travail »</i>	84
3.6.1.1.	Définition	84
3.6.1.2.	Concept	85
3.6.2.	<i>Concept « Système »</i>	87
3.6.2.1.	Définition	87
3.6.2.2.	Concept	87
3.6.3.	<i>Concept « Fonction »</i>	89
3.6.3.1.	Définition	89
3.6.3.2.	Concept	90
3.6.4.	<i>Concept « Solution technique »</i>	91
3.6.4.1.	Définition	91
3.6.4.2.	Concept	91
3.6.5.	<i>Concept « Tâche »</i>	92
3.6.5.1.	Définition	92
3.6.5.2.	Concept	93
3.6.6.	<i>Le concept « Auxiliaire »</i>	95
3.6.7.	<i>Concept « Équipe de travail »</i>	96
3.6.7.1.	Définition	96
3.6.7.2.	Concept	96
3.6.8.	<i>Concept « Phénomène Potentiellement Dangereux »</i>	97
3.6.8.1.	Définition	97
3.6.8.2.	Concept	97
3.6.9.	<i>Concept « Risque »</i>	98
3.6.9.1.	Définition	98
3.6.9.2.	Concept	99
3.6.10.	<i>Concept « Zone dangereuse »</i>	100
3.6.10.1.	Définition	100
3.6.10.2.	Concept	101
3.6.11.	<i>Concept « Mesures de sécurité »</i>	102
3.6.11.1.	Définition	102
3.6.11.2.	Concept	103
3.6.12.	<i>Concept « Événement dangereux »</i>	104
3.6.12.1.	Définition	104
3.6.12.2.	Concept	104
3.7.	VUE GLOBALE DU MODELE DE LA SITUATION DE TRAVAIL	105
3.8.	CONCLUSION CHAPITRE 3	105
4.	CHAPITRE 4	107
	TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 4	109
4.1.	INTRODUCTION	111
4.2.	HYPOTHESES	112
4.3.	DOMAINE D'UTILISATION DU MODELE	113
4.4.	CONCEPTS PRINCIPAUX	114
4.4.1.	<i>La situation de travail dans l'échelle de temps</i>	115
4.4.2.	<i>La tâche prescrite et la tâche réelle dans la situation de travail</i>	115
4.4.3.	<i>Présentation de la dynamique de la situation de travail</i>	117
4.5.	LES METIERS AGISSANT DANS LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT	120
4.5.1.	<i>L'interaction dans le processus de conception actuel</i>	121
4.5.2.	<i>Remarques</i>	123
4.6.	LA DYNAMIQUE D'UTILISATION DU MODELE	124

4.6.1.	<i>Objectifs</i>	124
4.6.2.	<i>Au niveau de l'acteur métier</i>	125
4.6.2.1.	Les opérations propres à chaque classe.....	125
4.6.2.2.	Les opérations liées aux autres classes.....	126
4.6.3.	<i>Au niveau du processus de conception</i>	127
4.7.	SCENARI D'UTILISATION DU MODELE.....	129
4.7.1.	<i>Lors d'une conception générale</i>	129
4.7.2.	<i>Lors de retour de terrain</i>	132
4.8.	L'APPROCHE ADOPTEE.....	134
4.9.	CONCLUSION CHAPITRE 4.....	136
5.	CHAPITRE 5	137
	TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 5.....	139
5.1.	INTRODUCTION.....	141
5.2.	CORRESPONDANCE UTILISATION DU MODELE, NORMES, CONTRADICTIONS.....	142
5.2.1.	<i>Prévention intrinsèque</i>	142
5.2.2.	<i>Protection</i>	143
5.2.3.	<i>Instructions ou Informations</i>	143
5.3.	THEORIE DE LA RESOLUTION DES PROBLEMES D'INVENTION (TRIZ).....	144
5.3.1.	<i>TRIZ une méthode de conception créative</i>	144
5.3.2.	<i>TRIZ une méthode de résolution des contradictions</i>	145
5.3.3.	<i>La matrice de contradiction</i>	146
5.4.	LES CONTRADICTIONS ET LES CONCEPTS DU MODELE.....	147
5.5.	LE TRAITEMENT DU MODELE ET L'UTILISATION DE TRIZ.....	147
5.5.1.	<i>Au niveau de la prévention intrinsèque</i>	148
5.5.2.	<i>Au niveau de la protection</i>	148
5.5.3.	<i>Au niveau de l'instruction ou de l'information pour l'utilisation</i>	149
5.6.	L'APPLICABILITE DE TRIZ SUR LES CONTRADICTIONS LIEES A LA SECURITE.....	149
5.6.1.	<i>Problèmes rencontrés sur un système conforme aux règles de sécurité</i>	150
5.6.2.	<i>La correspondance avec TRIZ</i>	151
5.6.3.	<i>Les résultats de nos analyses</i>	153
5.7.	APPLICATION A UN CAS DE RETOUR DE TERRAIN.....	154
5.7.1.	<i>La procédure de nettoyage du blanchet</i>	155
5.7.2.	<i>Problème de base</i>	156
5.7.3.	<i>Reformulation du problème</i>	157
5.8.	CONCLUSION CHAPITRE 5.....	158
6.	CHAPITRE 6	159
	TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 6.....	161
6.1.	INTRODUCTION.....	163
6.2.	L'ENTREPRISE CONCEPTRICE DES LIGNES D'IMPRIMERIE.....	163
6.2.1.	<i>Présentation du système de l'entreprise conceptrice</i>	163
6.2.2.	<i>Présentation du fonctionnement de l'entreprise</i>	166
6.2.2.1.	Le processus de conception.....	168
6.2.2.2.	Le processus d'intégration de sécurité.....	168
6.2.2.1.	Le processus de retour de terrain.....	169
6.3.	PRESENTATION DES SYSTEMES D'INFORMATION DE L'ENTREPRISE.....	170
6.3.1.	<i>Le système</i>	170
6.3.2.	<i>Système de communication LOTUS</i>	170
6.3.3.	<i>Base de données CIRT</i>	170
6.3.4.	<i>Les normes homologuées</i>	171
6.3.5.	<i>Le normalien</i>	171
6.4.	LES INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES FOURNIES PAR LE MODELE CONCEPTUEL.....	171
6.4.1.	<i>Les fonctions d'un système</i>	171
6.4.2.	<i>Les interfaces & flux entre modules/organes</i>	172
6.4.3.	<i>Les solutions techniques</i>	172
6.4.4.	<i>Les tâches d'utilisation des machines</i>	172
6.4.5.	<i>Les équipes de travail</i>	172
6.5.	L'APPLICATION DU MODELE CONCEPTUEL (LA MAQUETTE INFORMATIQUE BAPTISEE « SITUATION DE TRAVAIL »).....	173

6.5.1.	<i>La présentation des concepts « Description et paramètre »</i>	174
6.5.2.	<i>Présentation du concept « Points de vue »</i>	174
6.6.	LES FONCTIONNALITES DE LA MAQUETTE INFORMATIQUE	176
6.6.1.	<i>Fonctions d'instanciation</i>	176
6.6.2.	<i>Fonctions d'exploitation</i>	176
6.6.3.	<i>Fonctions de communication</i>	177
6.7.	LA DYNAMIQUE DE L'UTILISATION DE LA MAQUETTE	178
6.7.1.	<i>Génération d'actions de contrôle</i>	178
6.7.2.	<i>Liaison avec l'outil de gestion de projet (MS Project)</i>	179
6.7.3.	<i>Vérification de la cohérence des informations et des relations du modèle</i>	182
6.8.	L'IMPLANTATION DE LA MAQUETTE	184
6.9.	LES UTILISATEURS POTENTIELS DE LA MAQUETTE.....	184
6.9.1.	<i>Le chef de projet</i>	184
6.9.2.	<i>L'expert métier ou le chef de groupe</i>	185
6.9.3.	<i>Le projeteur</i>	185
6.9.4.	<i>Service sécurité, également appelé Engineering service</i>	185
6.10.	CONCLUSION CHAPITRE 6.....	186
	CONCLUSION GENERALE	187
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	191
	REFERENCES PERSONNELLES.....	191
	RÉFÉRENCES GÉNÉRALES	192
	REFERENCES TECHNIQUES.....	198
	ANNEXES	201
	ANNEXE 1.....	I
	ANNEXE 2.....	V
	ANNEXE 3.....	XVII
	ANNEXE 4.....	XXI
	ANNEXE 5.....	XXIII
	ANNEXE 6.....	XXIX
	ANNEXE 7.....	XLI

Table de figures

Chapitre introduction

Figure 0.1 : Evolution des écarts au nominal avec la vie du système.....	10
Figure 0.2 : L'intégration de la « situation de travail » dans la conception des systèmes complexes	11
Figure 0.3 : Extrait de [Laprie 2000] l'arbre de la sûreté de fonctionnement.....	13

Chapitre 1

Figure 1.1 : Le principe de la méthode SADT	23
Figure 1.2 : Un extrait de l'analyse fonctionnelle de la ligne d'imprimerie.....	24
Figure 1.3 : Un extrait de l'analyse du processus de conception.....	27
Figure 1.4 : L'intégration de la sécurité au niveau opérationnel	29
Figure 1.5: La stratégie de prévention intégrée[Norme 1991].....	30
Figure 1.6 : Les facteurs à prendre en compte pour l'intégration de la sécurité.....	31
Figure 1.7: La structure préliminaire des éléments pouvant influencer une situation de travail	31

Chapitre 2

Figure 2.1 : Les points de base de l'état de l'art.....	38
Figure 2.2 : Les différents points de vue des travaux dans la recherche concernant la conception.....	40
Figure 2.3 : Le modèle proposé par [Harani 1997a,b].....	46
Figure 2.4 : La base du modèle proposé par [Eynard 1999].....	47
Figure 2.5 : Une vue globale du modèle proposé dans [Männistö & al 2001]	48
Figure 2.6 : Le modèle de processus de conception [Harani 1997b].....	51
Figure 2.7 : Modèle de conduite du processus de conception [Girard 1999].....	52
Figure 2.8 : Les activités d'ingénierie [Eynard 1999]	53
Figure 2.9 : Modèle de processus de conception SAGEP [Ouazzani 1999].....	54
Figure 2.10 : La capitalisation de processus de conception [Spur & al 2000].....	55
Figure 2.11 : Le modèle de processus de décision (Decision Time Line) [Stal Le Cardinal 2000]	55
Figure 2.12 : L'architecture du produit et du paradigme de processus de conception [Gayretli & al 1999].....	56
Figure 2.13 : L'intégration actuelle des normes vue comme complexifiant le système	58
Figure 2.14 : Démarche d'analyse et de développement informatique [Blaise 2000]	59
Figure 2.15 : Le processus accidentel [Jouffroy 1999].....	60
Figure 2.16 : Les causes des risques [Favet & al 1997]	63
Figure 2.17 : Le Modèle de Conception Distribuée étendu à huit acteurs [Jouffroy 1999].....	64
Figure 2.18 : Processus global de conception optimisé [Benoît & al 1999].....	65
Figure 2.19 : Les niveaux d'une conception [Fadier 1998].....	67
Figure 2.20 : Les éléments de risque [Norme 1997a].....	68

Chapitre 3

Figure 3.1 : Une vue macro de la situation de travail.....	77
Figure 3.2 : Les interactions équipe de travail - système de production.....	78
Figure 3.3 : Les briques de base de UML [Booch & al 2000].....	80
Figure 3.4 : Les cinq points de vue de UML [Booch & al 2000].....	80
Figure 3.5 : Méta-modélisation du concept « Paramètre » [Harani 1997b].....	81
Figure 3.6 : La classe du concept « Paramètre » et ses sous classes.....	81
Figure 3.7 : La classe du concept « Description » et ses sous classes	82
Figure 3.8 : Les points de vue selon l'approche orientée mode d'intervention	83
Figure 3.9 : Liens inter et intra points de vue [Harani 97a].....	84
Figure 3.10 : Le concept « Situation de travail » et ses attributs et relations	85
Figure 3.11 : Les concepts « Système » et « Fonction » et leurs attributs et relations	89
Figure 3.12 : Le concept « Solution technique », et ses attributs et relations.....	92
Figure 3.13 : Le séquençement et la décomposition d'une procédure.....	94
Figure 3.14 : Les concepts « Tâche », « Mode d'intervention » et « Equipe de travail », leurs attributs et relations	95
Figure 3.15 : Le concept « Auxiliaire ».....	95
Figure 3.16 : Les concepts « Phénomène P. D. » et « Risque », leurs attributs et relations	98
Figure 3.17 : Les zone dangereuses dimensionnées au niveau système	101
Figure 3.18 : La zone dangereuse dans la situation de travail	101
Figure 3.19 : Le concept « Zone dangereuse » et ses attributs et relations.....	102

Figure 3.20 : Le concept « Mesures de sécurité » et ses attributs et relations	103
Figure 3.21 : Le concept « Événement dangereux » et ses attributs et relations.	105
Figure 3.22 : Une vue globale du modèle générique de situation de travail	106

Chapitre 4

Figure 4.1 : L'instanciation de la notion : Situation de travail	115
Figure 4.2 : Le décalage entre la tâche prescrite et sa réalisation [Hasan & al 2002b].....	116
Figure 4.3 : La dynamique de situation de travail au niveau mode de fonctionnement et d'intervention	118
Figure 4.4 : La dynamique de l'interaction système – équipe de travail dans une situation de travail.....	119
Figure 4.5 : Les états d'une action d'un acteur.....	121
Figure 4.6 : La dynamique du processus de conception actuel.....	123
Figure 4.7 : La dynamique du processus de conception en utilisant le modèle proposé.....	128
Figure 4.8 : Un scénario d'utilisation du modèle dans un cas de conception général.....	130
Figure 4.9 : Un scénario d'utilisation du modèle dans un cas de retour de terrain	133
Figure 4.10 : Fiche d'historique de conception	135
Figure 4.11 : L'ajout de la notion « Ressources » dans le modèle de Ouazzani.....	136

Chapitre 5

Figure 5.1 : Tâche technique et tâche socio-technique	141
Figure 5.2 : La correspondance entre l'utilisation du modèle et la stratégie des normes.	143
Figure 5.3 : Le principe de résolution de problème par TRIZ	144
Figure 5.4 : Typologie des contradictions extrait de [Savransky 1998].....	145
Figure 5.5 : Problèmes subsistant sur un système réputé conforme	151
Figure 5.6 : L'applicabilité de la matrice de Altshuller sur les problèmes de visibilité.....	153
Figure 5.7 : Autre correspondance des principes de résolution pour les contradictions liées à la visibilité	154
Figure 5.8 : La procédure élaborée par le concepteur [Hasan & al 2001a].....	155
Figure 5.9 : La procédure réelle [Hasan & al 2001a]	155
Figure 5.10 : La modélisation de problème avec l'outil Techoptimizer.	156
Figure 5.11 : Modélisation du problème.....	156
Figure 5.12 : Des solutions proposées par TRIZ	157

Chapitre 6

Figure 6.1 : L'organisation de l'entreprise concepteur de la ligne d'imprimerie.....	164
Figure 6.2: Vue d'ensemble de la ligne d'imprimerie et ses principaux composants [Cherrier 2001]	165
Figure 6.3 : Présentation du fonctionnement de l'entreprise [Cherrier 2001]	166
Figure 6.4 : Le processus ; du bureau d'étude au client.....	167
Figure 6.5 : Processus de retour de terrain.....	169
Figure 6.6 : Le statut d'une action	173
Figure 6.7 : Ajout de nouvelle propriété (quantitatif et/ ou qualitatif).....	174
Figure 6.8 : La prise en compte du concept « Point de vue »	175
Figure 6.9 : Quels objets afficher pour un utilisateur donné ?	175
Figure 6.10 : Création d'un nouvel objet.....	176
Figure 6.11 : Affichage des tâches d'utilisation	177
Figure 6.12 : La communication d'une question vers une autre personne.....	178
Figure 6.13 : La capitalisation des modifications suite d'une modification	178
Figure 6.14 : Aide à la communication par la génération d'actions	179
Figure 6.15 : La liaison avec MS Project.....	181
Figure 6.16 : La cohérence du modèle.....	182
Figure 6.17 : Méthode de mise à jour des liaisons lors de la création d'une relation	182
Figure 6.18 : Méthode de mise à jour des liaisons lors de la suppression d'une relation	183
Figure 6.19 : La vérification des cohérences des informations et des relations.....	183

Table de tableaux

Tableau 5.1 : Les paramètres standards de la matrice de Altshuller.....	146
Tableau 5.2 : Les relations entre les problèmes induits par une sécurité mal intégrée et les paramètres standards	152

Chapitre introduction

Introduction Générale

Table des matières du chapitre introduction

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE INTRODUCTION	3
INTRODUCTION	5
<i>Définition d'un système de production complexe</i>	6
<i>Amélioration de performances du système de production complexe</i>	7
LA PROBLEMATIQUE	8
POSITIONNEMENT DE NOTRE PROBLEMATIQUE.....	11
<i>La productique</i>	11
<i>La sûreté de fonctionnement</i>	12
<i>Simulation et réalité virtuelle</i>	14
STRUCTURE DU MANUSCRIT	15

Introduction

L'activité d'ingénierie des systèmes complexes connaît depuis des années de profondes transformations qu'on peut relier à cinq facteurs principaux :

- Le développement de ressources informatiques assurant la capitalisation et le traitement de l'ensemble des données associées à un produit tout au long de son cycle de vie.
- La mondialisation des connaissances, des marchés et des capitaux ; ce qui conduit à des interactions fortes entre différentes connaissances et augmente le niveau de concurrence mondiale.
- La complexité croissante des systèmes de production par les progrès de l'automatisation et l'éloignement de l'opérateur ; ce qui augmente la nécessité d'un fort soutien logistique. Ces systèmes doivent répondre de plus en plus aux contraintes de réactivité et de flexibilité liées à l'environnement socio-économique incertain.
- Le changement radical du rôle de l'utilisateur de système qui devient de plus en plus un rôle de contrôle et de réglage lors de changement de production.
- La prise en compte des facteurs liés à l'environnement et à la sécurité de l'opérateur.

L'ingénierie d'un système de production est globale et recouvre l'ensemble des activités finalisées de conception, de réalisation et d'exploitation des systèmes de production. Elle ne se limite pas à l'ingénierie du sous-système technique mais inclut celle du sous-système humain. Elle commence lors de l'émergence de l'idée d'un système et finit lors de son démantèlement. Sa permanence se poursuit tout au long de la vie du système et il est impossible d'en donner un modèle global à cause de la complexité des activités de nombreux acteurs.

Dans la concurrence entre les entreprises pour gagner des parts du marché mondial, les produits (systèmes) proposés sont de plus en plus complexes. L'entreprise suscite la confiance des utilisateurs en leur offrant, dans un meilleur délai, des produits plus fiables et plus sûrs lors de leur utilisation. La satisfaction du client devient toujours plus difficile à atteindre. Il réclame des produits les moins chers possibles, le plus vite possible, fiables à 100%, faciles à maintenir, faciles à utiliser, assurant la sécurité de leur utilisateur, avec la productivité la plus élevée. La qualité ouvre la porte au succès dans la compétition pour obtenir la fidélité des clients. Le manque de qualité d'un système est un coût pour l'entreprise. Lorsque la performance d'un système s'écarte de sa cible l'utilisateur et le concepteur perdent du temps et de l'argent [Fowlkes & al 1998].

Afin d'améliorer la performance des systèmes de production et leur exploitation, nous allons proposer un modèle conceptuel qui permet d'intégrer dès la conception les contextes d'utilisation et le comportement du système de production et de l'équipe de travail. Dans cette introduction générale, nous commençons par mettre en place :

- Premièrement, la définition de système de production complexe et les domaines d'amélioration de leur performance. Cette amélioration peut être réalisée à partir de la phase de conception ou dans la phase d'exploitation. Dans ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement à la phase de conception pour réaliser cette amélioration. Cela concerne tout spécialement l'amélioration de la performance et de la productivité par l'étude des paramètres influençant la sécurité et les conditions d'utilisation des produits et systèmes de production.

- Deuxièmement, notre problématique qui prend en compte dès la conception, le contexte d'utilisation, le comportement des systèmes de production et les tâches des opérateurs afin d'améliorer leur performance.
- Troisièmement, le positionnement de notre problématique par rapport aux différents aspects des études qui traitent des systèmes de production automatisés. Ces aspects sont la productique, l'ergonomie, la sûreté de fonctionnement, la simulation et la réalité virtuelle.

A la fin de cette introduction générale, nous présentons la structure du manuscrit au travers d'une brève présentation des chapitres suivants.

Définition d'un système de production complexe

Système de production : le produit est toujours le résultat de l'action d'un système de production qui lui apporte la valeur ajoutée. *Celui-ci est une organisation socio-technique, c'est-à-dire un assemblage finalisé de ressources humaines et de ressources technologiques, en proportions variables selon le type de système considéré* [Lhote & al 1995]. Alors, il est exclu dans l'ingénierie de ces artefacts d'entreprendre la conception sur une base purement technique, car il faut considérer le système dans plusieurs perspectives. Dans une perspective socio-organisationnelle il est à considérer en rapport avec les acteurs de son exploitation. Dans une perspective socio-économique, en rapport avec les destinataires de ses produits. Dans une perspective d'intégration, écologique à l'environnement général. Et enfin, dans une perspective socio-technique, en rapport entre l'équipement de travail et son utilisateur direct.

Les systèmes de production complexes sont caractérisés par :

- Une grande taille et une forte complexité technologique [Ciccotelli 1999b],
- Une forte variété de processus de conception et de fabrication et la grande difficulté que l'on a parfois à concevoir et/ou réaliser telle ou telle partie d'une pièce,
- La nécessité de présence humaine autour de ces systèmes pour les conduire et contrôler, même pour ceux les plus automatisés ; le rôle croissant des interactions hommes-machine [Fadier 1996],
- Une dimension collective du travail et un rôle croissant de l'information,
- Une grande variété des procédés physiques utilisés associés à une recherche des meilleures performances,
- L'irréversibilité des phénomènes physiques (usure, détérioration, etc.) et la difficulté de les stabiliser, localiser, limiter l'usure d'un système en utilisant des méthodologies comme AMDEC¹ [Garin 1994]. Ces phénomènes ont de grands effets sur la performance de ces systèmes au fil du temps.

Malgré l'automatisation croissante des systèmes complexes, l'homme reste irremplaçable pour surveiller et intervenir en cas de dysfonctionnement. L'optimisation de la performance des systèmes de production passe donc par la prise en compte lors de leur conception des exigences physiques et cognitives de l'activité humaine.

¹ Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

Amélioration de performances du système de production complexe

Les principaux travaux de recherche consacrés à l'amélioration de la performance des systèmes de production lors de leur utilisation se divisent en plusieurs thèmes et selon différents niveaux.

Au niveau de l'entreprise, nous trouvons la gestion de production qui représente une activité très importante [Courtois 1995 ; Giard 1988]. Elle est décomposée en fonctions élémentaires (planification des flux de produit, ordonnancement de tâches pilotage temps réel, etc.) [Hennet 1997]. La planification détermine un plan de production puis l'ordonnancement essaie d'utiliser les moyens disponibles dans l'entreprise pour produire les quantités prévues sans retard. La bonne organisation des ressources de l'entreprise joue un rôle principal pour l'amélioration de la productivité [Lhote & al 1995]. Ce type de travaux cherche à améliorer la productivité de l'entreprise et pas le système de production utilisé au sein de cette entreprise. L'amélioration du système de production au niveau de son utilisation se fait aussi par des études focalisées sur la stratégie de la maintenance du système. Ces travaux font largement appel aux méthodes et outils de la recherche opérationnelle.

Au niveau organisation, nous trouvons plusieurs études réalisées pour améliorer la performance des systèmes de production en agissant sur l'organisation des ressources, fourniture, stockage dans l'entreprise.

Au niveau des systèmes eux-mêmes, cette amélioration se fait : soit par l'intégration de l'ingénierie robuste qui est une démarche d'ingénierie dont le but est de trouver la meilleure conception pour un produit [Fowlkes & al 1998] par l'intégration de système d'information capable de gérer la quantité immense d'information traitée dans l'entreprise ; soit dans d'autres domaines par des études d'amélioration de la performance des systèmes de production qui se focalisent sur la phase de la conception. La conception recouvre un ensemble de processus très divers ; le plus fondamental est de type cognitif et consiste en l'avancement des différents aspects du système futur.

La nature de la conception, c'est de projeter dans sa vie future possible une version hypothétique du système de production, en examinant tous les processus susceptibles de l'impliquer directement ou indirectement via des objets importés ou exportés. En effet, les systèmes conçus résultent bien souvent de la combinaison de composants faisant appel à des technologies variées (hydraulique, électronique, informatique, etc.) qui sont censés s'intégrer les uns aux autres. En réalité, au niveau des interfaces entre les composants, les systèmes sont mal adaptés, ce qui conduit à des difficultés de pilotage pour les opérateurs. Les systèmes rencontrés dans l'industrie sont donc composés de nombreux sous-systèmes dont les interactions sont souvent difficiles à identifier. Pour les systèmes existants, l'évolution peut être séquentielle et conduit à un mélange de composants de génération différente.

Cette mixité technologique peut induire des incompatibilités au niveau des interfaces. Pour améliorer leurs performances, nous devons donc améliorer les interfaces entre les différents composants du système. Les différents métiers agissant dans le processus de conception ont besoin de communiquer facilement et aux bons moments. La sécurité est un métier intégré difficilement dans le processus de conception. Comment considérer la prise en compte de la sécurité des opérateurs, utilisateurs du système, dès la phase de conception du système ?

Nous trouvons d'autres travaux qui se focalisent sur l'évaluation de la performance des systèmes de production. Bougy [Bougy & al 1999] utilise les réseaux de Petri [David & al 1997] pour présenter une méthode qui constitue un outil d'aide à la décision pour optimiser la performance des systèmes de production et valider les modifications apportées au processus en vue d'améliorer leur productivité.

La problématique

On constate une augmentation de la complexité des systèmes de fabrication compte tenu de l'interaction entre les différentes technologies (mécanique, électronique, informatique, etc.), du nombre important d'acteurs concernés (concepteur, utilisateur, personnel de mise en service, de maintenance, voire de démantèlement, etc.) et de l'intervention humaine plus ou moins importante, même pour les systèmes automatisés. Dans l'objectif d'optimiser la performance des systèmes de production, l'intégration des facteurs humains à la conception est aujourd'hui une nécessité cruciale si on veut traduire réellement les attentes prévues en performances concrètes des systèmes industriels [Fadier 1998]. Mais, un système est rarement en situation de fonctionnement normal, c'est à dire celui prévu par le concepteur où aucun aléa ne vient perturber la production. Au contraire, le système a souvent tendance à migrer vers des « Conditions Limites tolérées par l'Usage" [Didelot 2001] définies comme des conditions non anticipées dans l'analyse des risques effectuée en conception et donc non connues du concepteur et non évaluées. L'analyse de la plupart des incidents/accidents résiduels montre qu'ils surviennent dans des conditions d'usage des machines qui ne sont pas celles envisagées en condition normale d'utilisation. Les conditions de travail engendrent une zone de risque. Or, le comportement du système technique et humain dans cette zone est particulièrement instable, même si le système paraît encore sous contrôle. Une des sources les plus importantes de risque est due à l'écart entre le fonctionnement attendu et le fonctionnement réel [Fadier & al 1998]. Ainsi, en général le fonctionnement nominal ne pose pas de problème ; dès lors que des conditions différentes sont présentes, des conditions de risque apparaissent liées à :

- La présence d'un utilisateur novice,
- Des opérations de mise en route, de maintenance,
- L'évolution du système, sa modification,
- L'évolution du mode de fonctionnement,
- Des modifications de production.

Ces aspects relatifs aux liens entre les paramètres du contexte d'utilisation du système sont dissociés de la démarche traditionnelle de conception des systèmes telle qu'elle est mise en œuvre au niveau des bureaux d'études. En effet, le système de production, objet de la conception, résulte de l'intégration de différents types de connaissance et vise à réaliser une ou plusieurs fonctions demandées. Le concepteur de système de production aborde habituellement avec un point de vue mécanique et à un niveau fonctionnel la conception du système. Ce dernier est, ensuite, représenté d'un point de vue géométrique à l'aide de systèmes de CAO¹ disponibles sur le marché. D'autres points de vue interviennent en recouvrement avec le premier comme les points de vue électrique et électronique. Ceux-ci prennent en compte tous les aspects relatifs aux modes de commande, hardware, software et câblage. Le concepteur s'appuie dans ses travaux sur des bases de données techniques, fonctionnelles voire économiques et législatives. Les outils de modélisation sont limités à une modélisation essentiellement géométrique, représentant le dimensionnement du produit et les qualités de surfaces fonctionnelles associées. Ils prennent peu en compte le futur utilisateur humain dans son interaction avec le système. Or, en phase opérationnelle, l'homme s'approprie le système, il a une image de son fonctionnement et réagit en fonction de ce modèle. Il est donc important de pouvoir considérer des éléments liés aux futures situations de travail dès la conception. Les normes, règlements, habitudes sont adaptés à des machines simples, mais les systèmes automatisés, les grandes installations et les besoins actuels en

¹ Conception Assistée par Ordinateur.

terme de flexibilité induisent des risques nouveaux ou plus difficilement envisageables. Ces installations seront modifiées au cours de leurs vies (intégration dans une chaîne, reconfiguration, changement de type de production, etc.) et les éléments de sécurité initialement prévus risquent d'être ignorés. Ainsi, les phases de conception et de re-conception du système concernent un ensemble d'acteurs qui intervient de façon simultanée ou différée ayant des points de vue et des niveaux d'analyse différents inhérents à leur métier, à leur fonction, à leur approche. Aussi, il s'avère nécessaire de mettre en œuvre des moyens (méthodes, outils et organisations) assurant la cohérence des informations et décisions s'appuyant sur une méthodologie de conception adaptée. Les contraintes fortes doivent être prises en compte le plus tôt possible dans le processus de conception afin de raccourcir le cycle de conception-réalisation et d'assurer la cohérence des solutions retenues.

Dans notre cas, nous nous intéressons à la prise en compte du risque en situation de travail dès la conception du système. Une attention particulière est à apporter aux enchaînements d'actions qui peuvent contribuer à augmenter la dangerosité de la situation que ce soit en mode de fonctionnement nominal, dégradé ou annexe (préparation, démantèlement) [Hasan & al 2000a]. Il est donc nécessaire de modéliser la situation de travail et son contexte et de disposer d'outils et méthodes permettant :

- De mémoriser la connaissance en s'appuyant sur une sémantique appropriée, dans un objectif de gestion cohérente et de ré-utilisabilité,
- De mémoriser et suivre le processus de conception, afin de capitaliser les alternatives de solutions et les choix et décisions inhérentes à ces choix, au travers de l'historique de conception et des intentions de conception,
- D'identifier les contraintes à prendre en compte et à quel moment, en s'appuyant sur les règles de l'art et la connaissance mémorisée,
- D'informer le concepteur sur les points de passage obligés, les pistes inexplorées, l'état d'avancement du projet par rapport aux délais, afin d'être en mesure de prendre en compte les validations et coordinations nécessaires à une démarche de développement en ingénierie simultanée,
- De modéliser sous la vue sécurité le comportement des composants et des systèmes,
- De résoudre des problèmes de contradiction résultant de l'intégration de la sécurité. Ces contradictions « sécurité-productivité » peuvent encourager l'opérateur à neutraliser les mesures de sécurité décidées lors de la conception pour répondre aux prescriptions des normes.

La sécurité des personnes, celles des biens et de l'environnement, exigent en conséquence des concepteurs, pour pallier ces risques, une démarche de conception sûre, comme celle préconisée, par exemple, par la norme EN 292 [Norme 1991]. Éliminer le risque, à défaut le réduire à un niveau résiduel tolérable et ce, pour l'ensemble de la vie de l'équipement, tel est l'objectif de cette prévention intégrée à la conception.

Le concept d'intégration de la sécurité à la conception des systèmes de production est apparu en France il y a plus de vingt ans. Toute la réglementation nationale applicable aux machines et mise en place dans les années 80 s'est appuyée sur ce concept. La norme européenne EN 292 [Norme 1991] a défini une terminologie de base et une stratégie pour sélectionner les mesures à prendre pour l'étude de risque. Cette stratégie est basée sur l'analyse de risque et l'estimation de risque. Le concepteur doit commencer par :

- Déterminer les limites du système,

- Estimer les risques (déterminer les éléments de risque),
- Évaluer les risques.

Malgré tout, le point de vue de sécurité a été considéré comme une tâche à part, distincte des tâches de développement, conception, elle est souvent confiée à des services et des fonctionnels n'appartenant pas à l'équipe de développement. Aujourd'hui, on considère que ce point de vue fait partie de la responsabilité de tous les ingénieurs et cadres. Malgré l'application des normes actuelles qui ont permis de réduire largement les accidents, la sécurité n'est pas intégrée suffisamment tôt en conception de systèmes mécaniques. Celle-ci est toujours prise en compte en fin de cycle de développement voire lors de l'installation de l'équipement pour respecter les prescriptions techniques des normes, dans notre cas celles contenues dans la norme européenne Pr EN 1010 [Norme 1998]. D'autre part, comme déjà évoqué les machines sont de plus en plus complexes et toutes les conditions d'utilisation liées à l'environnement ou à l'utilisation sont difficilement prises en compte (contraintes de production, bâtiment, etc.) (qualification de l'opérateur (novice), maintenance, etc.). On constate d'ailleurs, assez souvent un décalage entre la manière dont le concepteur envisage l'utilisation du système et celle qui est effectivement mise en œuvre chez l'utilisateur (Figure 0.1).

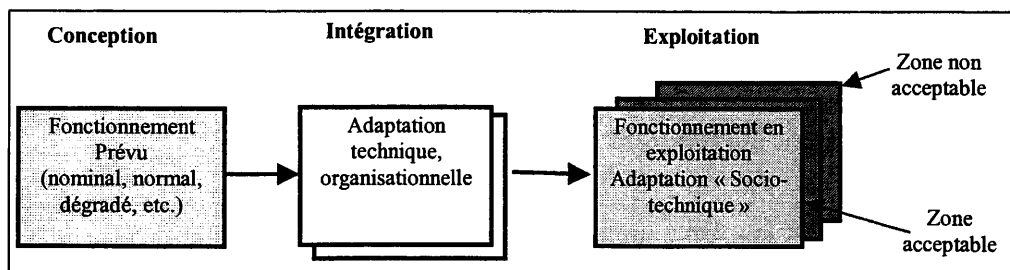


Figure 0.1 : Évolution des écarts au nominal avec la vie du système

Notre implication dans cette problématique concerne principalement la prise en compte de l'utilisation du système de production et de la situation de travail dès la phase de conception de celui-ci. Pour cela, il s'agit d'étudier le processus de conception du système de production et le processus de son intégration, puis de modéliser et représenter l'ensemble dans un modèle de système en situation de travail.

Ainsi, nous sommes amenés à spécifier des modèles pertinents relatifs au système de production et à son processus de conception, afin de favoriser une modélisation prévisionnelle des risques. Une attention particulière est apportée à la relation « homme-système de production ».

Notre objectif de recherche est, d'un côté, de prendre en compte le point de vue « comportement du système » pour prévenir les risques liés à son utilisation. D'un autre côté, de contribuer à combler le manque d'outil et de méthode dans cette nouvelle voie de conception. Nous cherchons, enfin, à constituer un support méthodologique et technique permettant d'aider le concepteur à évaluer en termes de risques la pertinence des choix réalisés pour satisfaire les fonctions demandées et faire remonter les retours d'expérience [Thevenot 1999] de façon systématique et formalisée.

Le retour d'expérience consiste en une collecte d'informations a posteriori sur le comportement des systèmes (avis d'experts, observations du fonctionnement, des dysfonctionnements, etc.) et sur le facteur humain [Marion & al 1999]. Son exploitation doit permettre de fournir des indicateurs synthétiques permettant d'ajuster les modèles de sûreté de

fonctionnement à la réalité du système étudié. Les données brutes de retour d'expérience sont souvent très hétérogènes et difficiles à exploiter par des méthodes statistiques classiques.

Lors de la sélection d'une solution technique, le concepteur peut, alors, connaître et identifier les risques susceptibles d'être engendrés par les solutions retenues et lorsqu'elles existent, les alternatives ou compromis possibles, (Figure 0.2).

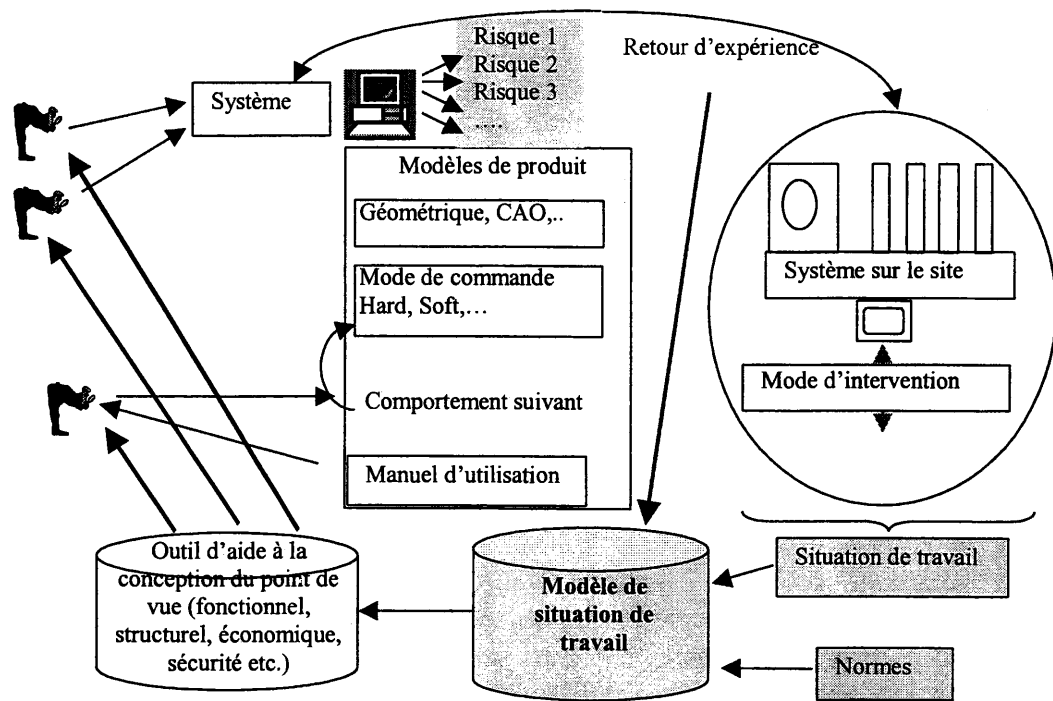


Figure 0.2 : L'intégration de la « situation de travail » dans la conception des systèmes complexes

Aussi, l'objectif final consiste en l'élaboration d'une démarche de conception qui intègre les facteurs humains et le comportement de système dès le début du processus de conception ; il s'agit, ensuite, d'adapter la démarche proposée à la méthode de conception utilisée par le concepteur pour faciliter l'intégration des informations fournies. Il s'agit de proposer un modèle générique de situation de travail servant comme un support et un guide pour le concepteur.

Positionnement de notre problématique

Dans la suite, nous donnons un aperçu des domaines d'étude des systèmes de production automatisés. Nous distinguons quatre domaines qui appartiennent à trois démarches. Notre objectif dans cette présentation est de montrer notre positionnement par rapport à ces différents aspects.

La productique¹

En fait, la notion de productique globalise les domaines des études de système de production. Elle est définie comme une discipline qui traite de l'ensemble des méthodes et des techniques qui permettent d'accroître la productivité en appliquant, à toutes les étapes de la production, un mode de gestion des opérations conforme à la fois aux principes de l'automatisation souple et à ceux du traitement intégré des données [Dictionnaire].

¹ Selon Hachette, la productique est l'ensemble des techniques qui concourent à l'automatisation de la production dans les usines.

Le terme « productique » a été déposé par Philips Data System en 1979. Depuis lors, son emploi s'est répandu et si l'on en juge par sa consignation dans les ouvrages lexicographiques sans qu'il soit accompagné d'aucune marque d'usage, il a perdu son caractère exclusif. Il ne faut pas confondre « productique » et « robotique industrielle ». La productique est une discipline qui traite tant de la conception assistée par ordinateur (CAO), que de la fabrication assistée par ordinateur (FAO), de la conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO), de la gestion de production assistée par ordinateur (GPAO), de la commande numérique et de l'informatique industrielle, ces techniques étant considérées dans la perspective d'une gestion des opérations conforme aux principes de l'automatisation souple et du traitement intégré des données. La robotique industrielle est un sous-ensemble de la productique. Il ne faut pas confondre non plus la productique avec la mécatronique. L'objet de cette dernière discipline n'est pas restreint au domaine de la production, mais englobe tous les champs d'application de la mécanique associée à l'électronique. En outre, la productique s'intéresse non seulement aux techniques issues de la combinaison de la mécanique avec l'électronique, mais à toutes les techniques qui permettent de réaliser une automatisation souple et intégrée de la production. La productique peut permettre l'intégration, en un seul système informatisé et continu, des phases de planification, de conception, d'ingénierie, de fabrication et de gestion. L'objectif de la productique est d'intégrer l'ensemble des fonctions d'une usine de la conception à la fabrication en passant par la gestion de production et la maintenance [ISDF¹ 1994].

En prenant en compte cette définition de la productique, nous pouvons assurer que nos travaux se situent dans ce champ. Parce que, d'une part, nous travaillons sur la conception de systèmes de production et d'autre part, notre objectif est de proposer un support technique et méthodologique pour aider le concepteur dans son travail de conception. Ceci constitue la base d'un support informatisé permettant de prendre en compte les paramètres de sécurité au meilleur moment dans la conception.

La sûreté de fonctionnement

La nature des systèmes de production a été modifiée au fil du temps à cause des nouvelles technologies et pour répondre à la demande plus sophistiquée du marché. La recherche d'une meilleure performance globale dans la conception de systèmes complexes, l'obligation d'innover et enfin du bien faire du premier coup sont des impératifs économiques et stratégiques dans le monde industriel. Cette recherche d'amélioration continue impose aux entreprises de s'intéresser aux méthodes de sûreté de fonctionnement qui consistent à étudier le comportement de ces produits et processus vis-à-vis de leurs dégradations au cours du temps en se basant sur la notion de risque.

La sûreté comprend un ensemble de techniques utilisées pour évaluer les risques inhérents aux installations (nucléaires par exemple) et pour les supprimer ou, à défaut, réduire leur probabilité d'apparition et l'importance de leurs conséquences. En électricité la sûreté de fonctionnement traduira la confiance qui s'attache à un composant, un circuit ou un système pour son aptitude à fonctionner sans défaillance pendant une période de temps donnée et sous certaines conditions préalables. En informatique il s'agira de l'aptitude d'un système informatique à assurer ses fonctions sans défaillance, dans des conditions préalablement définies et sur une période déterminée [Dictionnaire].

La sûreté de fonctionnement est l'association de quatre thèmes : la Fiabilité (fonctionnement sans discontinuité), la Maintenabilité (facilité de réparation), la Disponibilité (prêt à

¹ Institut de Sûreté De Fonctionnement

fonctionner à tout instant) et la Sécurité (aucun incident n'est catastrophique). Elle contribue à la conception, à la reconception et à la réalisation satisfaisant les exigences de ces quatre thèmes (F.M.D.S)¹, à établir les relations qualitatives et quantitatives entre les caractéristiques du produit et des processus associés, d'une part et les performances (F.M.D.S) qui en découleront dans le cadre des utilisations prévisibles, d'autre part. [Étude 1997]. Laprie, [Laprie 2000], a défini la sûreté de fonctionnement d'un système d'informatique par la propriété qui permet à son utilisateur de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre. Dans la Figure 0.3, nous présentons l'arbre de la sûreté de fonctionnement proposé par Laprie.

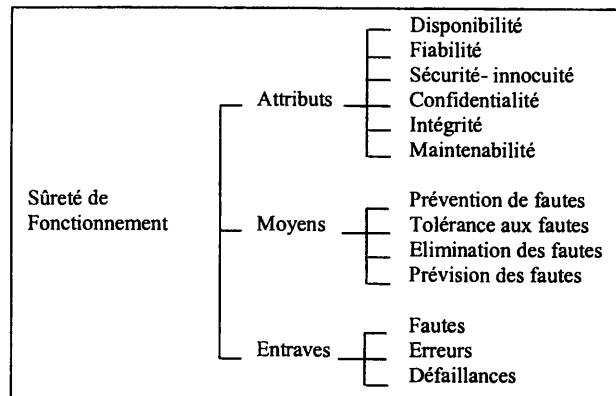


Figure 0.3 : Extrait de [Laprie 2000] l'arbre de la sûreté de fonctionnement

La maîtrise des risques que cherche à assurer cette démarche s'applique aussi bien aux risques encourus par le système de production (disponibilité insuffisante, sécurité du personnel non assurée, maintenance trop onéreuse) qu'aux risques liés au produit/service élaboré (fiabilité insuffisante, maintenabilité à améliorer, responsabilité du fait de la dangerosité du produit, etc.). La sûreté de fonctionnement et la sécurité des machines, des systèmes de production automatisés, forment aujourd'hui une exigence essentielle des cahiers des charges. Plus grande complexité, installation de taille importante, changement fréquent de production, actionneurs plus rapides et plus énergétiques, fonctionnement en réseau, etc. accroissent les risques d'insécurité des machines. Le risque prend deux sens.

Le premier au travers des risques techniques qui sont au centre des études de sûreté de fonctionnement classiques, parce que les concepteurs imaginent des solutions techniques répondant au cahier des charges en ne tenant compte que partiellement de la sûreté de fonctionnement et des normes et en définissant des conditions d'utilisation garantissant, a priori, le fonctionnement optimal du système. Ce risque est lié au système lui-même ; c'est à dire les problèmes susceptibles d'arriver au système à cause d'une défaillance technique (par exemple, une panne simple d'un organe provoque la défaillance complète du système).

Le deuxième concerne les risques liés à la notion de fiabilité humaine [Fadier 1996], qui peuvent apparaître comme de résultat d'un événement indésirable et engendrent une atteinte à la santé de l'utilisateur ou de l'équipe de travail. Ces deux types de risques engendrent des arrêts du système et donc diminuent sa productivité et sa performance et conduisent à des accidents comme à des pertes au niveau de l'entreprise.

Le fait que la conception de produit ne puisse plus être détachée de la notion de sécurité des personnes amène à prendre en compte, lors de la conception des équipements de travail, des critères liés à leur exploitation :

¹ Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité.

- La complexité des systèmes industriels est croissante compte tenu de l'interaction entre les différentes technologies, du nombre important d'acteurs concernés et du niveau d'intervention humaine dans les systèmes automatisés.
- La nécessité de présence humaine autour de ces systèmes est de plus en plus diversifiée ; le rôle de l'opérateur devient toujours plus important et la conception représente sur le plan industriel un enjeu socio-technico-économique.
- Les accidents qui peuvent survenir encore ne font que mettre en évidence la nécessité pour ces systèmes d'élever leur niveau de sécurité en prenant en compte le rôle futur de l'opérateur dès les premières phases de la conception.

De ce fait, nos travaux appartiennent à ce thème de recherche par ce que nous cherchons l'amélioration de la performance des systèmes de production en étudiant les conditions d'utilisation dans l'ensemble des possibilités de situations de travail pour les intégrer dans les phases de conception.

Simulation et réalité virtuelle

La simulation a été définie comme une méthode d'étude ou type d'essai qui consiste à remplacer tout ou partie d'un dispositif ou de son environnement par un modèle physique ou mathématique ; c'est la mise en œuvre d'un modèle auquel on applique diverses conditions, afin de prévoir son comportement dans des conditions réelles. La simulation s'opère après modélisation du système ; il s'agit de fournir les données d'entrée pour mettre en œuvre le modèle afin d'obtenir les différents types de résultats représentatifs du fonctionnement du système réel. Les modèles de comportement physique, cinématique ou dynamique des procédés ou moyens de fabrication permettent de répondre aux objectifs techniques. La simulation des flux de produit répond aux contraintes logistiques ou économiques. La prise en compte de l'homme fait appel aux techniques de la réalité virtuelle.

La technologie de la réalité virtuelle permet la vérification instantanée de l'occurrence du concept en conception assez tôt dans le cycle du développement avant même la réalisation du modèle physique de produit. En plus, la réalité virtuelle peut être utilisée pour former les personnels de ligne avant que le vrai processus soit délivré. [Ikononov & al 2000] a développé et implanté une simulation virtuelle de l'assemblage où toutes les parties, machines et outils, sont positionnées à leur place et l'utilisateur peut les manipuler de façon « normale ».

On tend, ainsi, vers la proposition d'une architecture d'un système manufacturier virtuel pour développer la capacité humaine et supporter la créativité et la collaboration humaine de façon à maximiser la réceptivité et la notion d'équipe de travail, la prochaine génération de l'entreprise. Le système de production de prochaine génération^I se base sur une architecture d'un système de production virtuel. Le système de production virtuel^{II} est défini comme un système qui contient deux parties (physique et informationnelle) et qui réalise trois fonctions :

- Intégration des activités différentes tout au long du cycle de vie de produit et du cycle de l'usine,
- Intégration des ressources différentes,
- Intégration des systèmes (entre les systèmes réel et virtuel).

^I Le concept système de production de prochaine génération est la traduction personnelle du concept anglosaxon : Next Generation Manufacturing.

^{II} Le concept d'un système de production virtuel est la traduction personnelle du concept anglosaxon Virtual Manufacturing System.

Choi [Choi & al 2000] a identifié les caractéristiques du Système de Production Virtuel :

- Il est un support pour l'entreprise virtuelle et se concentre sur le client et le travail,
- Il est un support global pour la conception et la production et forme une base d'informations et de connaissances,
- Il est modulaire pour supporter les distributions et l'autonomie mais il est aussi coopératif pour répondre aux objectifs de l'entreprise.

Il a proposé une nouvelle structuration de système de fabrication virtuel pour satisfaire les besoins de la prochaine génération de système de fabrication dans l'approche anthropocentrée [Étude 1997]. Dans cette structure, le système doit réagir vers l'opérateur pour supporter (soutenir) son niveau de connaissance et lui donner les motifs pour réaliser des actions appropriées. L'objectif de cette approche est d'utiliser les activités humaines et d'exploiter les technologies d'information comme un outil d'aide pour l'utilisateur humain, et non pas comme un remplaçant. La structure proposée consiste en le développement du produit et du processus, de la production, de la logistique et du service après vente. Elle peut être définie comme une structure cyberspace de planning, contrôle et mécanisme d'interface pour supporter la prise de décision humaine s'appuyant sur la supervision et la simulation de la situation de travail actuelle en modélisant toutes les activités et ressources d'un système de fabrication physique.

En fait, ces méthodes (simulation et réalité virtuelle) permettent de :

- Donner des moyens convenables et plus économiques pour construire et/ou modifier des conceptions alternatives,
- Faire des itérations très nombreuses,
- Évaluer l'interface homme/machine le plus tôt possible,
- Déterminer des essais adéquats et éliminer les difficultés, déterminer les personnes représentatives.

Mais elles ont aussi les désavantages suivants :

- Elles n'agissent pas comme un système expert,
- Elles ne peuvent pas générer une conception optimum pour un ensemble de données,
- Le concepteur doit déterminer lui-même les paramètres et facteurs physiologiques,
- Le concepteur doit avoir une connaissance importante en ergonomie,
- Elles sont rarement utilisées dans l'industrie,
- Les modèles utilisés ne sont pas toujours pertinents par rapport à l'objectif,

Nos travaux placent en perspective les aspects liés à la simulation de situation de travail à partir de notre modèle. Le retour d'expérience à la conception grâce à la réalité virtuelle est également une voie vers laquelle nous pensons qu'il sera pertinent d'aller dans l'avenir.

Structure du manuscrit

Après cette introduction générale, nous présentons le premier chapitre qui se focalise sur la démarche et la méthodologie de travail suivies pour analyser les terrains et extraire les informations de base pour notre problématique. Nous avons analysé les modes de fonctionnement du système, son processus de conception au niveau organisationnel et opérationnel et l'intégration de la sécurité dans le processus de conception. Un point sur les

données relatives aux risques, les normes associées et leur stratégie d'intégration est également développé.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons un état de l'art basé sur trois points. La conception des systèmes de production, les approches, méthodes et outils (modèle de produit et modèle de processus de conception). La notion de sécurité et son évolution dans le temps sont détaillées, d'une perception de contrainte vers une perception de fonction d'importance. L'application des normes est présentée afin de mettre en évidence leurs avantages et leurs inconvénients au niveau de l'exploitation du système. L'intégration de la sécurité en conception est abordée selon deux points de vue (ergonomique et technique). Cette intégration est étudiée dans les méthodes, les modèles et les processus de conception. Des travaux sur l'estimation et l'évaluation de risque sont aussi évoqués.

Dans le troisième chapitre et à partir de nos analyses du processus de conception et des manuels d'utilisation, les concepts d'un modèle générique de situation de travail multi-métiers, multi-vues sont proposés. Le modèle est destiné à la modélisation du système socio-technique et des interactions entre l'équipe de travail et le système technique. Ce modèle nous offre :

- La possibilité d'intégration des aspects liés à la dynamique d'utilisation du système, à la dynamique de l'utilisation du modèle, à la dynamique de projet de conception et à l'intégration de la fonction « suivi de projet ». Ces points sont intégrés dans une démarche nouvelle de conception. Cette démarche avec les domaines d'utilisation de modèle, sont le sujet du quatrième chapitre.
- La possibilité de remonter les données et les éléments de retour de terrain (retour d'expérience) est aussi prise en compte afin de les intégrer dans le processus de conception. Cet aspect est également argumenté dans le quatrième chapitre.
- L'aide à la résolution des contradictions liées à l'intégration de la sécurité ; l'intégration actuelle de la sécurité engendre des problèmes de contradiction, il en résulte des compromis à appliquer comme solutions satisfaisant les prescriptions des normes. Ce point de traitement du modèle est le sujet du chapitre 5.

Dans le chapitre 6, nous présentons l'application industrielle. Cette application se traduit par le développement informatique d'une maquette basée sur le modèle conceptuel proposé. Elle permet de montrer l'applicabilité de notre démarche dans des conditions réelles de conception.

Le résumé et les perspectives de nos travaux sont présentés dans une conclusion générale. A la fin du manuscrit le lecteur trouvera les références bibliographiques consultées et les annexes illustrant nos résultats.

1. Chapitre 1

Contexte (Étude et Analyse des données d'entrée)

Table des matières du chapitre 1

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 1	19
1.1 METHODOLOGIE DE TRAVAIL	21
1.1.1. <i>Observation</i>	21
1.1.2. <i>Analyse de documents dans l'entreprise partenaire</i>	22
1.1.3. <i>Formalisation et modélisation</i>	22
1.2 ANALYSE DES MODES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	23
1.3 ANALYSE DU PROCESSUS DE CONCEPTION	25
1.3.1. <i>Niveau organisationnel</i>	25
1.3.2. <i>Niveau opérationnel</i>	26
1.4 NOS ANALYSES POUR L'INTEGRATION DE LA SECURITE.....	29
1.4.1. <i>L'approche normative relative au risque</i>	29
1.4.2. <i>Notre première réflexion sur la situation de travail</i>	31
1.5 CONCLUSION CHAPITRE 1.....	32

1.1 Méthodologie de travail

La prise en compte des conditions d'utilisation du système de production dès la conception devrait permettre une meilleure adéquation entre ses paramètres techniques et son intégration sûre dans les situations de travail. Notre objectif est de prendre en compte les paramètres de sécurité le plus tôt possible dans le processus de conception. Cela ne peut pas être envisagé sans quelques difficultés. La première était de caractériser ce que sont les paramètres de sécurité. Ce type de problème a été l'objet des travaux de nos partenaires dans le projet PROSPER-GIPC (cf. annexe 1). La deuxième était de déterminer comment intégrer ces paramètres dans le processus de conception de façon simple naturelle sans compliquer la tâche du concepteur et sans augmenter sa charge de travail. Enfin, il s'agissait de réaliser cette intégration aux meilleurs moments à toutes les étapes du processus de conception. Le champ expérimental choisi concerne les ensembles automatisés séquentiels et plus particulièrement les machines rotatives à imprimer. Il aura fallu, pour cela, étudier le système et son processus de conception, le processus et l'environnement d'intégration, ainsi que le système en situation de travail. Pour réaliser ces objectifs nous avons suivi la méthodologie suivante :

1.1.1. Observation

Nous avons réalisé une étape d'observation à plusieurs niveaux :

- Entretiens auprès de différents acteurs impliqués dans le processus de conception ; plus particulièrement le responsable du Bureau d'Études (BE) sécurité dans l'entreprise conceptrice des lignes d'imprimerie (cf. Chapitre 6), mais aussi avec des responsables des BE Développement mécanique, BE électrique et électronique, un chef de projet, le responsable d'essais. Ces entretiens avaient principalement pour but de connaître et leur demander d'évaluer leur propre méthode de travail puis de mieux comprendre comment ils intègrent la sécurité de l'opérateur au cours du processus de conception. Nos résultats sur ce point sont présentés dans le paragraphe relatif à l'analyse du processus de conception.
- Enregistrement de ces entretiens lorsque cela était possible et analyse de ces enregistrements. Pour bien comprendre leurs raisonnements et comment ils perçoivent la sécurité ; la voient-ils comme une contrainte de plus, une obligation ou comme un critère de valeur pour améliorer le système et son marketing ?
- Suivi partiel de la phase de tests d'une nouvelle plieuse et observation des tests réalisés dans l'atelier et les locaux du concepteur. Dans cette étape, nous avons suivi une partie du projet de conception. Nous avons analysé leur façon de travailler dans ce projet et comment le chef de projet centralise l'avancement du projet et les points d'intégration de la sécurité.
- Visite des sites d'utilisation de systèmes chez des entreprises exploitantes et utilisatrices des systèmes conçus par notre partenaire, pour recueillir et comparer les points de vue concepteur – intégrateur et utilisateur. Cette étude nous a permis de constater les décalages existants entre la situation de travail imaginée par le concepteur et celle qui existe chez l'utilisateur.
- Étude des problèmes de résolution de contradictions liés à la sécurité. L'intégration de la sécurité engendre souvent des contradictions résultant du fait que les mesures de

sécurité peuvent gêner l'utilisateur en diminuant l'accessibilité et sa visibilité, ce qui peut conduire à une diminution de la productivité globale du système (cf. Chapitre 5).

1.1.2. Analyse de documents dans l'entreprise partenaire

Dans cette étape, nous avons centré notre travail sur les informations disponibles au sein de l'entreprise à la disposition des concepteurs et concernant le point de vue sécurité. A ce stade, nous pouvons distinguer deux catégories de documents :

- Les documents sensés être utilisés par le concepteur lui-même. Nous avons analysé ces documents suivant deux points de vue. Le premier est relatif à la génération et au contenu de ces documents. Le deuxième concerne la façon d'utiliser ces documents. Ainsi, nous avons analysé :
 - Les normes qui sont appliquées aux produits conçus par l'entreprise et qui viennent en appui des réglementations à respecter (Directive Machines notamment). Ce sont les normes européennes et internationales voire nationales (AFNOR, ISO, etc.).
 - Normalien, Guideline product safety, etc. Ce sont des documents internes à l'entreprise préparés par des services destinés à capitaliser les expériences de l'entreprise au niveau de la sécurité (ou autre).
 - Procédures « méthodologie de conception » des bureaux d'études, et du bureau de Performance de Produit qui assure la bonne performance du système après son installation chez l'utilisateur. Ces documents adoptés par l'entreprise certifiée ISO 9000 déclinent la méthodologie de travail pour chaque entité du bureau des études.
 - Objets intermédiaires de conception (plans, fiches revues de conception, fiches analyse de la valeur, nomenclatures client (Dataforms), request for quotation (RFQ), note de modification, etc.).
 - Base de données du BE performance (retours d'expérience) qui concerne les problèmes chez les clients. Cette base de données permet de capitaliser les retours d'expérience recueillis chez les utilisateurs clients de notre partenaire.
- Les documents destinés aux utilisateurs du système conçu, comment le concepteur les réalise et quelles sont les informations contenues. Dans cette catégorie nous avons analysé les manuels d'utilisation réalisés par le concepteur. Ces documents destinés aux utilisateurs des systèmes explicitent les tâches manuelles. Ils sont censés indiquer les séquencements des tâches manuelles, les opérateurs et leurs qualifications, leur nombre, etc. nécessaires pour la production normale, le réglage et la maintenance du système.

1.1.3. Formalisation et modélisation

Une partie importante de notre travail a porté, d'abord, sur la modélisation du fonctionnement de la ligne d'imprimerie en incluant le point de vue sécurité donc les niveaux d'interactions homme-système. Ce travail a été développé à partir de l'analyse des documents fournis par l'entreprise partenaire (le concepteur et l'intégrateur de cette ligne) à ses clients pour l'utilisation, le réglage et la maintenance. Nous avons, aussi, réalisé une analyse fonctionnelle du processus de conception appliqué par le bureau d'étude dans cette entreprise [Hasan & al 1999]. Nous présentons plus loin nos résultats de l'analyse de terrain modélisés par la méthode SADT¹ [I.G.L.1989 ; Jaulent 1994]. La méthode SADT paraît particulièrement

¹ Structured Analysis Design Technique

adaptée à notre objectif d'analyse du système de production (ligne d'imprimerie) chez le concepteur-intégrateur. SADT fournit un chemin complet, compréhensible, et bien établi pour augmenter la perspicacité. L'explicité de cette méthodologie améliore l'échange de la connaissance, sa structure permet de la partager avec un grand nombre de spécialistes, chacun travaillant sur un domaine spécifique. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de visualiser la conséquence des anomalies et qu'elle facilite la conception des stratégies préventives (Figure 1.1). Elle dispose de nombreuses qualités telles que :

- Sa très bonne lisibilité,
- Le nombre restreint de ses concepts de base,
- Son aptitude à communiquer dans un langage non informatique,
- L'organisation de l'équipe qui réalise la modélisation,
- La structure hiérarchique et modulaire du modèle obtenu,
- Le fait que ce soit un outil de communication interdisciplinaire particulièrement nécessaire dans notre étude.

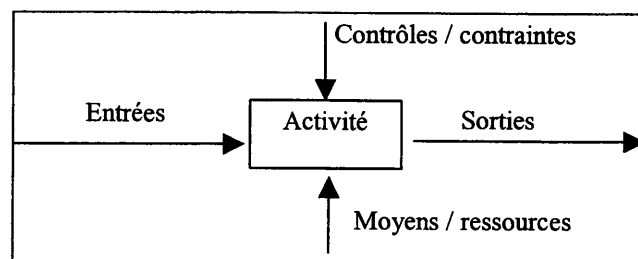


Figure 1.1 : Le principe de la méthode SADT

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés à la modélisation et à la définition de la notion de situation de travail. Pour cela, nous avons utilisé la méthode UML¹ pour présenter les concepts de la situation de travail et les relations entre ces concepts. Nous avons choisi cette méthode à cause de sa simplicité, sa facilité de compréhension, son utilisation comme structuration du système d'information ce qui permet de présenter un point de vue statique, et également pour présenter le point de vue dynamique du modèle. *UML est un langage conçu pour visualiser, spécifier, construire et documenter les artefacts d'un système à forte composante logicielle* [Booch & al 2000] (cf. § 3.4).

Après cette présentation de nos méthodologies et outils de travail, nous présentons les résultats de notre analyse de terrain.

1.2 Analyse des modes de fonctionnement du système

Notre objectif de recherche est de prendre en compte le point de vue « comportement du système » pour prévenir les risques liés à son utilisation. Les travaux ont débuté par une analyse du système de production (dans notre cas une ligne d'imprimerie) à partir de manuels d'utilisation fournis par le concepteur à l'utilisateur [Hasan & al 2000a]. Cette analyse nous a permis de :

- Déterminer les modes d'intervention humaine sur le système,
- Préciser les niveaux d'intervention,
- Identifier le partage des tâches entre le système technique et l'utilisateur.

¹ Unified Modeling Language acronyme du langage de modélisation objet unifié.

L'objectif de cette analyse est l'évaluation des méthodes de conception existantes pour choisir la méthode la plus adaptée à l'intégration des notions de risques et paramètres de sécurité que nous cherchons à identifier. Pour nous, il s'agit d'étudier le processus de conception, les équipements de travail et leur processus d'intégration, puis de modéliser et représenter ces paramètres dans un modèle de produit. Notre objectif est d'étudier le système de production que représente la ligne d'imprimerie et de comprendre :

- Le mode de fonctionnement nominal du système du point de vue concepteur et intégrateur (les fonctions réalisées par le système et par l'homme),
- Les modes d'intervention de l'homme (maintenance, réglage, contrôle, production, dépannage, etc.),
- Les niveaux d'intervention (par ex. appuyer sur un bouton, faire passer la bande à travers le danseur dans le dérouleur),
- La nature des fonctions réalisées par l'homme ayant un effet sur l'hygiène et les conditions de travail (par ex. pénibles, dangereuses, etc.).

D'après cette analyse, le concepteur a précisé toutes les consignes nécessaires pour améliorer la performance du produit dans des conditions de sécurité préconisées par les normes et plus spécialement les normes Pr EN 1010 et NF EN 292, NF EN 1050 [Norme 1998 ; Norme 1991 ; Norme 1997a]. L'opérateur sur la ligne est présenté sans préciser sa qualification ; pour le concepteur l'opérateur a toutes les formations nécessaires pour travailler sur la machine. Il n'existe pas de précision quant au nombre d'opérateurs engagés dans une opération de maintenance ou de débouillage (Figure 1.2).

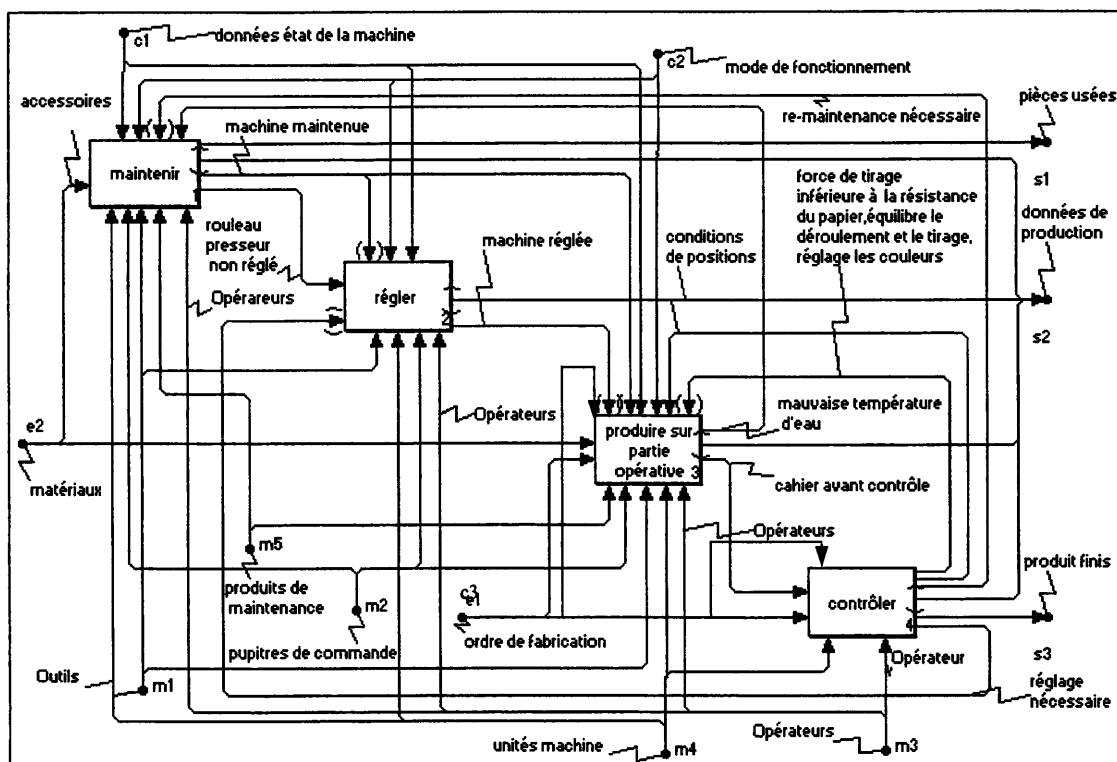


Figure 1.2 : Un extrait de l'analyse fonctionnelle de la ligne d'imprimerie

Ainsi, nous avons poursuivi cette analyse pour affiner le modèle SADT. Ceci a contribué à modéliser les risques potentiels dans l'utilisation du système et a fait apparaître un décalage entre le modèle SADT réalisé en s'appuyant sur les manuels d'utilisation et le modèle réalisé

en s'appuyant sur la situation réelle de travail. En effet, en nous appuyant sur les activités et les tâches réalisées par les opérateurs sur les sites d'utilisation nous avons élaboré un SADT de terrain. Cette analyse a fait apparaître des écarts entre les procédures d'utilisation préconisées par le concepteur et les procédures pratiquées. Ce qui confirme l'existence d'un écart entre une activité imaginée par le concepteur et la situation réelle de travail.

Dans la plupart des cas, les opérateurs appliquent les procédures d'utilisation mentionnées dans les manuels d'utilisation. Lorsqu'il y a dérives, celles-ci sont les résultats d'actes délibérés mis en oeuvre pour des raisons de gain de temps, pour éviter d'arrêter le système ou de mettre en oeuvre une procédure dure et longue, etc. Ce type de dérive est représenté par des notions qui sont finalisées et validées par d'autres partenaires du projet de recherche. Parmi ces notions nous trouvons : Activités Limites d'Utilisation (ALU), Condition Limites d'Utilisation (CLU) [Didelot 2001], Conditions Limites tolérées par le Concepteur (CLC) et celles tolérées par l'Opérateur (CLO), [Vanderagen & al 2000]. Nous présentons un exemple de ce décalage « conçu-réel » dans le chapitre 6.

En annexe 2, nous présentons quelques niveaux de notre modélisation de fonctionnement du système de production faits sous forme SADT où apparaît l'opérateur sur la ligne. Nous ne présenterons pas tous les niveaux dont l'analyse détaillée comprend environ 150 pages.

1.3 Analyse du processus de conception

Les difficultés du processus de conception viennent de l'incertitude et de l'incomplétude des objets manipulés (cahier des charges, système de fabrication, fonctionnement, etc.). Afin de permettre la convergence rapide et un déroulement cohérent du projet, la spécification d'un modèle de processus de conception devra être effectuée après une analyse des acteurs et des flux informationnels et décisionnels. Il s'agit, donc, en particulier, de créer des aides méthodologiques (grilles, indicateurs, outils de suivi, indicateurs de connaissance des experts) afin de permettre une convergence plus rapide vers la solution optimale et le dialogue entre les différents acteurs de points de vue et de cultures différents. Dans la suite, nous présentons nos analyses concernant le processus de conception réalisé chez le partenaire industriel dans l'objectif de comprendre sa façon d'intégrer la sécurité en référence aux normes européennes. Nous abordons aussi les aspects liés au niveau opérationnel de notre approche, à savoir comment nous sommes capables de les aider à opérer une telle intégration, à quel moment, de quelle manière, par quel outil ?

1.3.1. Niveau organisationnel

Nous avons réalisé une analyse fonctionnelle du processus de conception appliqué par le bureau des études dans l'entreprise partenaire. Après nos visites et nos rencontres avec différentes personnes des BEs et du service intégrateur, nous avons analysé le processus de conception suivi dans cette entreprise. Nous avons déterminé quel est le rôle de chaque BE dans le processus. Nous avons analysé l'organisation de ces BEs, comment chaque bureau réalise son travail de conception, d'amélioration, de modification, d'innovation dans certains cas, quelles sont les relations qui existent entre ces BEs. Suivant quelle méthode ils travaillent. Quelles sont les sources d'information, les entrées, les variantes de chaque BE et quelles sont les sorties et quels moyens ils utilisent pour travailler [Hasan & al 2000a]. Nous avons utilisé la méthode SADT pour analyser ce processus de conception.

A la suite de nos études, nous constatons que les différents bureaux d'études travaillent en parallèle ou plutôt en chevauchement. Il existe des allers-retours entre ces bureaux et même entre les différents services de chaque bureau. Le cycle de vie du produit commence par les

spécifications générales faites par la direction produit ou à partir de retours de terrain apportés par les interventions du service de performance lors d'un problème chez le client ou exprimant une demande spéciale répondant à des exigences des clients [Aldanondo & al 2000].

Le bureau de développement mécanique et le bureau électrique réalisent la conception préliminaire et détaillée en coopération avec le service sécurité. Ce service intervient tout au long de la progression du processus de conception. Parfois, et lors d'une nouvelle conception, ces bureaux entreprennent une sorte de test sur la partie de machine conçue. Ils réalisent ce test sur le site d'un client. Puis, le service intégrateur intègre les désirs du client à la ligne d'imprimerie et vérifie par de nouveaux tests la satisfaction au Cahier des Charges¹ (CdC). Le service de performance suit la ligne chez le client pour améliorer sa performance. Les modifications et les améliorations peuvent être aussi apportées au produit pendant sa période d'exploitation ou plutôt pendant sa durée de garantie par l'intervention du bureau de performance sur le site du client.

La sécurité est intégrée dans le processus au plus tôt par l'intermédiaire du responsable du service de documentation et de sécurité. Il donne des conseils pour satisfaire les prescriptions aux normes européennes. Il cherche à intervenir dans le processus de conception le plus tôt possible pour éviter des corrections. Son objectif est de converger vers des solutions sûres dès les premières phases. Il interprète les normes pour faciliter leur utilisation.

Le problème majeur de ce service est de choisir le bon moment d'intervention dans le processus. Parfois il intervient trop tôt ce qui peut gêner le concepteur et, dans d'autres cas l'intervention se fait trop tard ce qui peut engendrer une série de corrections coûteuses. Ces interventions se font de façon informelle dans le premier cas et formelle dans le deuxième. Le concepteur ne dispose cependant toujours pas d'approche systématique formelle afin d'intégrer la sécurité dans le processus de conception. Un autre point à souligner est que le service sécurité n'a pas la possibilité de participer vraiment à la prise de décision dans le processus de conception. Citons une autre remarque importante, souvent le BE mécanique impose son choix aux autres BEs du fait de la culture d'entreprise héritée de la mécanique. Ce phénomène engendre des difficultés importantes aux autres BEs qui voient leur champ de solutions plus restreint. Un extrait de cette analyse est présenté dans la (Figure 1.3). Les trois premiers niveaux sont disponibles en annexe 3.

1.3.2. Niveau opérationnel

Nous présentons ici le résultat des analyses opérationnelles de l'intégration de la sécurité dans le processus de conception réalisé par l'équipe du projet de conception. Cette description permet de bien mettre en évidence les manières de prendre en compte les actions et acteurs en matière de sécurité. Le point de départ d'un projet est un Cahier des Charges précisant un certain nombre de données concernant le produit à concevoir. Le CdC, finalisé par le service marketing et destiné au projet de conception, contient les spécifications générales du système, essentiellement en termes de performances attendues. Ces spécifications découlent de l'évaluation du marché et prennent en compte les désirs du client. L'équipe de projet interprète des spécifications générales du CdC, par des fonctions techniques à satisfaire. Pour intégrer les nouvelles exigences dans le CdC l'équipe de projet effectue sa recherche de solutions en s'appuyant sur une méthode d'analyse de la valeur. Plusieurs propositions sont

¹ La norme NF X 50-150 a défini le Cahier des Charges (CdC) comme un document par lequel le demandeur exprime son besoin en terme de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux. Chacun de ces niveaux doit être assorti d'une flexibilité.

faites de la part des projeteurs [Hasan & al 2000b]. Après cette phase d'analyse de la valeur l'équipe choisit une solution et commence à :

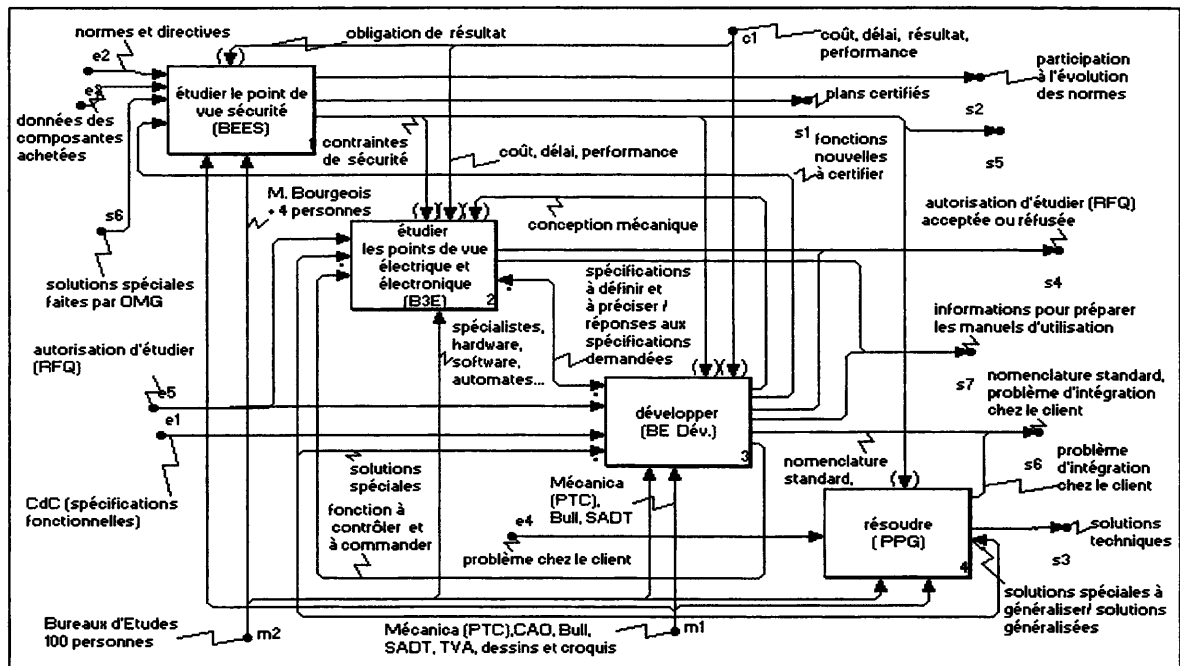


Figure 1.3 : Un extrait de l'analyse du processus de conception

- Déterminer les organes réalisant ces fonctions techniques et le bâti. Pour les fonctions déjà existantes l'équipe adopte les solutions connues dans l'entreprise en choisissant la solution qui leur paraît convenir le mieux.
- Préparer un plan du projet qui montre les dimensions et la structure de la machine. Ce plan est adapté aux nouvelles spécifications à partir de versions précédentes.
- Identifier les fonctions techniques, établir une check-list en commençant par l'entrée de la machine et en suivant le cheminement du papier. Si la fonction existe déjà dans une machine précédente celle-ci est reprise sur le nouveau plan ; si la fonction est nouvelle, le dessin existant est modifié de façon approximative (estimation du nouvel organe).
- Déterminer le cheminement du papier jusqu'à la dernière fonction et déterminer une architecture de machine qui inclut toutes les fonctions.
- Répartir les fonctions par projeteur (un projeteur peut avoir à réaliser une ou plusieurs fonctions), les projeteurs travaillent indépendamment chacun dans leur bureau.
- Lancer la conception et une étude de la fabrication de la machine pour toutes les fonctions adoptées. Et commencer à étudier, calculer et dimensionner les fonctions nouvelles ; un planning au plus tard est alors réalisé.
- Ensuite, repositionner les organes parce qu'ils déterminent une cinématique et parce que tous les organes sont entraînés mécaniquement par des pignons. Donc les grandeurs caractéristiques d'entraxe de la machine sont liées aux pignons. Ces pignons sont à leurs tours liés par des rapports de réduction (1/2, 1/3, etc.).
- Faire la conception détaillée (cinématique, nombre de rouleaux, calcul de pignons, diamètres des cylindres, des poulies, etc.) afin de satisfaire précisément la performance exigée par le CdC.

- Cartériser l'ensemble pour répondre aux objectifs de sécurité, d'ergonomie et d'esthétisme. Pour ce dernier point l'entreprise fait appel à des spécialistes en design industriel.

En fait, nous avons constaté que lors de la conception l'équipe de projet cherche à augmenter le niveau de sécurité par :

- La motorisation des fonctions de réglage si celles-ci doivent être réalisées fréquemment,
- L'loignement des opérateurs tout en leur laissant une visibilité du fonctionnement de la machine,
- La cartérisation (enveloppement de la machine) ce qui peut causer des contraintes d'accès (seule une fenêtre subsiste pour laisser passer le papier),
- L'augmentation d'accessibilité pour la maintenance, machine arrêtée.

Précisons, plus en détail, les deux niveaux d'intégration de la sécurité dans le processus de conception :

Premier niveau : par l'intermédiaire des projeteurs en deux étapes :

- Lors de la conception des fonctions nouvelles en utilisant comme référence leur expérience et des documents existants dans l'entreprise. Ces documents rassemblent toute l'expérience et l'histoire de la conception et de l'intégration de cette entreprise. A partir de ces éléments, le projeteur cherche une solution intrinsèquement sûre. S'il n'en trouve pas il cherche les moyens de supprimer les risques ou de les diminuer. Par exemple, dans la plieuse il existe un rouleau qui nécessite un changement de cordon à réaliser plieuse à l'arrêt. Lors de ce changement, il est possible que le rouleau tombe sur l'agent de maintenance. Le projecteur, pour supprimer ce risque, a ajouté un crochet qui retient le rouleau lors de l'opération. A cette étape, il arrive que le projeteur ne trouve pas ce qu'il cherche dans les documents et en réfère à ses collègues ou au chef du service sécurité dans le BE. Ce type d'échange d'informations est informel et très efficace dans l'entreprise.
- Lors de la structuration du bâti de la machine. L'équipe de projet cherche à augmenter l'accessibilité et la visibilité. Par exemple, lors de la structuration du bâti de la plieuse l'équipe de projet a augmenté la taille des fenêtres pour faciliter l'accessibilité aux points de contact entre les rouleaux, aux points où il existe des phénomènes de bourrage. Il est impératif d'autre part, de conserver toujours les hauteurs autorisées (contraintes de fabrication et de transport).

Deuxième niveau : par l'intermédiaire du responsable du service sécurité du Bureau d'Études. Il donne des conseils pour satisfaire les prescriptions des normes européennes. Les interventions du responsable de la sécurité se font lors de la conception des fonctions techniques et lors de la cartérisation des machines. Dans la Figure 1.4, est schématisée l'intégration de la sécurité au niveau opérationnel.

Nous avons remarqué que la sécurité est intégrée de façon plutôt informelle que formelle parce qu'il n'existe pas de moyens et d'outils pour entreprendre une telle intégration. Cette analyse, nous montre la nécessité de méthodes et d'outils pour intégrer systématiquement les paramètres de sécurité dans le processus de conception.

1.4 Nos analyses pour l'intégration de la sécurité

L'énoncé des principes d'intégration de la sécurité stipule notamment que : « *les machines doivent par construction être aptes à assurer leur fonction, à être réglées et entretenues sans que les personnes soient exposées à un risque lorsque ces opérations sont effectuées dans les conditions prévues par le fabricant. Les mesures prises doivent avoir pour objectif de supprimer les risques d'accident durant la durée d'existence prévisible de la machine y compris les phases de montage et de démontage même dans le cas où les risques d'accidents résultent de situations anormales prévisibles* » [Norme 1991]. Les normes résultent d'un large consensus impliquant le concepteur, l'utilisateur, le préventeur et le législateur. C'est pour cette raison qu'elles sont relativement exhaustives par rapport à la nature des risques pris en considération.

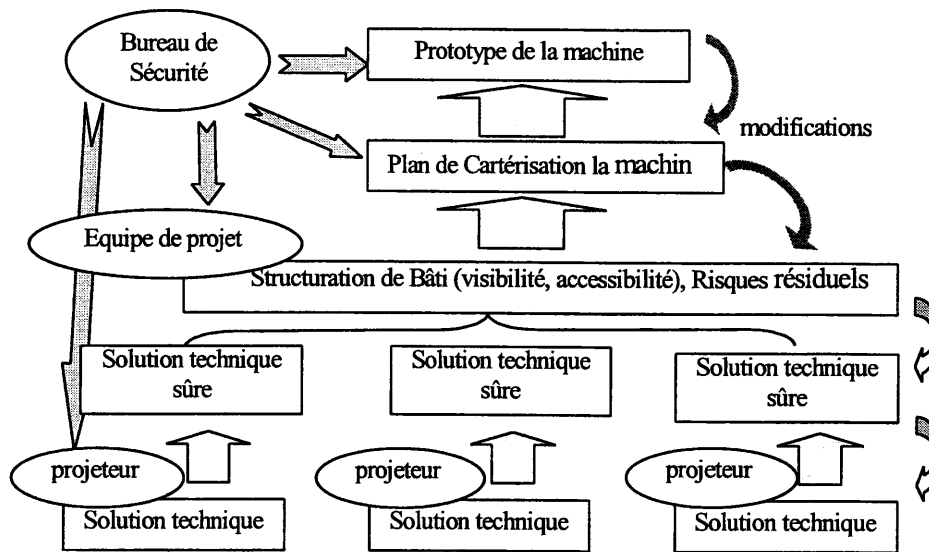


Figure 1.4 : L'intégration de la sécurité au niveau opérationnel

1.4.1. L'approche normative relative au risque

La démarche édictée dans ces normes consiste, dans un premier temps, à préconiser l'application d'une stratégie de prévention intrinsèque au système. Quand cela n'est pas possible pour le concepteur, elles préconisent la disposition de systèmes de protection. Elles incitent également les industriels à favoriser la formation et l'information sur les risques du système. La norme européenne EN 292-1 [Norme 1991] préconise une stratégie de conception de machines sûres pour le choix des mesures de prévention intégrée (Figure 1.5).

En effet, une des sources les plus importantes de risque est liée, d'une part, à l'écart entre le fonctionnement attendu et le fonctionnement réel [Fadier & al 1998], et d'autre part, au fait que le concepteur aborde la conception du point de vue essentiellement fonctionnel. Il cherche, d'abord, à réaliser les fonctions demandées, puis dans un deuxième temps effectue une « sécurisation » du système de production pour satisfaire des exigences réglementaires ou des prescriptions normatives (dans notre cas celles du projet de norme européenne Pr EN 1010 [Norme 1998]).

Les analyses faites sur les accidents survenus dans les entreprises utilisatrices des systèmes de production montrent que, malgré l'application des normes, l'étude des dysfonctionnements potentiels ne s'intéresse pas suffisamment à la maîtrise globale de la sécurité, ne prend pas en compte les contextes des situations de travail. Cette stratégie de prévention reste mal appliquée, à cause du manque de moyens ou d'une déclinaison tardive dans le processus de

conception. Or, une mesure de sécurité inappropriée au système de production peut engendrer des contraintes fortes, par exemple, au niveau de l'accessibilité et de la visibilité. Cela peut inciter l'utilisateur à neutraliser temporairement certains moyens de protection voire à les enlever totalement. Le comportement du système technique et humain dans cette configuration est, alors, particulièrement critique, même si le système paraît encore sous contrôle.

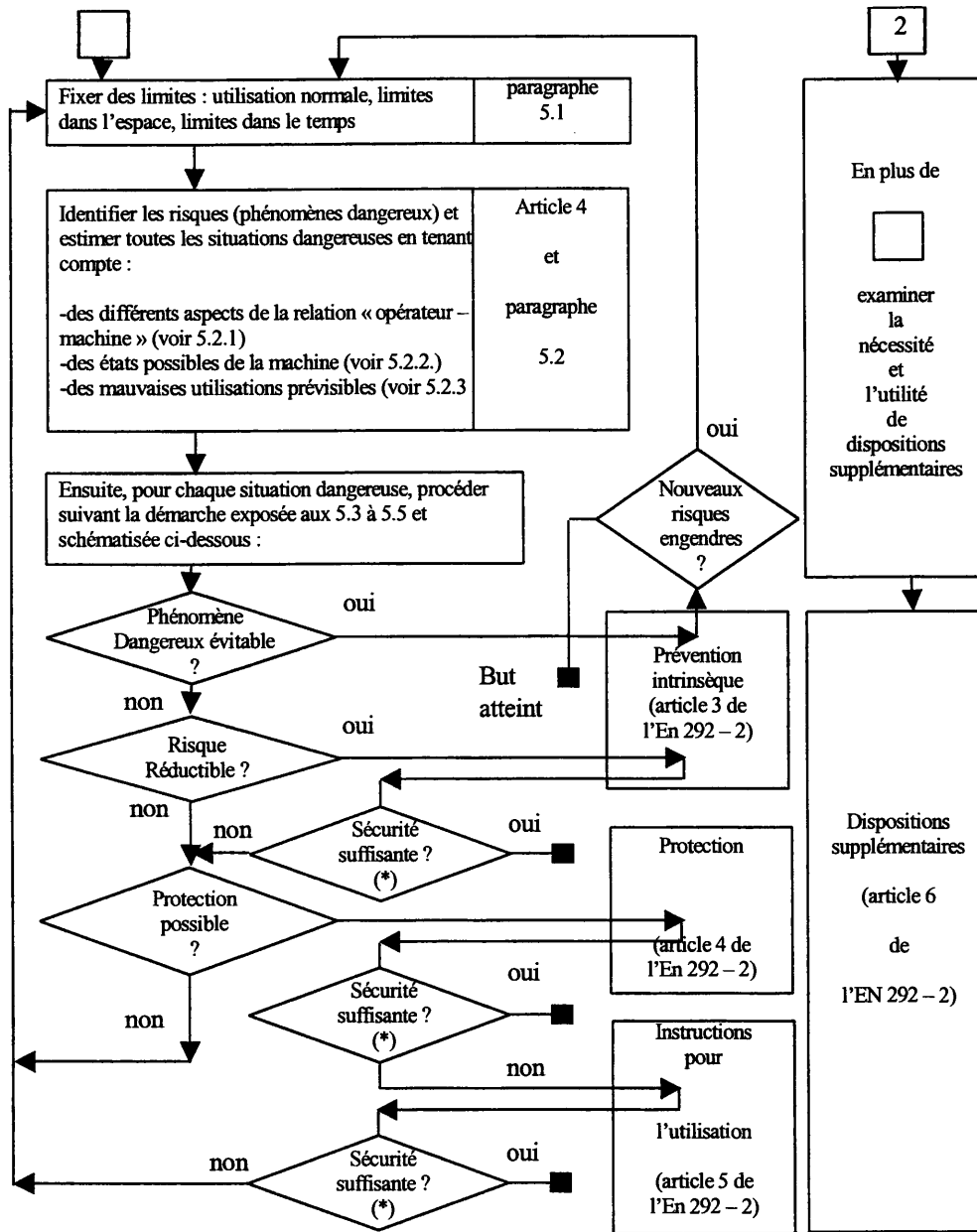


Figure 1.5: La stratégie de prévention intégrée[Norme 1991]

La Norme EN 1050 [Norme 1997a] expose les principes d'une procédure systématique et cohérente d'appréciation des risques telle qu'elle est introduite dans l'article 6 de l'EN 292-1. Cette analyse nous a permis de comprendre la logique de survenue d'un accident à partir de l'interaction entre l'homme et l'équipement de travail. Ce processus permet de localiser les moments d'intervention les plus efficaces pour diminuer les risques ou même les supprimer.

Dans notre démarche, nous avons, suite à notre analyse SADT, identifié des éléments influant sur l'interaction Homme-Machine selon le point de vue du concepteur. Ceci nous a permis de préciser l'endroit de l'intervention de l'opérateur sur le système, dans quel mode de

fonctionnement, les outils nécessaires, et le niveau de cette intervention. En plus, nous avons pu distinguer les interventions réalisées lorsque le système est à l'arrêt de celles qui doivent être réalisées lorsque le système est en fonctionnement. Bien que, la notion de situation de travail soit encore à ce stade imparfaitement définie et modélisée, notre objectif a été de trouver des éléments possibles à intégrer dans le processus de conception. A chaque point d'intervention humaine dans le système, comment le concepteur a-t-il imaginé cette intervention, qui va intervenir, quelles sont les solutions prises en compte pour assurer la sécurité de l'opérateur. En fait, la logique d'analyse a été animée par l'idée de protéger l'opérateur au sens large (utilisateur, agent de maintenance, régleur, etc.) contre les risques et l'atteinte à sa santé. Ceci nous a amené à identifier les facteurs suivants à prendre en compte (Figure 1.6).

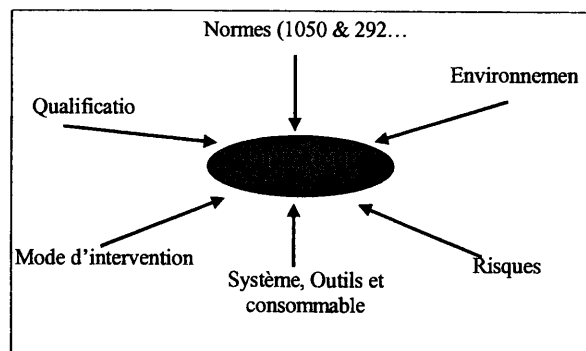


Figure 1.6 : Les facteurs à prendre en compte pour l'intégration de la sécurité

1.4.2. Notre première réflexion sur la situation de travail

Cette logique d'analyse nous a permis de construire pas à pas les éléments de la situation de travail dans laquelle l'opérateur réalise les tâches qui lui sont confiées. Nous présentons une première proposition d'identification des éléments de la situation de travail en prenant en compte un certain nombre des points influant sur le système homme-machine du point de vue des concepteurs (Figure 1.7).

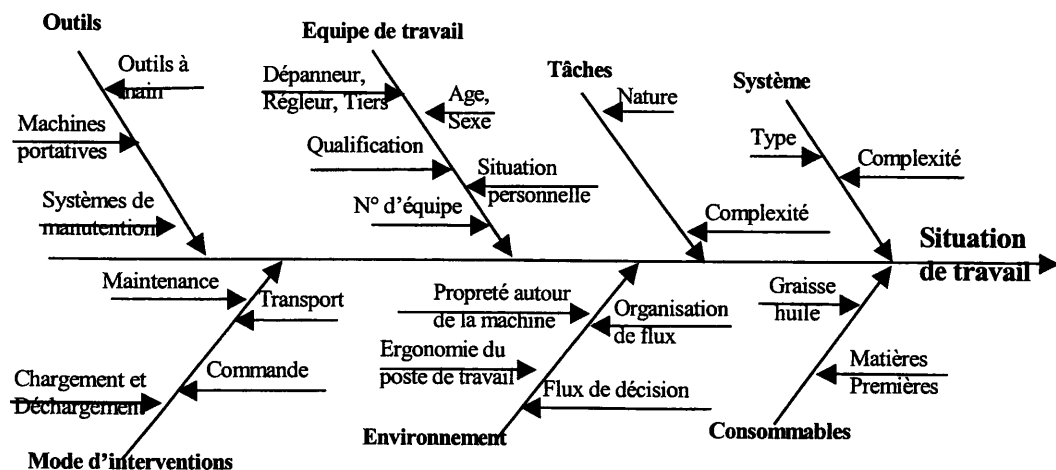


Figure 1.7: La structure préliminaire des éléments pouvant influencer une situation de travail

A partir de cette analyse concernant la situation de travail, un modèle formel va être défini, [Bernard & al 2002b] basé sur :

- La description de l'homme dans son environnement,

- Les activités et tâches qu'il doit accomplir,
- Les ressources (matérielles, logicielles, connaissances) dont il dispose,
- Le moment où il intervient dans le cycle de vie du système.

Il s'agit, ensuite, de modéliser l'ensemble de ces éléments par un modèle de produit adapté à la modélisation d'un tel système. Ainsi, nous avons été amenés à spécifier des modèles pertinents relatifs au système de production et à son processus de conception afin de permettre à terme une modélisation prévisionnelle des risques liés à l'utilisation du système.

Cette approche a également des conséquences sur le processus de conception basé sur un modèle de situation de travail (cf. chapitre 4). L'intérêt principal est de permettre au concepteur de prendre en compte tous les éléments caractérisant le système en phase d'exploitation lors du processus de conception de façon claire et systématique.

1.5 Conclusion chapitre 1

La méthodologie de travail suivie nous a permis d'extraire les typologies d'éléments influençant une situation de travail. Nos premiers résultats d'analyse présentés dans ce chapitre constituent la base de notre proposition de modèle générique de situation de travail. Ce modèle est sensé prendre en compte dès la conception aussi bien les aspects liés à la sécurité de l'opérateur que les aspects techniques. Cela nous amène, dans la suite, à présenter un état de l'art focalisé sur trois points : la conception, la sécurité et l'intégration de la sécurité dans le processus de conception.

Pour le premier point, nous présentons un état de l'art non exhaustif des méthodes, des approches, des modèles de produit et de processus de conception. Le deuxième point aborde les travaux traitant la sécurité et le processus de survenue de l'accident. Nous y incluons la démarche prescrite par les normes européennes. Le troisième point porte sur les travaux concernant l'intégration de la sécurité dans les méthodes, les approches, les modèles de produit et de processus de conception.

2. Chapitre 2

État de l'art

Tables de matières du chapitre 2

TABLES DE MATIERES DU CHAPITRE 2	35
2.1. INTRODUCTION.....	37
2.2. LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION	38
2.2.1. <i>Les approches de conception</i>	40
2.2.2. <i>Le cycle de vie d'un produit</i>	41
2.2.3. <i>Le cycle de développement</i>	42
2.3. LES METHODES DE CONCEPTION.....	42
2.3.1. <i>Les méthodes séquentielles</i>	42
2.3.2. <i>Les méthodes concourantes</i>	43
2.3.3. <i>La conception intégrée</i>	44
2.4. LES MODELES DE PRODUIT.....	44
2.5. LES PROCESSUS DE CONCEPTION	49
2.5.1. <i>Définition</i>	49
2.5.2. <i>Les modèles de processus de conception</i>	50
2.6. L'EVOLUTION DE LA NOTION DE SECURITE (CONTRAINTE VERSUS FONCTION)	56
2.6.1. <i>La sécurité</i>	57
2.6.2. <i>L'application des normes</i>	58
2.6.3. <i>Le processus accidentel</i>	60
2.7. L'INTEGRATION DE LA SECURITE EN CONCEPTION.....	60
2.7.1. <i>Les classes de l'intégration de la sécurité en conception</i>	60
2.7.1.1. Du point de vue méthodes de conception	62
2.7.1.2. Du point de vue modèles de produit.....	64
2.7.1.3. Du point de vue Paradigmes et Processus de conception	65
2.7.2. <i>La conception de la situation de travail</i>	67
2.7.3. <i>L'analyse et l'estimation des risques</i>	68
2.8. CONCLUSION CHAPITRE 2.....	69

2.1. Introduction

La modélisation des produits et systèmes est un domaine de recherche dans lequel la capitalisation des savoirs et savoir-faire a surtout, et presque exclusivement, été orientée jusqu'alors vers les savoir-faire techniques et technologiques. En effet, la quantification des gains (coûts, délais, qualité) est relativement facile dans les ateliers à partir d'indicateurs de performances assez bien maîtrisés aujourd'hui. Par contre, les phases de conception et de pré-industrialisation sont souvent restées en dehors de ces contraintes.

Aujourd'hui, afin d'éviter des pertes de savoir-faire et du fait du raccourcissement du cycle de vie des produits industriels, leur phase de développement doit s'effectuer de manière sûre, en s'appuyant en grande partie sur l'expérience de développement des produits précédents et sur des techniques de validation au plus tôt des solutions technologiques choisies (développement rapide de produit). Or, les données des projets antérieurs exploitées et récupérables par les concepteurs ne concernent le plus souvent qu'un modèle géométrique final, sans se soucier du "pourquoi" et du "comment" ce résultat a été atteint en termes de conception et de choix du processus d'élaboration.

La réutilisation et la remise en cause éventuelle de ces données sont donc essentiellement basées sur l'expérience et la mémoire des hommes, du fait de l'absence de formalisation des éléments caractérisant l'ensemble du processus d'obtention d'un produit. Il est donc particulièrement important de savoir représenter toutes les données nécessaires aux acteurs du cycle de vie d'un produit, afin que ceux-ci puissent accomplir de manière coopérative et évolutive la spécification du produit industriel et la mise en place des éléments caractéristiques de son processus d'élaboration. Pour apporter une véritable aide à la décision pour le concepteur, la seule représentation est insuffisante. Elle doit s'accompagner de possibilités de structuration et de gestion du produit et de son processus d'obtention, afin, en particulier, d'être en mesure d'assurer la cohérence des éléments manipulés.

Dans ce chapitre, nous présentons des définitions de la conception suivant différents points de vue. Nous présentons les différentes approches de l'ingénierie de conception (l'approche technocentrée, l'approche anthropocentrée et l'approche socio-technique). Les méthodes de conception (séquentielles et concourantes), les modèles de produit, les processus de conception, les paradigmes et dimensionnements de conception sont aussi présentés. Il ne s'agit pas ici d'effectuer une analyse complète de tous les travaux mais de donner un aperçu de l'immense quantité et diversité de ces travaux dans ce domaine. Le deuxième point porte sur la notion de sécurité, sur les définitions existantes et celles que nous avons adoptées, les classes de travaux sur l'intégration de la sécurité dans les phases de conception. Nous présentons aussi quelques travaux relatifs à l'estimation et l'évaluation des risques, aux normes et à leur application dans la conception afin de montrer que nos recherches peuvent exploiter ces référentiels pour intégrer plus systématiquement la sécurité au processus de conception. Nous montrerons aussi la place de l'intégration des paramètres de sécurité dans les différentes démarches de conception et le positionnement de nos travaux dans l'approche socio-technique (Figure 2.1).

En fait, nous avons noté une variété de définitions relatives à ces notions dans la littérature ce qui nous a encouragé à présenter pour chaque notion citée dans la suite, les différentes définitions qui existent. Nous présentons, ensuite, les définitions retenues pour notre problématique.

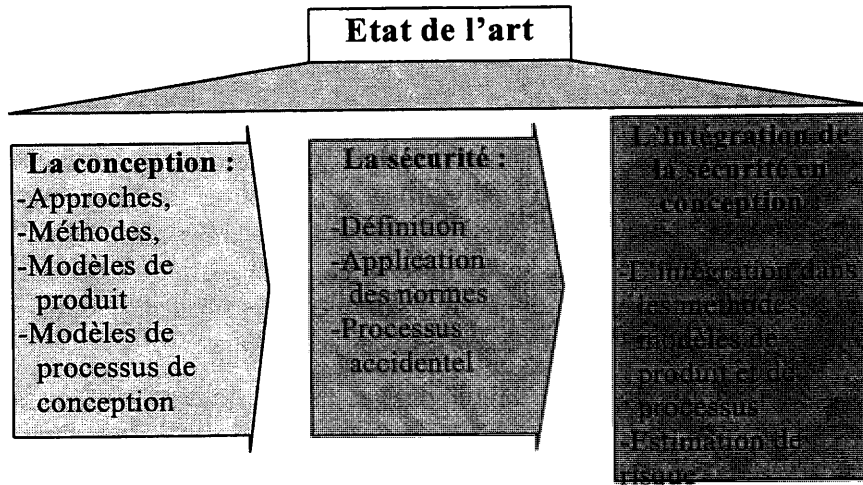


Figure 2.1 : Les points de base de l'état de l'art

2.2. La conception des systèmes de production

Nous commencerons par les différentes définitions de la notion de conception que l'on peut trouver dans un dictionnaire [Dictionnaire].

En général et au sens de la méthode, c'est *une manière d'aborder un sujet de connaissance quant au point de vue et à la méthode utilisée*. Au sens de l'art et de l'industrie, c'est *un ensemble des études préliminaires à la fabrication d'un produit*. En gestion, c'est *le résultat de l'activité créatrice par laquelle un projet est élaboré*. En ingénierie, elle consiste en la *naissance d'une idée, d'un projet dans l'esprit d'une personne*.

La conception au sens du Génie logiciel permet de déterminer l'architecture logicielle d'une application à partir d'un ensemble de spécifications fonctionnelles. Cette architecture doit être la mieux adaptée, au niveau des critères de validité d'extensibilité et de réutilisabilité. La conception au sens du Système d'Information permet de spécifier les fonctionnalités du système à réaliser, à partir d'un énoncé souvent incomplet et non licite. Par contre, la conception d'un Système de Production ou la résolution des problèmes rencontrés lors de la re-conception d'un système déjà existant, reposent sur les principes physiques et l'ingénierie. [AFNOR 1988] a défini la conception comme une *activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable*. Garro, dans ses travaux [Garro 1997], a considéré que la conception *consiste à passer d'une idée besoin au produit physique prêt à l'usage* (ceci implique un grand nombre de compétences qui sont distribuées dans le temps et l'espace chez des acteurs divers). Par contre, [Eynard 1999] a considéré que la conception et l'ingénierie étaient synonymes.

Nous retiendrons pour notre part la définition citée dans la norme 292-1 [Norme 1991] : la conception c'est *l'élaboration d'un « produit » en tenant compte de toutes les phases de sa vie telles que la construction, le transport, la mise en service, l'utilisation, la mise hors service, etc. Elle comprend aussi l'élaboration des manuels d'instruction relatifs à toutes les phases de sa vie*.

Salau [Salau 1995] dans sa thèse exprime que la conception doit satisfaire les besoins sous différents aspects :

- La qualité du produit et son adéquation avec le potentiel de fabrication,
- L'adaptation du produit dans sa globalité avec son cycle de vie complet,

- La rapidité de conception à savoir la réduction du temps de mise en vente à partir du moment où le besoin a été détecté,
- Il faut pouvoir innover le plus possible tout en minimisant les risques qui peuvent survenir lors du transfert, de l'installation, de l'utilisation, de la maintenance du produit.

En fait, pour satisfaire ces besoins, *l'activité de conception est un processus de prises de décisions réalisées par l'Homme. C'est une activité individuelle créatrice qui se base sur l'utilisation d'acquis* [Salau 1995]. La conception de systèmes mécaniques est caractérisée par les points suivants [Garro 1997] :

- L'activité de conception est une activité qu'on a du mal à circonscrire à la fois dans le temps et dans l'espace,
- C'est également une activité dans laquelle la ou les solutions interagissent avec le problème de départ en le modifiant,
- Il existe une infinité de réponses possibles dont un grand nombre est viable,
- Le chemin pour aboutir aux solutions ne peut d'ailleurs pas être prédéfini,
- On ne dispose pas d'outil d'évaluation quantitative d'un projet de conception,
- A côté des objets intermédiaires [Blanco 1998], qui sont à la fois produits par le système qui conçoit, et qui deviennent eux-mêmes source d'organisation pour ce système, existent un grand nombre d'autres artefacts dont la présence ou l'absence va influencer sur le processus engagé (CAO, prototype).

Toute démarche normale consiste à : formuler le problème, analyser le problème pour faire apparaître suffisamment de détails, rechercher des solutions potentielles, déduire la solution la plus appropriée, décrire en détail la solution retenue. La conception n'est pas uniquement un processus descendant, mais souvent itératif permettant de corriger les erreurs ou les imperfections de la solution apportée. Selon Ouazzani [Ouazzani & al 1996], pour comprendre l'objet de conception on doit connaître :

- Les différentes actions (gestionnelles, physiques),
- Les raisons des choix (raisonnement),
- Les différentes alternatives,
- Les différents objectifs.

Citons, enfin, qu'il existe trois types de conception : conception routinière, créatrice et innovatrice, [Blanco 1998 ; Sellini 1999]. La conception n'est donc pas un processus rationnel et déterministe basé sur l'application de connaissances mais un processus distribué au sein duquel émergent des connaissances nouvelles.

En fait, l'intégration des différents outils d'analyse, de modélisation et d'aide à la conception s'avère nécessaire pour satisfaire les exigences des nouvelles approches et méthodes de l'ingénierie de conception. Il est aussi nécessaire d'intégrer de nouveaux concepts en prenant en compte de nouveaux métiers dans le processus de conception. Pour cela, il nous semble utile de présenter les approches et les méthodes de conception, les modèles et quelques travaux qui permettent d'éclairer l'évolution de ces démarches et les différents points de vue pris en compte Figure 2.2.

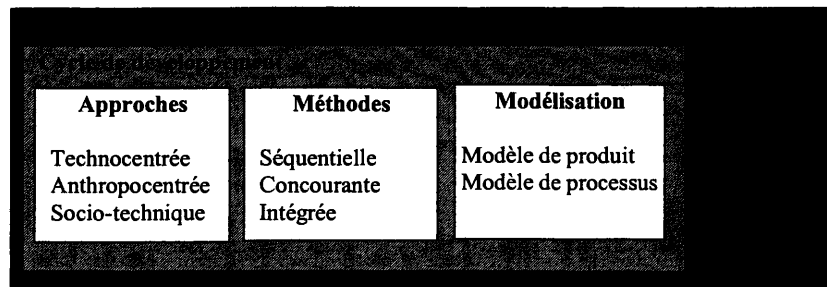


Figure 2.2 : Les différents points de vue des travaux dans la recherche concernant la conception

2.2.1. Les approches de conception

Dans la littérature, nous constatons l'existence de trois approches différentes : l'approche technocentrée, anthropocentrée et l'approche socio-technique.

La première approche se focalise sur le système. *C'est une approche dont l'objectif est de promouvoir la conception de produits et de services capables de contribuer à une meilleure satisfaction des besoins réels de l'utilisateur* [Jeantet & al 1998]. Les entreprises qui suivent cette approche, utilisent les techniques les plus récentes afin de réduire les coûts de la main d'œuvre directement affectée à la production. Dans cette approche, les considérations technologiques sont prioritaires et les ressources humaines sont sous estimées et regardées comme un potentiel secondaire. Les grands systèmes automatisés conçus dans une telle approche sont normalement fragiles, rigides, très sensibles aux accidents et coûteux [Jeantet & al 1998]. Cette démarche néglige les savoir-faire et l'expérience des opérateurs.

Dans la deuxième approche, anthropocentrée, l'objectif est d'intégrer la prise en charge des facteurs humains au cœur du processus de conception. Elle a pour objet l'analyse des perceptions et du comportement humain dans le contexte de la vie quotidienne ou professionnelle de façon à améliorer le confort d'usage du produit. Elle comprend quatre domaines, les sciences cognitives, les neurosciences, la micro psychologie, la sémiologie [Jeantet & al 1998 ; Ortiz Hernandez 1995]. Ici la technologie est conçue à partir des attentes des personnels et des organisations qui ont à l'utiliser. Les systèmes conçus dans cette approche doivent donner aux opérateurs une grande marge de liberté pour définir les modes de fonctionnement du système et les formes d'interactions du système avec son environnement.

La troisième approche, socio-technique, se situe à un juste milieu entre les deux autres approches et se centre sur l'interaction entre l'homme et la machine en prenant en compte tant l'aspect technique que l'aspect humain mais également les points de vue organisationnel et opérationnel de ce couplage entre l'homme et la machine [Jouffroy 1999]. Cette approche consiste à :

- Analyser les problèmes et les besoins de la production avec les exploitants pour obtenir un diagnostic de l'existant,
- Associer l'utilisateur à la conception du système automatisé en utilisant les savoir-faire et le savoir de l'utilisateur pour mieux anticiper les conditions de travail,
- Raisonner en terme d'objectifs de mission à atteindre pour un système hybride qui consiste en un automatisme et en une équipe de travail,

Les tâches, dans cette approche, sont réparties de la manière suivante : les ressources techniques assurent les tâches répétitives et routinières ou pénibles et l'acteur humain intervient pour surveiller et maintenir le régime nominal. Cela offre les capacités :

- D'innovation et de récupération des défauts de manière originale et fiable, l'acteur humain faisant preuve de créativité pour compenser les limites techniques du système,
- D'adaptabilité aux situations contraignantes, aux changements rapides de travail en sélectionnant les prises d'information,
- De raisonnement rapide en opérant des « courts-circuits » dans leurs recherches de solutions, en ne raisonnant pas de manière systématique mais heuristique,
- De discernement et d'appréciation pour juger qualitativement d'une situation,
- De synthèse et d'interprétation des tendances pour anticiper des dérives dans une réflexion globale sur le système.

Cette approche exige des ressources technologiques efficaces lors du fonctionnement normal qui assurent les tâches répétitives et routinières ou pénibles avec une garantie certaine ; une équipe de travail qui intervient pour surveiller et maintenir ce régime normal grâce aux capacités d'anticipation, de décision et de réactivité de ces membres. Nos études relèvent de cette approche, prennent en compte les aspects liés à l'opérateur au système et les échanges entre les deux.

En fait, nous constatons que la conception est un ensemble de phases complexes. Selon la phase concernée le concepteur utilise des outils, des bases des données, des moyens différents pour réaliser son travail. Afin de voir dans quelle phase l'intégration de la sécurité sera effectuée dans le cycle de développement de produit, nous présentons les différents modèles de ces cycles.

2.2.2. Le cycle de vie d'un produit

Dans ce paragraphe, nous présentons le cycle de vie d'un système de production pour montrer les interrelations fortes entre les phases de développement de ce système et les autres phases de sa vie (installation, exploitation, démantèlement, etc.). Dans ces phases, les résultats de l'intégration de la sécurité apparaissent sur un plan opérationnel. Nous pouvons dès lors en extraire des éléments pour les intégrer dans le cycle de développement du système.

La conception d'un système sûr exige la prise en compte des facteurs liés aux contextes de l'utilisation du système. Les risques d'atteinte à la santé de l'opérateur surviennent dans la phase d'utilisation du système. Mais pour les prendre en compte efficacement il faut pouvoir les appréhender dès la phase de conception.

Plusieurs modèles de cycle de vie d'un produit ont été élaborés : dans [Calvez 1992] pour la conception des logiciels le cycle de vie implique les phases suivantes : définition, conception, réalisation, production, fonctionnement. Le cycle de vie d'un produit, [Mony 1992], comprend les phases suivantes : recherche et marketing, conception, méthodes, fabrication, vente, maintenance. Dans [Sourisse & al 1996] le cycle de vie d'un produit (système) consiste en : conception, réalisation, transport et installation, mise en service, exploitation, modification, mise hors service ou démantèlement. Ce qui nous intéresse, ici, c'est la prise en compte des contraintes liées aux risques et aux contextes d'utilisation introduites sur le produit (ou le système de production) tout au long de son cycle de vie. Le cycle de vie comprend le cycle de développement, l'intégration, l'utilisation et, enfin, le démantèlement du système.

2.2.3. Le cycle de développement

Le cycle de vie décompose le processus de développement selon une série d'activités couplées entre elles. Le cycle de développement fait partie du cycle de vie d'un produit comprenant l'ensemble des étapes nécessaires à sa mise au point d'utilisation. Nous cherchons à introduire au plus tôt, lors du développement de produit, des critères objectifs permettant d'évaluer a priori les problèmes liés à la sécurité et aux contextes d'utilisation. Mais les contextes d'utilisation appartiennent à la phase d'exploitation et parfois aux phases d'installation ou de démantèlement. Ces contextes devront être pris en compte dans les phases de développement de produit qui ont en commun les phases essentielles suivantes :

- Expression ou analyse du besoin, qui établit les contraintes de développement avec le client,
- Spécification qui est exprimée par un document, appelé Cahier des charges, et qui contient les objectifs auxquels doit satisfaire le système final,
- Conception générale, qui est une phase d'avant-projet où une représentation schématique sera définie,
- Conception détaillée qui concerne la conception d'un projet réel et la prise en compte des acquis et expériences des conceptions antérieures,
- Fabrication qui concerne la réalisation d'un prototype pour évaluer ses caractéristiques, où l'objet est physiquement réalisé, et où des vérifications de conformité seront effectuées,
- De plus, l'intégration du système et son installation chez les utilisateurs réels peut nécessiter quelques modifications.

Plusieurs modèles ont été proposés, pour représenter l'enchaînement des phases du cycle de vie, linéaire et évolutif [Calvez 1992 ; Bonnevie & al 1998] (modèle en cascade, modèle en V, modèle incrémental, modèle contractuel, modèle en spirale et modèle fontaine [Henderson-Seller & al 1990]).

Enfin, nous constatons que la phase d'installation de système sur le site d'utilisation engendre parfois des modifications qui peuvent influencer la performance du système. Ces modifications, selon leur degré d'importance, renforcent l'intérêt de les intégrer dès les phases préliminaires de la conception. L'intégration des paramètres de sécurité par la satisfaction à des normes se trouve dans ce cas.

2.3. Les méthodes de conception

Généralement, une méthode est un ensemble d'opérations ordonnées de manière à réaliser un objectif. C'est une démarche de l'esprit, un raisonnement, qui conduit vers l'obtention d'un résultat. Elle est d'ordre plutôt théorique, conceptuelle, abstraite. Elle s'apparente à un système, à une logique, à des principes, à un ordre [Dictionnaire]. Le mot méthode implique un plan d'action devant permettre d'atteindre un objectif. Après l'analyse des travaux sur les méthodes de conception il ressort que deux types de méthodes de conception sont distingués, les méthodes séquentielles, les méthodes concourantes.

2.3.1. Les méthodes séquentielles

Ce sont des méthodes de conception de produit par lesquelles les activités de conception du produit sont effectuées séquentiellement avant l'élaboration des procédés de production

[Bonnevie & al 1998 ; Mony 1992 ; Pahl & al 1984]. Dans ces méthodes le séquençement des opérations est fort parce que chacune dépend des résultats de celle qui la précède.

Du fait de l'évolution actuelle en terme de réduction des cycles de développement et d'une recherche de meilleure compétitivité des entreprises sur le marché, ces méthodes ne sont pas parvenues à satisfaire les exigences de conception et de production. A l'issue de cet échec, deux nouvelles activités de processus sont apparues [Bocquet 1998] :

- Une stratégie de décision au plus tôt pour quantifier la valeur des paramètres. Elle assure a priori une certaine maîtrise de performance donc des risques et elle assure une certaine compétitivité de l'entreprise. Mais décider au plus tôt risque de contraindre au plus tôt les actions ultérieures ce qui engendrera un surcoût et un délai.
- Une stratégie de décision au plus tard pour quantifier la valeur des paramètres, on admet que les valeurs sont représentées comme des espaces de solutions admissibles et ne sont pas figées.

2.3.2. Les méthodes concourantes

En conception mécanique, l'ingénierie concourante¹ consiste à faire participer à la conception d'un produit les personnes qui assureront sa fabrication et sa maintenance et faire travailler en parallèle les différents bureaux d'étude (mécanique, électrique, électronique) et les sous-traitants. Dans l'industrie automobile, c'est une activité de conception, d'étude et de coordination qui concourt à l'élaboration d'un projet industriel tout en privilégiant le concept économique et la rationalité. [Dictionnaire]. Sohlenius [Sohlenius 1992] a proposé cette méthode appelée ingénierie concourante pour remplacer la méthode séquentielle dans l'objectif de gagner du temps dans le cycle de développement et réduire, ainsi, le coût de développement de produit.

C'est une méthode qui vise à intégrer de façon simultanée les différentes phases de développement d'un produit et la gestion de son processus. Selon [Girard 1999] l'ingénierie concourante est une philosophie qui propose de :

- Planifier les activités en prenant en compte tous les éléments, toutes les fonctions intervenant dans la valeur du résultat (notion de simultanéité),
- Définir, a priori, les objectifs (notion de concurrence),
- Déterminer les compétences des acteurs du projet en fonction de ses objectifs (notion d'optimisation socio-technico-économique),

Ceci implique de développer des outils et des méthodes qui permettent :

- Des flux d'information compréhensibles par tous les acteurs (travailler en équipes multidisciplinaires),
- Une analyse partagée de la conception,
- Un accès en temps réel aux données de conception,
- Une documentation sur toutes les décisions de conception qui permet de capitaliser l'historique de processus de conception et de fabrication de produit.

¹ L'ingénierie concourante (simultanée) en gestion est une philosophie d'organisation qui favorise la participation de tous les secteurs de l'entreprise à la définition et à la création des produits. Les fournisseurs, qui sont situés en amont, ainsi que les utilisateurs situés en aval (consommateurs) peuvent également être invités à participer au processus de conception en vue de transmettre toutes les données utiles à la satisfaction des besoins du marché [Dictionnaire].

Le réseau PRIMECA a développé cette notion de manière explicite en présentant un modèle spécifique dédié à la Conception Mécanique Assistée par Ordinateur (CMAO). Il a défini le principe de base de la conception intégrée, pour prendre en compte l'ensemble des données relatives à la vie du produit, dès la conception, afin d'assurer la réalisation du meilleur compromis possible débouchant sur la compétitivité maximale. [Aldanondo & al 2000] a montré un exemple d'effets de l'application de l'ingénierie concourante sur la réduction du temps de cycle de développement de produit mais qui peut causer l'augmentation de son coût.

2.3.3. La conception intégrée

Cette notion de conception préconise l'intégration de différents métiers dans le processus de conception. Dans cette méthode de conception le concepteur dispose d'un éventail d'outils très large couvrant l'ensemble du domaine de la conception depuis la définition du besoin jusqu'à l'installation du système [Charpentier & al 1992 ; Tollenaere & al 1998 ; IDMME-1998]. Ces outils couvrent aussi la plupart des métiers intervenant dans le processus de conception. Cette méthode de conception est présentée sous un triple aspect :

- L'intégration de l'ensemble des contraintes qui agiront sur le produit,
- L'intégration de l'environnement économique,
- L'intégration de tous les corps de métiers (fabrication, assemblage, etc.).

Elle se réfère à un mode d'organisation de la conception. Mais, à l'intérieur de la conception intégrée, la conception distribuée [Salau 1995 ; Brissaud & al 1998] porte plus sur l'activité de groupe et les phénomènes d'émergence qui y sont liés. Elle est définie comme un problème distribué aux limites spatio-temporelles floues. La notion de distribution a été abordée à partir de la notion de métier. Les métiers sont renvoyés aux connaissances qui sont mobilisées par les acteurs. Et renvoient aussi à une distribution spatiale (partage des données à distance) [Charpentier & al 1995 ; Salau 1995].

En fait, l'application de la conception intégrée peut être mise en œuvre par un seul concepteur s'il a les compétences et les expériences nécessaires. Mais logiquement cette conception est développée dans un contexte d'ingénierie simultanée ou concourante.

Ces différentes méthodes s'appliquent sur des objets qui sont enrichis au cours du développement du système. Ces objets peuvent être représentés par un modèle de produit. Puisque nous proposons un modèle générique de situation de travail (cf. chapitre 3) pour prendre en compte le point de vue de la sécurité dès la conception, nous présentons, dans la suite, un état de l'art des modèles de produit existants et leurs points de vue, afin de justifier, d'une part, la proposition de notre modèle et d'autre part, la difficulté d'utiliser ou d'adapter un de ces modèles pour intégrer le point de vue de la sécurité et les contextes d'utilisation du système (comportement du système et de l'équipe de travail dans l'environnement d'utilisation).

2.4. Les Modèles de produit

De manière générale, le modèle est une simplification de la réalité permettant de représenter un point de vue. Il permet de mieux comprendre le système que l'on développe et ainsi de faire des choix ou de prendre des décisions. C'est une abstraction d'un système, fermée d'un point de vue sémantique, c'est à dire représentant une simplification complète et cohérente de la réalité et créée dans le but de faciliter la compréhension du système [Booch & al 2000]. En ergonomie, le modèle est un moyen de synthèse des éléments pertinents fournis par l'analyse.

Il permet de décrire un phénomène complexe sous une forme plus simple et lisible [Pomian & al 1997].

La norme AFNOR X60- 012 [AFNOR 1982] fournit, d'une part, un guide pour effectuer une décomposition hiérarchique pour décrire le produit qui est générique. D'autre part, elle fournit une décomposition du produit en différents niveaux correspondant à des objets physiques distincts. L'intégration des informations de définition du produit en un modèle unique et homogène, permet d'apporter une aide à l'interprétation des besoins des spécifications du produit pour les fonctions non informatisées ; et de servir de base d'information partageable. Dans la suite, nous présentons quelques modèles de la littérature. Cette présentation n'est pas exhaustive mais elle éclaire sur l'état de l'art ; Bernard [Bernard 1999] a présenté une analyse globale sur les modèles de produit existants.

Selon Mony [Mony 1992], le modèle de produit peut être décrit par plusieurs représentations suivant le point de vue utilisé (géométrique, fonctionnel, structurel). Il doit découler de manière naturelle de la démarche de conception (du Cahier de Charges à la conception détaillée) sans aucune rupture du flux d'information. Ces représentations ne sont pas indépendantes et il est donc nécessaire d'assurer une cohérence entre elles. Ce modèle est basé sur trois éléments : l'entité (feature), la structure fonctionnelle, et la structure physique.

Ce modèle est conçu à partir de concepts suivant : une structuration du modèle par entité (features) ; une intégration des spécifications technologiques dans le modèle et une représentation des paramètres fonctionnels et des liens entre pièces.

Belloy [Belloy 1994] a proposé une méthodologie de conception qui repose sur les principes de l'intégration et de la coopération entre les experts de différents métiers. Dans cette méthode, le système informatique à la disposition du concepteur intègre des fonctions métier. Pour cela, il a proposé un modèle de description de pièce et de mécanisme basé sur la notion d'entités traduites informatiquement par des objets. Le modèle permet d'obtenir des descriptions selon des vues différentes, (cinématique, technologique, usinage, etc.) ainsi que les différents liens entre ces vues. Ce modèle s'inscrit dans le domaine des modèles de données et il est basé sur les notions de peau et de squelette.

Constant [Constant 1996] a proposé un modèle de produit fonctionnel qui se base sur sa représentation de la notion de flux. Il a présenté la possibilité d'exprimer des conditions fonctionnelles sur la géométrie des composants d'un système à l'aide d'associations de surfaces de chacun d'eux. Ce modèle permet de représenter les fonctions par des flux et la structure à l'aide des surfaces fonctionnelles. Il a deux objectifs : le premier est l'amélioration et l'expression des fonctions, où la fonction est caractérisée par la nature et l'intensité du flux. La deuxième est la prise en compte de la définition géométrique des frontières des systèmes étudiés. Il a présenté trois types de fonctions : fonctions principales, fonctions auxiliaires et fonctions contraintes. Il a défini les fonctions contraintes comme des relations qui s'établissent entre le produit et un ou plusieurs éléments de son environnement. Elles sont dues à des choix de solutions technologiques. Le modèle, selon [Constant 1996], consiste à prendre en considération l'intégration des différents états de connaissances du produit ; Par contre, la modélisation, selon Tichkiewitch [Tichkiewitch 1996], stipule la coopération entre les différents acteurs de la conception dans le modèle de produit.

Harani [Harani 1997a,b] a proposé un modèle de produit et un modèle de processus de conception et ainsi que le lien entre les deux pour modéliser la capitalisation de savoir-faire et la réutilisation de connaissances (Figure 2.3). Elle s'est appuyée sur le principe de méta-modélisation pour proposer un modèle de produit qui représente et regroupe toutes les informations définissant le produit dans une même base de connaissances. Ce principe de méta-modélisation est présenté en trois niveaux : le niveau méta (définition de concept de

base), le niveau spécification (élaboration de la conception d'un type de produit), et le niveau réalisation où le concepteur peut effectuer la conception d'un produit donné. Elle a cherché dans ce modèle à atteindre trois buts :

- Définir le produit à partir des spécifications extraites du cahier des charges,
- Enrichir cette description au fur et à mesure de la progression du projet,
- Conserver l'historique de conception pour une consultation et/ou réutilisation ultérieure.

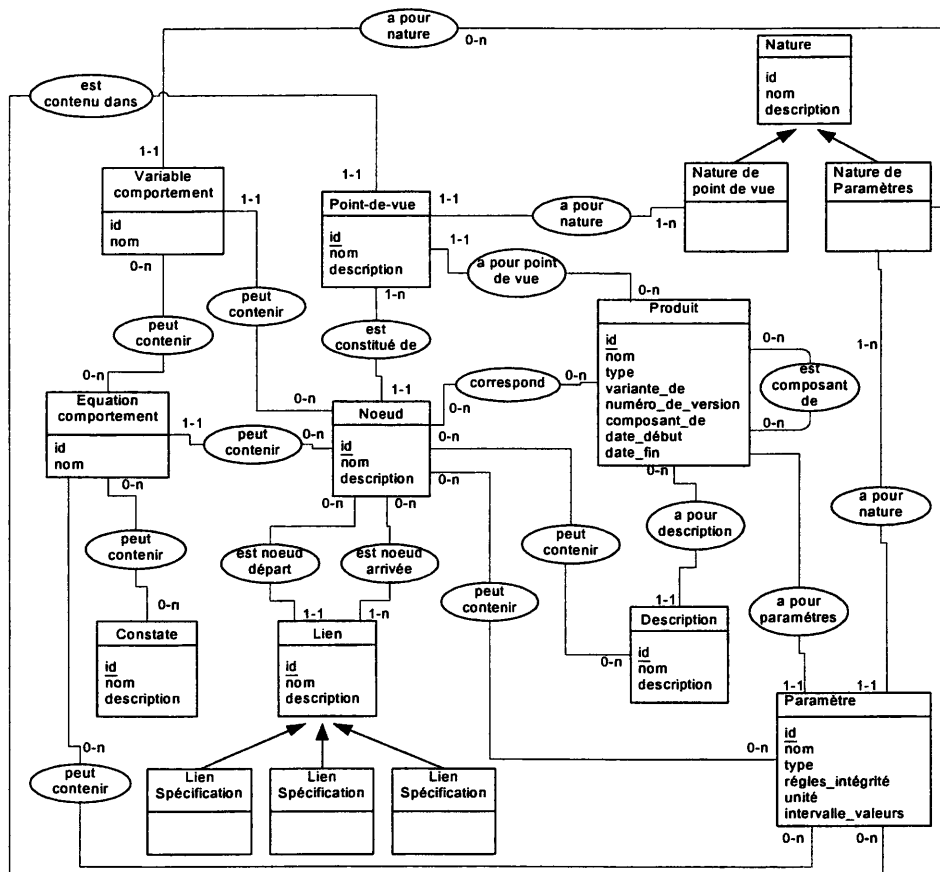


Figure 2.3 : Le modèle proposé par [Harani 1997a,b]

Le but global de ce modèle est la capitalisation de savoir-faire pour fournir un cadre de représentation (modèles et concepts) des fonctionnalités offrant une assistance à la conception de produits et une réutilisation des conceptions passées. Ce modèle de produit permet de supporter la spécification des informations qualitatives et quantitatives du produit pour une réutilisation ultérieure. Il s'appuie, essentiellement, sur trois concepts qui sont adoptés dans notre modèle et ils seront présentés plus en détail dans le paragraphe 3.5 :

1. Le concept « produit », qui représente le point de départ de la conception avec la description initiale du produit et avec la récupération des informations relatives à un produit déjà conçu. Un ensemble d'attributs caractérise le concept de produit (nom, type de produit, paramètre, etc.).
2. Le concept « paramètre », qui exprime toutes les grandeurs quantitatives, issues du cahier des charges, générées, déterminées, ou calculées pendant la conception ; ce concept est aussi caractérisé par un ensemble d'attributs (nom, nature, intervalle de valeur, etc.).

3. Le concept « point de vue » orienté par le niveau de concrétisation du produit : vue fonctionnelle, vue comportementale, et vue structurelle. Ce concept permet une prise en compte des différentes perceptions qu'ont les concepteurs du produit.

Les travaux de Sellini [Sellini 1999] se situent dans le domaine de la mémoire d'entreprise et particulièrement dans celui de la capitalisation des connaissances en conception mécanique. Elle a étudié la modélisation des connaissances de savoir-faire en conception mécanique routinière. Ces travaux portent sur la réutilisation du savoir-faire dans le système d'aide à la conception. Les savoir et savoir-faire représentent la trace des activités et des compétences d'une entreprise. Les savoir-faire concernent la description du produit à concevoir et celle du processus de conception. Elle s'est intéressée à présenter seulement les activités de conception routinière ; le concepteur procède à des choix technologiques, des paramètres, afin d'aboutir à un produit solution appartenant à la classe de produit concerné. Les aspects dynamiques des modèles sont supportés par un mécanisme de propagation de contraintes. Ce travail est une modélisation conceptuelle et s'approche de la phase d'analyse de méthode de modélisation.

Eynard [Eynard 1999] a montré que la modélisation des données relatives au produit nécessite un formalisme support suffisamment générique pour couvrir l'ensemble des phases de l'ingénierie, ou qu'il soit tout au moins susceptible d'assurer un lien entre les modélisations fonctionnelle et géométrique. Ceci nécessite : la diffusion, la restitution et la gestion des données et des informations décrivant le produit, ainsi qu'un formalisme qui permette l'identification de la nature et des caractéristiques des activités. Ce formalisme doit assurer la description des logiques d'enchaînement et de déclenchement des activités au sien d'un processus. Et Enfin, il doit également permettre l'interaction et le lien entre la modélisation de produit et la modélisation de processus. Il a proposé un modèle cybernétique pour conduire la transformation d'état d'information

Figure 2.4).

L'information concerne principalement le produit ou des données contribuant à la concrétisation de sa définition et la transformation représente le processus traitant l'information. Le modèle présenté se compose de quatre éléments : les fonctions, les contraintes métiers, les entités technologiques et les entités frontières. Les fonctions et les contraintes métiers traduisent les objectifs à satisfaire seulement d'un point de vue technique. Les entités technologiques et les entités frontières modélisent la structure des voies de réponse apportées aux objectifs. La fonction peut traduire soit la raison d'être du produit, soit des objectifs de conception d'ordre plutôt technique. La fonction établit la liaison entre deux entités techniques ; elle est définie par un ensemble de paramètres et limitée par un ensemble de contraintes. Elle permet de spécifier l'Entité Technologique (ET) par l'identification des Entités Frontières (EF) interfaces. Les contraintes métiers sont les conditions limitant le domaine de solution qui permet de satisfaire à une fonction. Elles limitent la variation des paramètres d'une fonction.

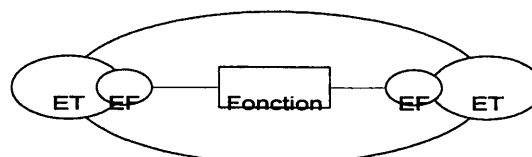


Figure 2.4 : La base du modèle proposé par [Eynard 1999]

Dans son article, Oldham [Oldham 2000] a présenté une méthodologie ou un méta-modèle (MOKA¹) illustrant la nécessité de capitaliser les connaissances. D'un autre côté, il a présenté l'importance de la diversité et de la quantité des informations et des connaissances utilisées. Cette capitalisation doit se réaliser de façon que les connaissances soient claires, appropriées, gérables et contrôlables (manageables). Il a défini deux types de modèle : informel où les connaissances peuvent être ajoutées manuellement et directement par le concepteur dans la base de connaissances, formel qui est une représentation graphique orientée objet des connaissances de l'ingénierie en un seul niveau d'abstraction sur le code d'application pour faciliter la réutilisation des connaissances. Il a proposé un langage de modélisation (MML^{II}). Ce langage contient des composants prédéfinis pouvant être utilisés pour instancier le méta-modèle pour une certaine application. Ceci permet de rappeler au concepteur tous les aspects de la conception pour avoir un modèle de connaissances plus complet et plus structuré.

Dans [Männistö & al 2001], est défini un mécanisme nouveau basé sur des modèles génériques de produit organisés dans une hiérarchie de spécialisation pour supporter des multiples niveaux d'abstraction. Leur objectif est de construire des moyens pour modéliser des produits individuels d'un produit configurable. Ils ont utilisé le terme « produit configurable » comme un synonyme pour « un produit qui a un grand nombre d'options ». Ils ont introduit la base de la modélisation d'une approche qui consiste en des éléments qui forment la structure des autres éléments plus complexes.

La structure d'élément décrit les aspects relatifs à la maintenance et à la phase d'après-vente d'un produit individuel. Les auteurs se sont concentrés sur les modèles de données pour prendre en compte le point de vue après-vente et maintenance des différents produits individuels et sur la relation entre ce point de vue et le point de vue fabrication. Le modèle a trois concepts principaux : la structure d'élément, le modèle d'élément, et la hiérarchie des modèles d'élément de Figure 2.5. Ils ont décrit les produits individuels de manière standard, afin que leur histoire puisse être logiquement enregistrée. L'idée est d'organiser les modèles d'élément dans une hiérarchie de spécialisation appelée la hiérarchie des modèles d'éléments.

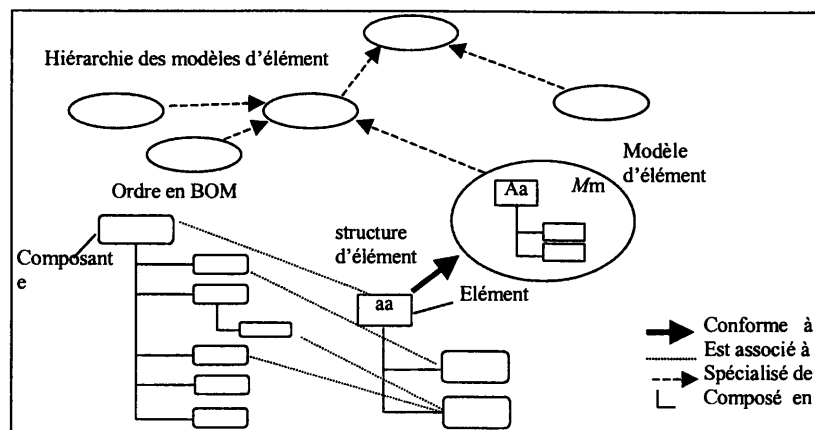


Figure 2.5 : Une vue globale du modèle proposé dans [Männistö & al 2001]

Signalons que le sujet de la conception dans ces modèles est un produit au sens produit simple et consommable. Par contre, un système de production automatisé est un système complexe. Aoussat [Aoussat & al 1998] a identifié trois niveaux de complexités : la complexité intrinsèque des produits, la complexité managériale et la complexité et diversité des procédés

¹ Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications MOKA

^{II} MOKA Modeling Language MML.

de mise en œuvre du produit. Cette complexité nécessite plusieurs disciplines regroupées en trois classes :

- Propres à l'ingénierie (mécaniques, sciences de matériaux, etc.),
- Nouvellement intégrées dans les sciences (qualité, fiabilité, sécurité, etc.),
- Carrefour (ergonomie, marketing, etc.).

L'objectif de ces modèles globalement est la capitalisation de l'histoire de la conception, des points de vue uniquement techniques liés aux différentes phases du cycle de développement et de vie du produit. Ils ne prennent en compte que les problèmes techniques (remplir une fonction, assemblage, contraintes de fabrication). Par contre, dans notre problématique le sujet de la conception est un système complexe comme les systèmes de production automatisés et les contextes de leur utilisation. Or, la modélisation de point de vue purement technique ne permet pas la prise en compte des paramètres liés à l'intégration de la sécurité.

2.5. Les processus de conception

2.5.1. Définition

Selon le dictionnaire Hachette, un processus *est un développement temporel de phénomènes marquant chacun une étape*. En informatique le processus *est un processus probabiliste selon lequel un système passe d'un état à un autre (parmi un nombre fini ou infini) à intervalles de temps réguliers. L'évolution du processus ne dépend que de l'état dans lequel il se trouve présentement. Le concept processus permet la description des différentes étapes de conception en identifiant les tâches et leurs modes d'enchaînement. Il enregistre les connaissances et savoir-faire exprimés durant le projet. Enfin, il fournit une base de données pour consulter et réutiliser les résultats qui lui sont attachés. Le processus de développement de produit consiste à engager les activités (les tâches) et les services des métiers juste nécessaires à la création et l'élaboration du produit*.

Plusieurs définitions du processus de conception sont proposées. Mony [Mony 1992] a défini le processus de conception comme une succession d'étapes ; entre deux il y a une forme de description de la solution et dans chaque étape les informations sont de deux natures, des données formelles (spécifications, diagrammes, composantes, etc.), et des données moins formelles (textes, contraintes, etc.). Pour [Lhote & al 1995], le processus de conception *est un agencement ordonné de tâches similaires portant sur un même type d'objets*. Par contre, pour [Harani 1997b], *le processus de conception est un enchaînement de tâches de conception. Cet enchaînement est prévu pour être dynamique afin de permettre la description des processus structurés, semi-structurés et non structurés*. Il se caractérise par le fait que les problèmes ne sont pas donnés a priori mais construits et qu'il n'y a décision que parce qu'il y a projet. Selon [Eynard 1999], *un processus peut se définir comme une série d'activités qui produit un résultat ayant une valeur pour un client*. Nous adoptons la définition proposée par Ouazzani [Ouazzani & al 1996], où *le processus de conception est un ensemble d'objectifs que l'on essaie de satisfaire par une séquence d'actions*.

Les difficultés du processus de conception viennent de l'incertitude et de l'incomplétude des objets manipulés (cahier des charges, système de fabrication, fonctionnement, etc.). Afin de permettre la convergence rapide et un déroulement cohérent du projet, la spécification d'un modèle de processus de conception devra être effectuée après une analyse des acteurs et des flux informationnels et décisionnels. Il s'agit donc, en particulier, de créer des aides méthodologiques (grilles, indicateurs, outils de suivi, indicateurs de connaissance des experts)

afin de permettre une convergence plus rapide vers la solution optimale et un dialogue entre les différents acteurs de points de vue et de cultures différents. Dans la suite, nous présentons quelques modèles de processus de conception afin d'évaluer l'intérêt de ces travaux pour notre problème.

2.5.2. Les modèles de processus de conception

Dans la littérature, de nombreux travaux traitent de la capitalisation et de la modélisation du processus de conception. D'autres, concernent également la gestion et la conduite de processus de conception [Girard 1999]. Par définition, la conception comporte des incertitudes et s'appuie sur des connaissances implicites. Il faut distinguer la conception routinière [Blanco 1998] pour laquelle on connaît les données et le processus de traitement pour arriver au produit et la conception innovante pour laquelle ni le processus ni le produit ne sont connus. Il est donc nécessaire d'imaginer les conditions qui risquent d'entraîner des risques en s'appuyant sur l'expérience du passé. L'analyse du processus de conception devrait permettre d'aider à la prise en compte de ces risques par des outils d'assistance au choix ou des simulations.

Les travaux existants sur le processus de conception prennent en compte un seul point de vue à la fois. Dans la suite, nous donnons quelques exemples de ces travaux portant sur la modélisation et la formalisation du processus de conception.

Mony [Mony 1992] a proposé un modèle basé sur une argumentation séquentielle du processus d'ingénierie du produit. Ce modèle n'intègre pas les aspects dynamiques du processus de conception. L'analyse des besoins en information à chaque étape du processus de conception du produit permet la spécification d'un modèle homogène. La plupart des données, au début de la conception, sont de nature informelle. Durant la conception, elles sont progressivement transformées en données formelles, certaines restant encore informelles : ce sont les contraintes. Le processus de conception est décomposé en trois types d'activité : 1) La conception de principe : permet de traduire le cahier des charges initial sous la forme d'une décomposition en fonctions techniques. 2) La conception physique : permet la détermination d'une structure physique de produit (dessin d'ensemble). 3) L'analyse et la conception détaillée : permet le calcul et le dimensionnement, de simulation et optimisation des différents éléments constitutifs du produit.

Du point de vue métier, Harani [Harani 1997b] a associé à son modèle de produit un modèle générique de processus de conception pour représenter l'aspect dynamique des activités de conception. L'objectif de ce modèle est la capitalisation des connaissances liées à la formulation et à l'exécution de tout processus de conception. Ce modèle doit offrir les supports adéquats à la représentation de toute conception, aider à spécifier les différentes étapes du processus et conserver le savoir-faire exprimé par les acteurs (Figure 2.6). A partir d'un modèle entité/association, elle a défini quatre concepts : processus, tâche, état et ressource.

- Le concept tâche représente le déroulement des étapes composant le processus. Les tâches sont de deux types : élémentaire et composite (décomposable en sous tâches). Elle a défini les opérateurs d'enchaînement pour définir le séquençement des tâches. Ces opérateurs sont de natures diverses (seq, and, or, etc.) de façon à répondre aux multiples configurations.
- Le concept état représente les situations successives, dans le temps, des trois composantes de la conception. Ces trois composantes sont : l'histoire du produit et ses

états d'évolution, le processus et les tâches et leurs états d'exécutions. Il est représenté par un diagramme de graphe d'état.

- Le concept ressource représente l'ensemble des supports (humains ou matériels) du processus de conception ; le choix d'une ressource s'effectue en fonction de son aptitude ou capacité à réaliser la tâche à exécuter.

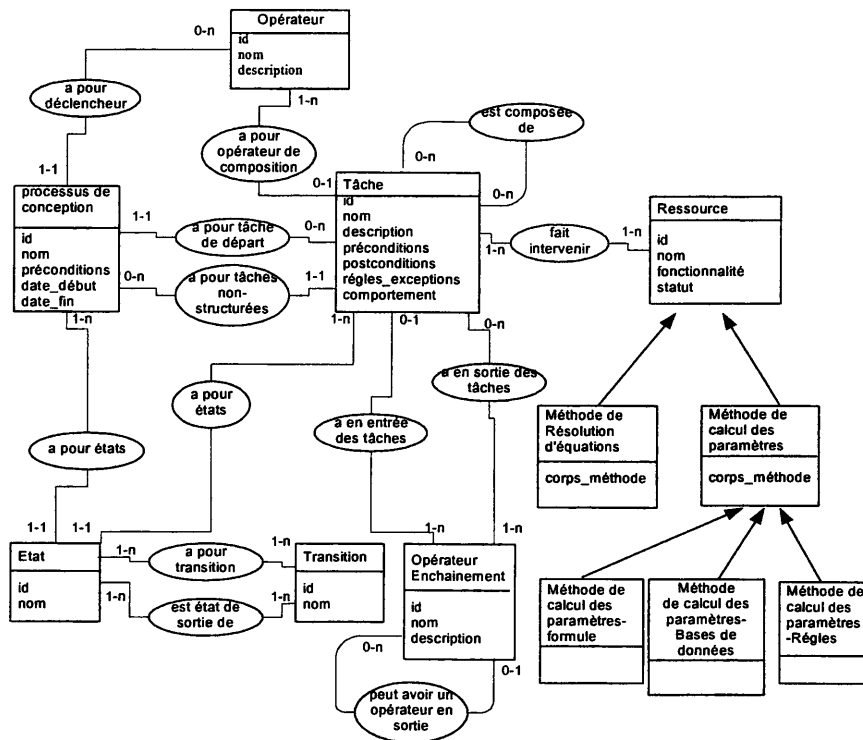


Figure 2.6 : Le modèle de processus de conception [Harani 1997b]

D'un autre côté, nous trouvons des travaux qui se focalisent sur la conception du processus de conception lui-même. [Westerberg & al 1997] a montré que pour concevoir un processus de conception il faut définir l'objectif de ce processus, l'espace des solutions et des alternatives et le point de départ. Ce dernier exige la définition des données d'entrées. Il a proposé une approche pour capitaliser les informations nécessaires pour l'amélioration et la réutilisation du même processus dans le futur.

Contrairement aux travaux expérimentaux du type analyse de protocole, l'intérêt des travaux de [Blanco 1998] ne se situe pas au niveau des processus cognitifs d'un individu en situation de conception mais au niveau de l'analyse d'un processus de conception multi-acteurs. L'expérience qu'il a menée a été construite comme un jeu de rôle fondé sur un modèle du processus de conception distribuée.

Girard [Girard 1999] a mis en évidence la nécessité de représenter l'évolution de la connaissance du produit tout au long de son développement. Il a illustré la nécessité de conduire la conception. Selon lui, la stratégie de l'entreprise et son évolution économique et technique appellent une nouvelle façon de concevoir prenant en compte la performance industrielle de l'entreprise. D'après lui, le processus de conception est classé en deux familles :

- La première est ce que l'on appelle conception routinière ; les caractéristiques des problèmes de décisions sont bien structurées, le but de la conception est explicite et se décrit par un ensemble de critères permettant de tester si une solution satisfait ce but.

Toutes les informations sont disponibles et on dispose d'un ensemble d'opérateurs permettant de modifier et de combiner ces informations.

- La deuxième caractérise les autres processus de conception. Pour ceux-là les objectifs ne sont pas tous précisés et la description de la situation de départ et du contexte est incomplète et les opérateurs de raisonnement sont souvent implicites voire inconnus du concepteur. Dans ce cas, il existe des inconnues : l'objet technique et le raisonnement qui va conduire à la définition de l'objet.

Il a proposé de conduire simultanément et de façon concourante la construction d'un produit et de son processus de conception. Partant du modèle GRAI¹, il a établi un modèle de conduite du système de conception dans un environnement multi-projets à capacité finie. Dans ce modèle, le système de conception est décomposé en deux sous-systèmes (Figure 2.7).

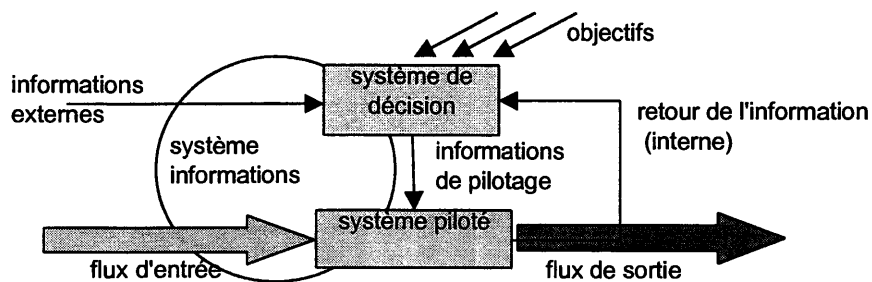


Figure 2.7 : Modèle de conduite du processus de conception [Girard 1999]

Le système piloté décrit la transformation de flux qui traverse le système étudié conformément aux objectifs de performance. Le système de décision élabore l'ensemble des décisions qui permet de piloter le système piloté. Le système de décision est décomposé selon deux critères : le premier est relatif à l'ordre temporel et à la nature de la décision. Le deuxième spécifie l'objectif fonctionnel de la décision. Les décisions sont liées à la gestion de flux de produit, à des capacités des ressources, et peuvent également être des décisions de synchronisation.

Dans sa thèse, Eynard [Eynard 1999] a présenté le modèle de processus de conception par la transformation de l'information. Il a montré la nécessité de formaliser cette transformation au travers de deux éléments fondamentaux :

- Il faut être capable d'identifier et présenter la nature des activités (discrète et discontinue) et leur caractéristique,
- Il est souhaitable de mettre en évidence et de modéliser le comportement du processus par la description des logiques d'enchaînement et de déclenchement des activités.

Il a proposé une extension des réseaux GRAI pour répondre à la spécificité des processus de conception. Les réseaux GRAI [Girard 1999] sont utilisés pour représenter trois types d'activités : activité d'exécution, activité de décision, activité de conception pour conduire et contrôler le processus de conception (Figure 2.8).

En ce qui concerne la capitalisation des connaissances dans le processus de conception, Cantzler [Cantzler & al 1995] a proposé un modèle de gestion de connaissances. Il a fourni un modèle intégrateur réunissant les informations nécessaires pour appliquer de telles méthodes

¹ GRAI est une méthodologie développée par le groupe de recherche GRAI (Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée) du Laboratoire d'Automatique et de Productique (LAP) de l'Université Bordeaux I depuis le début des années 80.

ou algorithmes. Il a essayé de répondre à deux questions essentielles : comment entretenir et enrichir les compétences générées autour d'un projet jusqu'à une prochaine utilisation ? Comment réutiliser en ingénierie les choix techniques, validés à l'occasion d'un précédent projet de conception ?

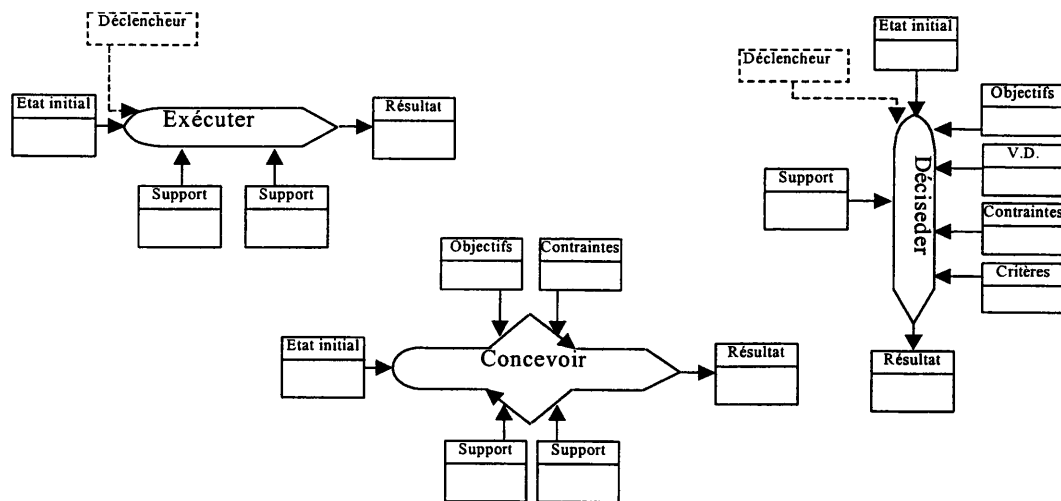


Figure 2.8 : Les activités d'ingénierie [Eynard 1999]

Plus récemment, Ouazzani [Ouazzani & al 1996 ; 1997 ; Ouazzani 1999] a proposé un modèle de processus de conception centré sur la représentation des actions sémantiques. Puis, il a amélioré son approche en proposant un modèle qui permet de considérer la nature dynamique du processus et qui donne lieu à développer un nouveau système de décisions. Ces systèmes ont un objectif dual : le premier est de capturer les intentions de conception (prise de décision, alternatives et justifications). Le deuxième est de fournir les processus de gestion des outils adaptés pour les contextes simultanés (synchronisation des actions, réutilisation d'alternatives, etc.). Il a proposé la méthode Système d'Aide à la Gestion du Processus de conception de produit (SAGEP) pour capitaliser le processus de conception. Cette capitalisation repose sur une démarche progressive expliquant le passage des spécifications initiales du produit à son état final.

Le produit est présenté selon différents points de vue, finalité, activité, évolution. Il a généralisé les points de vue en points de vue fonctionnel, structurel, physique [Ouazzani & al 1997]. Les objectifs représentent la finalité du processus et les spécifications du produit. Les actions décrivent les méthodes utilisées. L'alternative est une solution candidate pour l'objectif. La justification est le raisonnement qui conduit au choix ou au rejet de l'alternative [Ouazzani 1999] (Figure 2.9). Le modèle, ainsi, présenté a servi de fil directeur pour permettre d'approcher les mécanismes de gestion et d'exploitation de la méthode SAGEP indépendamment des considérations informatiques. Ce modèle servira comme une base pour notre approche proposée dans le chapitre 4.

Une piste de développements nécessaires à la réalisation d'une réelle conception intégrée et distribuée a été proposée [Ouazzani 1999 ; Bocquet 1999]. La proposition réside dans le croisement des trois aspects qui participent à l'intégration (le produit, le processus, l'organisation) et des trois flux qui les traversent (flux d'action, flux d'informations, flux physique). Les invariants de l'intégration en conception ont été illustrés. Ce sont le produit, le processus et l'organisation qui peuvent être vus de plusieurs points de vue (fonctionnel, structurel, physique). Le croisement systématique de ces trois types d'invariants : les classes d'objet de la conception (le produit, le processus, l'organisation), les points de vue (fonctionnel, structurel, physique) et les définitions (existence, nature, valeur) et leurs états, réalise le support nécessaire à l'intégration.

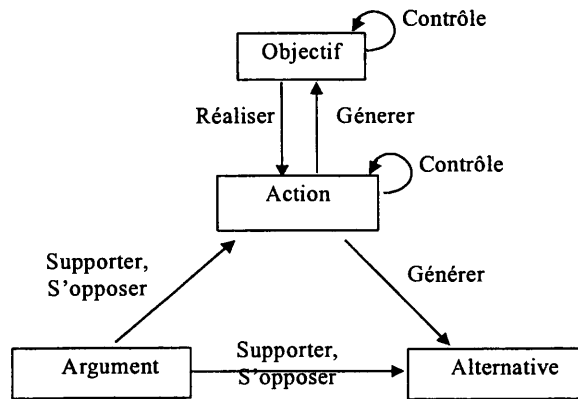


Figure 2.9 : Modèle de processus de conception SAGEP [Ouazzani 1999]

D'un autre point de vue, les travaux de Ris [Ris 1998] se focalisent sur les stratégies de processus de conception, la coopération des acteurs, l'apprentissage et l'acquisition de savoir-faire, le processus de résolution de problème, la corrélation entre la performance des équipes et le type de messages échangés, le rôle de chef de projet, les différences entre travail co-localisé et travail à distance, et la pertinence des moyens d'analyse à mettre en œuvre pour observer le processus de conception. Dans [Garon 1999], quatre points ont été étudiés et analysés :

- Le développement des moyens de communication et leurs adéquations à l'activité de conception et aux besoins du concepteur,
- Le développement des moyens de capitalisation de toutes les données techniques ou de fonctionnement propres à l'activité de conception en vue d'une réutilisation,
- Une meilleure connaissance du processus d'interaction homme – homme, homme – machine, machine - machine, homme - machine – homme,
- Le développement et la formalisation d'outils propres à l'activité du chef de projet.

Des travaux, plus récents, portent sur la capitalisation et l'automatisation des parties des processus de conception pour les intégrer plus tard dans un autre processus de conception. Pour diminuer le temps de développement des machines-outils, Spur [Spur & al 2000] a proposé un système qui permet d'intégrer une partie de processus de conception déjà prêt dans le processus de conception global qui est en train d'être réalisé. Ce système peut être intégré dans un système CAD¹, un système de simulation, aux logiciels de calcul et d'optimisation. Ce système orienté point de vue doit avoir un concept général des données du processus. Il intègre les outils utilisés dans le développement de produit et de son processus, dans un seul système d'interface. Et de façon pertinente, ce système stocke les données générées dans une base de données commune. Cette base de données contient des processus partiels déjà utilisés et classifiés en classes selon des caractéristiques similaires. Selon ces caractéristiques le concepteur cherche dans la base de données le processus pertinent à ces besoins. Dans le processus de conception, le concepteur choisit un processus partiel de cette base et l'intègre dans son processus global. Une fonction de contrôle vérifie si le choix de processus partiel est bon ou non (Figure 2.10).

¹ Computer Aided Design : acronyme de Conception Assistée par Ordinateur CAO.

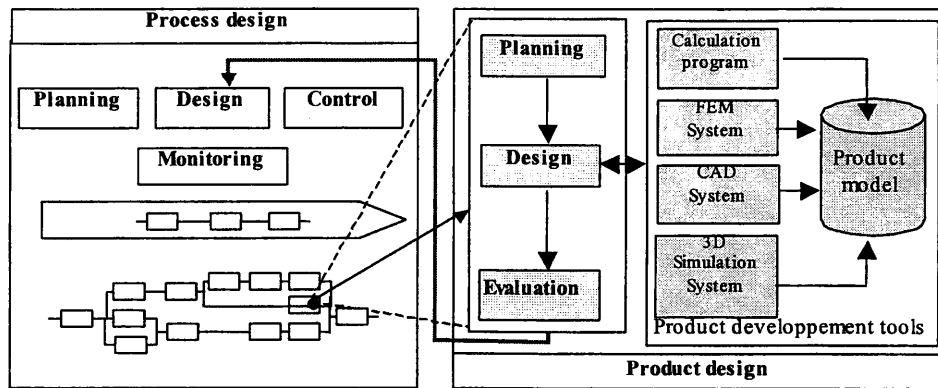


Figure 2.10 : La capitalisation de processus de conception [Spur & al 2000]

D'autres travaux portent sur la prise de décision dans le processus de conception. Stal-Le Cardinal [Stal-Le Cardinal 2000] a proposé un modèle de processus de décision générique qui s'applique aussi bien aux décisions de type conception de produit qu'à celles de choix d'acteur. Les variables peuvent représenter des produits, des projets, des organisations, des procédés, des moyens passant par tous les états possibles (Figure 2.11). Puis, elle a montré que ce processus peut avoir des affiliations ; pour répondre à une question il est possible de poser une autre question qui a besoin à son tour de la réponse d'une autre question, et ce jusqu'à une question simple et a une réponse directe.

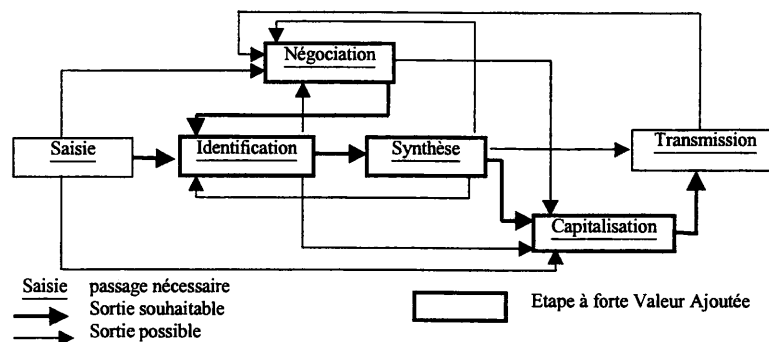


Figure 2.11 : Le modèle de processus de décision (Decision Time Line) [Stal Le Cardinal 2000]

Il apparaît, donc de façon évidente, que la dimension humaine dans la conception des systèmes de production n'est pas, à l'heure actuelle, intégrée de façon optimale dans les processus de conception et les opérateurs restent exposés aux risques induits par une connaissance insuffisante des exigences réelles du travail par les concepteurs. En fait, les objectifs de ces études sont la diminution du temps de processus de conception et la formalisation de ses étapes afin d'éviter les itérations et les corrections coûteuses dans les dernières étapes du processus. Dans tous ces travaux, qui étudient la conception des systèmes de production automatisés de différents points de vue techniques, nous ne trouvons rien qui concerne les contextes d'utilisation et la façon de prendre en compte les paramètres de la sécurité dans le processus de conception.

Gayretli [Gayretli & al 1999] vise à développer un système intelligent basé sur les contraintes qui permet aux concepteurs de considérer dès les premières étapes du processus de conception toutes les activités associées au cycle de vie de produit (Figure 2.12). Un des aspects les plus importants de ces activités est l'évaluation et l'optimisation des processus de fabrication qui exigent plusieurs types d'information sur des aspects différents du cycle de vie du produit.

Cette approche permet aux concepteurs d'évaluer et d'optimiser le processus de fabrication faisable d'une manière logique dès que possible pendant le processus de conception. Cela aide

à éviter les itérations non prévues qui coûtent en temps et en effort. Les contraintes rassemblées de différentes sources de la connaissance telles que les experts peuvent être formulées comme des règles, des variables, des valeurs associées à un domaine.

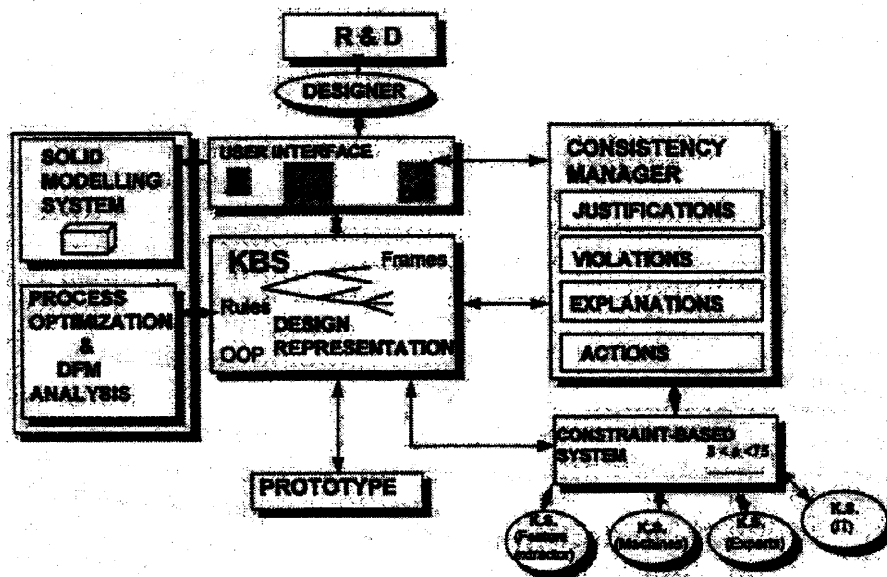


Figure 2.12 : L'architecture du produit et du paradigme de processus de conception [Gayreli & al 1999]

Le modèle proposé couvre la plupart des aspects des contraintes de conception et de fabrication. Pendant que le système réalise plusieurs tâches, telle que la sélection de matériels, l'analyse de la fabricabilité, la sélection et l'optimisation du processus, une grande quantité d'information est partagée dans la base de connaissance. Une nouvelle information est aussi ajoutée à la base de connaissance qui sera utilisée pour exécuter de telles tâches. Cette information devrait être représentée dans un format tel que les différentes analyses de conception puissent être faites en utilisant la même information. Toute valeur entrée dans la base de connaissance est propagée par le système basé sur les contraintes pour vérifier si la valeur viole des contraintes ou pas.

En fait, la multidisciplinarité est une nécessité forte pour une conception réussie [Ciccotelli 1999b]. C'est pourquoi, les travaux cités sont assez différents et il n'existe aucun processus global qui prend en compte tous ces différents points de vue. Une proposition de normalisation des processus d'ingénierie est présentée dans [IEEE 1220, 1998].

Afin d'aboutir à nos objectifs, nous constatons la nécessité de capitaliser l'historique de développement du produit et de son processus de conception. Nous jugeons les travaux d'Ouazzani comme étant les plus adaptés à servir nos travaux. Ils permettent de capitaliser toutes les étapes du processus de conception et du produit avec justification des décisions et choix pris tout au long de cycle de développement de produit (cf. chapitre 4).

2.6. L'évolution de la notion de sécurité (contrainte versus fonction)

Dans ce paragraphe, nous introduisons la définition de la notion de la sécurité. Puis, nous présentons une idée de l'évolution de cette notion et son intégration dans les phases de conception. Ensuite, nous présentons les difficultés d'utilisation des normes pour intégrer la sécurité lors de la conception du système de production. Enfin, nous présentons les travaux de Blaise [Blaise 2000] qui suggèrent de formaliser la connaissance contenue dans les normes et de faciliter leur utilisation par une exploitation informatisée de cette connaissance.

C'est à partir des années quatre vingt que, par application du principe de prévention intégré (loi française de 1976 puis directives nouvelle approche et normalisation européenne venant en appui), il est demandé aux concepteurs de machines de prendre en compte les aspects liés à la prévention des risques (sécurité, ergonomie, nuisances, etc.) de l'opérateur au moment de la conception de leur produit.

Ceci a contribué à diminuer très significativement le nombre d'accidents et incidents imputables à ces machines. A ce jour, l'intégration de la sécurité en conception reste difficile à mettre en pratique et de l'avis de certains concepteurs :

- Augmente la charge de travail du concepteur,
- Augmente le coût du système,
- Allonge le cycle de développement du système,
- Résulte d'une obligation réglementaire et législative qui exige une obligation de résultat (les normes sont sensées décliner des moyens),
- Génère, parfois, lors de l'utilisation du système, des contraintes d'accessibilité et de visibilité qui augmentent la charge de travail de l'opérateur.

Avec le temps, cette notion est devenue de plus en plus présente du point de vue de l'utilisateur et du concepteur. L'idée que, la sécurité n'est pas forcément une contrainte mais au contraire un avantage pourrait être accru par l'emploi de méthodes efficaces permettant de surmonter la contradiction entre productivité / sécurité. Actuellement, la sécurité est devenue un critère essentiel dans le marketing des systèmes conçus. Mais elle reste difficile à intégrer dans le processus de conception de façon systématique et formalisée à cause du manque de méthodes et d'outils d'assistance au concepteur.

2.6.1. La sécurité

Nous adoptons la définition des normes européennes « sécurité des machines » résultant d'un consensus entre acteurs de la normalisation (concepteurs, préventeurs, etc.) : *la sécurité¹ est l'aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normale spécifiées dans la notice d'instructions (et dans certains cas, en deçà de la limite de temps fixée dans la notice d'instructions) sans causer de lésion ou d'atteinte à la santé.* Le domaine de la conception de produits intègre des approches multi-métiers permettant la prise en compte de critères de nature diverse : économique, environnementale ou encore technologique [Norme 1991]. La phase de conception est d'une importance capitale pour intégrer des aspects liés à la santé des opérateurs dans les outils, les méthodes et les procédés industriels. En fait, du point de vue du concepteur et au niveau de l'entreprise, les ressources des informations de sécurité sont :

1. Les informations disponibles hors de l'entreprise (Normes, Législations),
2. Les informations produites dans l'entreprise,
3. Les informations nécessaires à l'extérieur de l'entreprise (les données de sécurité administratives, sécurité du travail).

¹ Nous trouvons d'autres définitions de la sécurité. La sécurité est la capacité d'un système d'estimer l'occurrence d'un événement indésirable. Le niveau de sécurité peut être mesuré par le risque. La sécurité n'arrive pas au hasard mais elle est le résultat des décisions déjà prises par le concepteur et les managers [Markku & al 1998].

Ces informations doivent être disponibles chez le concepteur pour les intégrer au bon moment dans sa démarche de conception. Toutefois, même s'il apparaît que les concepteurs ne manquent pas de sensibilisation ou de motivation pour prendre en compte la sécurité dès la conception, le fait est que la majorité de ceux-ci ne savent pas comment faire efficacement.

2.6.2. L'application des normes

Les réglementations européennes exigent des solutions de prévention ou de protection [Norme 1997a] pour assurer une bonne sécurité pour l'opérateur. Elles considèrent que la démarche de conception doit intégrer le fait que l'équipement de travail peut-être mal utilisé, tombe en panne ou soit dangereux pour l'opérateur. Les directives européennes et les normes (EN 292-1 & 2, 1991 ; EN 614-1, 1995 ; EN 1050, 1997 et autres) soutiennent cette position [Vannas & al 1994] en étant supposées apporter des solutions pour la maîtrise des différents risques. De plus, ces normes lorsqu'elles paraissent subies par le concepteur peuvent être mal acceptées par ce dernier. Il les intègre souvent tardivement, les perçoit comme des contraintes, en plus des autres contraintes économiques ou techniques voire des contraintes administratives.

Bien que, les normes ne soient pas figées et évoluent dans le temps pour pouvoir répondre plus facilement aux besoins des concepteurs [Lacore 1993], nous avons constaté qu'elles sont normalement appliquées dans les dernières étapes du processus de conception. Cette intégration tardive complique le système conçu (ajout de capteurs ou de portes, barrières, etc.) et exige des procédures lourdes ce qui augmente la charge de travail de l'opérateur. Les normes apparemment, ne couvrent pas : les mixités technologiques dans un même système puisque le système est susceptible d'évoluer tout au long de son cycle de vie, les cas des modes de fonctionnement non nominal et les contextes d'usage liés à l'opérateur dans les situations de travail réelles. Enfin, les normes prennent en compte surtout les machines et non les systèmes de production complexes comprenant plusieurs machines basées sur plusieurs technologies (Figure 2.13).

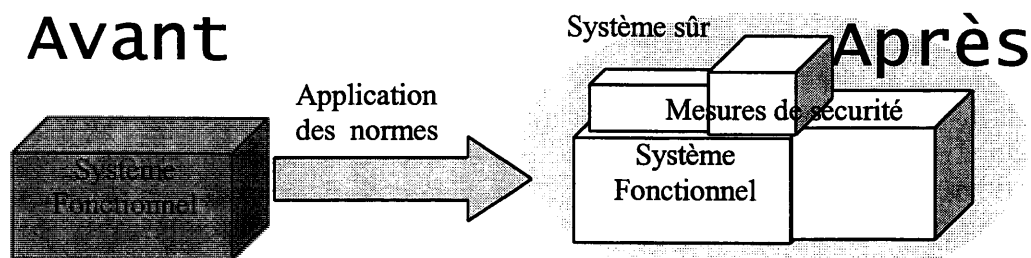


Figure 2.13 : L'intégration actuelle des normes vue comme complexifiant le système

Sourisse & al [Sourisse & al 1996] révèlent, tout d'abord, l'esprit et le contenu des directives européennes relatives à la conception et à l'utilisation des équipements de travail et des moyens de protection [Norme 1997b]. Ils présentent, ensuite, les lois et décrets transposant en droit français le contenu de ces directives, en particulier, les règles de construction, de transport et d'utilisation des machines, et les conditions nécessaires pour vérifier si la machine est sûre ou non.

La sécurité technique (prévention et protection) est abordée par les points de vue suivants : point de vue produit, processus, partie opérative, partie commande, maintenance, et depuis la recherche de l'architecture machine jusqu'aux procédures d'exploitation en passant par le choix des actionneurs et pré-actionneurs, l'établissement des schémas de commande et l'élaboration du programme. Sourisse & al ont étudié la chaîne de causalité des accidents et des pannes (entité dangereuse et événement initiateur donnent une situation dangereuse, puis

un événement indésirable survient et cause un accident ou une panne). Ils ont proposé des parades basées sur trois idées : la prévention, masquer les événements initiateurs et la protection. Ils ont illustré les modes de défaillance, les fonctions de sécurité (passive et active), le rôle du système de commande, la hiérarchie de la prévention du risque et le rôle et le comportement du facteur humain et de la fiabilité humaine dans la sécurité des systèmes.

Selon Didelot [Didelot & al 2000], les normes focalisent sur l'intégration de la sécurité en lien à des problèmes techniques connus et maîtrisés et pour lesquels les normes apportent des solutions concrètes à appliquer sur le système. Ces prescriptions permettent au concepteur de gagner du temps puisqu'il ne recherche pas les solutions, elles lui sont suggérées. Celles-ci limitent cependant la marge de manœuvre des concepteurs-intégrateurs qui sont incités à appliquer des consignes sans rechercher de nouvelles solutions qui permettraient d'éliminer définitivement la source de risque. On applique, essentiellement, des mesures de protection. En revanche pour aider à satisfaire l'« obligation de résultats » édictée par le législateur et relative aux problèmes à dominante humaine, les normes restent muettes sur la manière de procéder pour protéger les opérateurs efficacement. Les normes, dans ce cas, ne peuvent que laisser entière liberté au concepteur-intégrateur pour trouver les solutions les plus adaptées qui réduiront ou supprimeront les risques.

Les réponses apportées par les normes et réglementations semblent insuffisantes pour une maîtrise efficace des risques sur les personnes, spécialement, pour les systèmes en évolution permanente. Nombre d'incidents et/ou accidents surviennent dans des conditions d'utilisation non envisagées lors de la conception, et pourtant nécessaires à la bonne marche de la production. Ces conditions d'exploitation, aux limites de l'exploitation nominale, sont mal couvertes dans la conception actuelle des équipements, à la fois parce qu'elles sont mal connues et par manque de théories, de modèles et de méthodes pour leur prise en compte. Ainsi, si le nombre d'accidents du travail tend à diminuer depuis 1991 le taux de gravité reste très élevé et paraît dériver de la précarité des emplois, des horaires longs, du travail en flux tendu, du travail de nuit.

Les plus récents travaux, dans ce domaine, portent sur la formalisation des normes pour faciliter leur utilisation et leur exploitation par le concepteur (Figure 2.14).

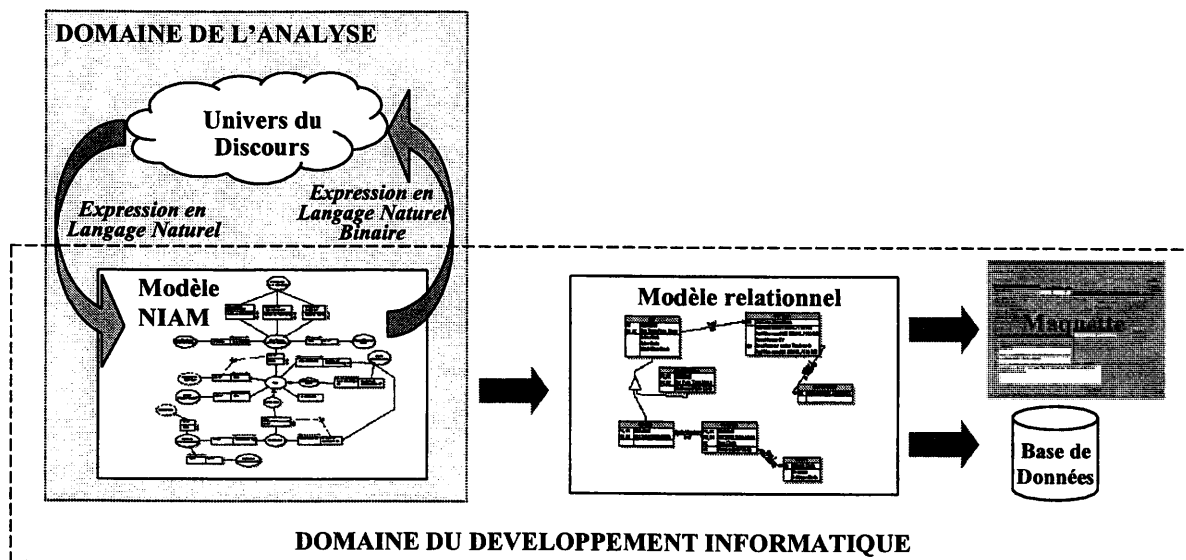


Figure 2.14 : Démarche d'analyse et de développement informatique [Blaise 2000]

Blaise [Blaise 2000] a proposé une démarche à travers la formalisation et la prise en compte des textes relatifs au dispositif réglementaire et normatif. Son objectif est d'élaborer les

spécifications d'un réel outil d'assistance à la consultation et à l'exploitation de l'ensemble des normes relatives à la sécurité des machines. Pour faciliter l'accès, la compréhension et l'application de leur contenu, il a utilisé la méthode NIAM¹ pour traduire le langage naturel des normes vers un langage formel. Enfin, il a présenté une maquette informatique comme un prototype d'assistance à la conception de machine sûre.

2.6.3. Le processus accidentel

Pour comprendre le processus de l'occurrence d'un accident et les facteurs qui lui sont liés, nous mentionnons ici les travaux de Jouffroy [Jouffroy 1999]. Il a présenté en détail le processus accidentel et l'apparition de situation dangereuse. Il a montré que pour un équipement de travail conçu et installé en sécurité, un accident ne peut résulter que d'une série d'événements. La présence simultanée d'un opérateur et d'une machine représentant une entité dangereuse peut conduire à créer une situation dangereuse ; suite à une défaillance technique, à un défaut de conception des dispositifs de sécurité ou encore un non-respect de consignes de sécurité, la survenue d'un événement critique déclenchera l'accident (Figure 2.15).

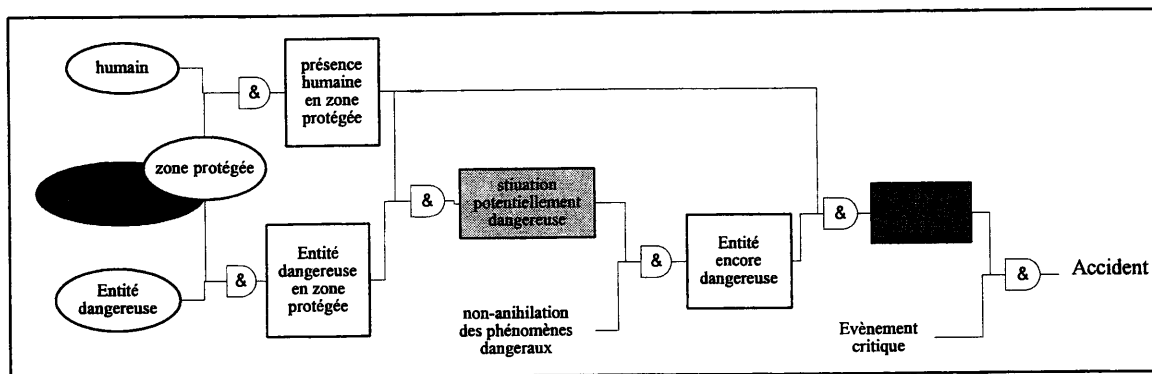


Figure 2.15 : Le processus accidentel [Jouffroy 1999]

Dans la suite, nous présentons un état de l'art des travaux relatifs à l'intégration de la sécurité dans les phases de conception de système de production automatisée.

2.7. L'intégration de la sécurité en conception

Nous présentons, ci-après, les différents domaines d'étude sur l'intégration de la sécurité en conception du point de vue des ergonomes et du point de vue des ingénieurs. Et déclinons la particularité de nos travaux par rapport aux autres.

2.7.1. Les classes de l'intégration de la sécurité en conception

L'analyse de la littérature portant sur la prise en compte de la sécurité des hommes dans la conception de systèmes de production montre que l'on peut regrouper les travaux en deux grandes classes issues toutes les deux de l'ergonomie.

La première concerne l'amélioration de la conception du point de vue ergonomique [Day 1998] dans son sens premier, le concepteur adopte une approche anthropocentrée [Étude 97], il cherche à réaliser un système adapté à l'homme donc à alléger sa charge de travail physique ou cognitif. La conception des systèmes de travail doit satisfaire les exigences humaines par application des connaissances ergonomiques [Norme 1990]. Selon [Bullinger & al 1998] le

¹ Nijsens Informatie Analyse Methodiek.

but principal de l'ergonomie est la conception. Les activités de conception visent à adapter les systèmes, les organisations, les travaux, les machines, les produits et les environnements aux capacités humaines physiques et mentales. Les systèmes devraient être conçus afin qu'ils soient faciles à utiliser et qu'ils contribuent à une charge du travail équilibrée. L'analyse ergonomique de travail est une construction qui s'élabore dans l'action en tenant compte du contexte, de caractéristiques d'opérateurs, de leur savoir-faire, de leur association participative au projet, des nécessaires compromis à réaliser pour mettre en place des solutions acceptables par tous [Pomian & al 1997]. C'est une approche qui cherche à faire prendre en compte les caractéristiques spécifiques de l'être humain et son travail dans la conception des moyens de travail et des produits. Elle vise un double objectif :

- Assurer les meilleures conditions d'utilisation (sécurité, sûreté, etc.),
- Garantir une réelle efficacité du dispositif technique.

Elle concerne l'analyse du comportement humain en vue de la conception. Deux points essentiels définissent l'ergonomie, elle s'appuie sur la connaissance scientifique de l'individu en activité, de manière à définir un ensemble de critères et de méthodes nécessaires pour concevoir un produit qui pourra être utilisé avec un maximum de confort, de sécurité et d'efficacité. L'approche ergonomique impose donc l'analyse de l'activité des utilisateurs dans des conditions réelles.

En ce qui concerne la conception des outils à main, ceci permet d'étendre la capacité physique de l'homme et d'améliorer le contrôle dans l'environnement. L'objectif principal de l'ergonomie dans ce domaine est d'obtenir une meilleure relation entre le travailleur, l'outil et la tâche à réaliser [Aghazadeh & al 1998 ; Bonnevie & al 1998].

L'apport de l'ergonomie à la conception doit se poursuivre car de nouveaux problèmes d'ergonomie peuvent surgir en cours de réalisation et il est essentiel d'évaluer le plus tôt possible les solutions choisies. L'ergonomie est un des facteurs qui déterminent l'acceptabilité d'un produit (les fonctionnalités, le coût et la facilité d'utilisation) car elle contribue à une meilleure acceptation de produit par les utilisateurs potentiels [Étude 1997].

Dans cette classe de travaux, nous pouvons citer ceux de Das [Das 1998] qui portent sur l'intégration des paramètres de l'ergonomie à la conception de poste de travail. Leur objectif est de déterminer les dimensions de la place de travail par quatre critères :

- La hauteur de travail : c'est la hauteur de la surface de travail,
- La portée normale et maximale : la portée normale a été définie comme la pointe du pouce lorsque l'avant-bras tourne en mouvement circulaire sur une surface de table. Pendant ce mouvement le bras reste en position relaxée. La portée maximum a été définie comme la limite que l'opérateur peut atteindre sans bouger son torse,
- L'espace latéral : c'est la distance entre l'épaule de l'opérateur et la place de travail,
- Le niveau des yeux et l'angle de vision.

A partir de ces critères, des mannequins numériques sont intégrés dans les outils informatiques de modélisation et de simulation de l'activité de travail. Leurs apports dans la conception sont les suivants : modélisation dimensionnelle à partir de mesures anthropométriques, encombrement corporel, mouvement dans l'espace et zones d'atteinte, la vision. Enfin, ils recherchent des solutions à partir de l'analyse de l'activité préalablement effectuée qui permettent à chaque élément (mesures anthropométriques, les postures, le champ de vision combiné aux zones d'atteinte) de trouver sa place [Joliff 2000]. Nos travaux

ne se situent pas dans ce domaine d'étude, mais plutôt dans la deuxième classe présentée ci-dessous.

La seconde classe concerne les risques d'atteinte à la santé et à l'intégrité physique des personnes. Les mesures de sécurité, qui en sont déduites, conduisent souvent à une complication du système (ajout de capteurs, de portes, etc.), à une augmentation de la charge de travail ou alourdissent les procédures d'exploitation du système. Les travaux consultés portent, essentiellement, sur les méthodes d'analyse et de diagnostic de postes et conduisent rarement à des propositions de solutions. Cet alourdissement des systèmes et procédures de sécurité résulte des compromis appliqués pour respecter les exigences de la sécurité.

Dans la suite, nous présentons les travaux existants à notre connaissance qui traitent le problème de l'intégration de la sécurité dès la conception. Nous développerons, alors, quelques travaux réalisés dans les quatre catégories citées dans le paragraphe 2.2.3. Nous en présentons quelques-uns au niveau de l'évaluation des risques. Nous avons constaté l'existence d'un grand nombre de travaux sur l'évaluation et l'estimation des risques dans les domaines de l'industrie. Nos travaux ne se focalisent pas sur cette problématique mais plutôt sur la prise en compte des résultats de ces travaux en conception et sur une approche (modèle, méthode, outil) permettant cette prise en compte.

2.7.1.1. Du point de vue méthodes de conception

La conception de système de production a toujours été engagée sous l'angle technique au travers d'une ingénierie technocentrée [Jouffroy 1999 ; Ortiz Hernandez 1995]. De plus, les études sur l'intégration des contraintes de sécurité dans le processus de conception ne se développent que très lentement.

Considérée en fin de cycle de développement, la sécurité s'intègre difficilement dans les méthodes de conception séquentielles. En effet, l'ergonomie et la sécurité ne trouvent pas réellement leur place dans ces démarches de conception où elles interviennent soit au début (trop tôt) soit à la fin (trop tard) [Bonnievie & al 1998 ; Mony 1992]. Les travaux de [Roussel 1996] se focalisent sur la proposition d'une démarche d'intégration des acteurs d'ergonomie dans le processus de conception, spécialement lors des phases de formulation de problème et d'évaluation de solutions. Favet [Favet & al 1997] a fait l'analyse de systèmes de production pour évaluer les risques potentiels de ces systèmes dans l'industrie du bois. Le but a été de présenter une méthode de mise en conformité (sur le plan hygiène et sécurité) des machines automatisées, d'estimer les risques et de les éliminer. Cette méthode aide à déterminer les risques et les zones dangereuses puis à classer les risques dans des familles. Cette démarche est constituée des étapes suivantes :

- Définir le poste de travail : le choisir, le délimiter physiquement, le décrire en répondant aux questions (quel type de machine existe, dans quel environnement de fabrication, etc.).
- Préparer un inventaire des opérations,
- Définir les différents postes de travail et trouver pour chacun les opérations qui s'y produisent. Mettre en évidence d'autres opérations qui pourraient être réalisées sur la machine,
- Identifier les risques, pour chaque opération en utilisant les résultats de l'analyse cause-effet. Puis, estimer les risques en utilisant les méthodes d'estimation des risques,

- Trouver des solutions pour réduire les risques et choisir la bonne solution par l'étude de tous les risques et de toutes les solutions, puis choisir la solution la plus adaptée à tous les risques et vérifier si tous les risques ont des solutions,
- Améliorer l'environnement et l'organisation de travail,
- Former et informer les opérateurs.

Celles-ci sont présentées par un diagramme de Ishikawa (Figure 2.16).

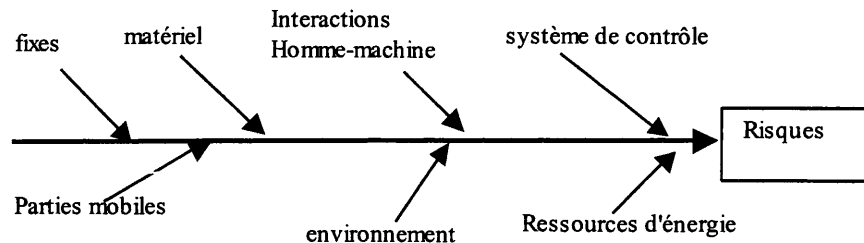


Figure 2.16 : Les causes des risques [Favet & al 1997]

Cette méthode présente les risques qui peuvent apparaître lors de l'utilisation d'un équipement de production et vise à améliorer un système existant et non à concevoir un nouveau système plus sûr. Notre problématique va plus loin en cherchant à prendre en compte ces risques dès la conception. Nous cherchons à extraire les caractéristiques et les éléments qui permettent aux concepteurs et intégrateur d'évaluer les risques potentiels dès la conception. Un exemple réel (bien qu'académique puisque enseigné en BTS) de conception a été étudié en [INRS¹ 1994]. C'est une étude de cas relative à la mise en œuvre d'une stratégie de conception de machines sûres telles que préconisées par la norme européenne EN 292-1 & 2 [Norme 1991 ; Norme 1999].

Dans les méthodes dites concourantes, la sécurité devrait être plus naturellement intégrée [Salau 1995 ; Blanco 1998 ; Garro 1999]. Dans toutes ces démarches, n'ont été pris en considération ni les activités des utilisateurs ni les contextes d'utilisation potentiels, bien que la méthodologie de conception exprime le cheminement par étapes successives et que les outils permettent de développer avec efficacité une solution pour le problème posé et qui respecte des critères de qualité, de performance, de productivité et naturellement de sécurité.

Dans l'article [Ciccotelli 1999a], Ciccotelli présente la problématique liée à l'ancrage de la prévention en ingénierie de conception et expose deux voies de recherche actuellement engagées dans le domaine, en parallèle à nos travaux. L'une est orientée vers le processus de conception et exploite une méthode particulière de conception [Jouffroy 1999] : Le Modèle de Conception Distribuée (MCD). L'autre s'intéresse à la formalisation des savoirs en vue de leur exploitation en ingénierie [Blaise & al 1999]. Dans ses travaux, Jouffroy [Jouffroy 1999] a présenté une approche « socio-technique » d'intégration de la sécurité dès la conception. Ses objectifs étaient :

- Montrer la possibilité d'intégrer des acteurs garants de la sécurité dans une expérience de conception,
- Améliorer le système de captage de la machine d'étude,
- Démontrer expérimentalement l'extension du MCD à d'autres modules,
- Démontrer expérimentalement l'applicabilité du MCD dans une expérience proche des conditions industrielles,

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité.

- Réaliser le produit conçu et le tester.

En plus, des modules de base qui sont les modules fonctionnel, structurel, fabrication proposés par [Salau 1995], il a intégré trois nouveaux modules qui sont (Figure 2.17) :

- Un module nommé « Hygiène-Sécurité-Ergonomie » qui se décompose en trois sous-modules : ergonomie, ventilation, réglementation,
- Un module nommé industrialisation (vue industrielle),
- Un module représenté par un utilisateur afin d'apporter toutes les connaissances de l'utilisation.

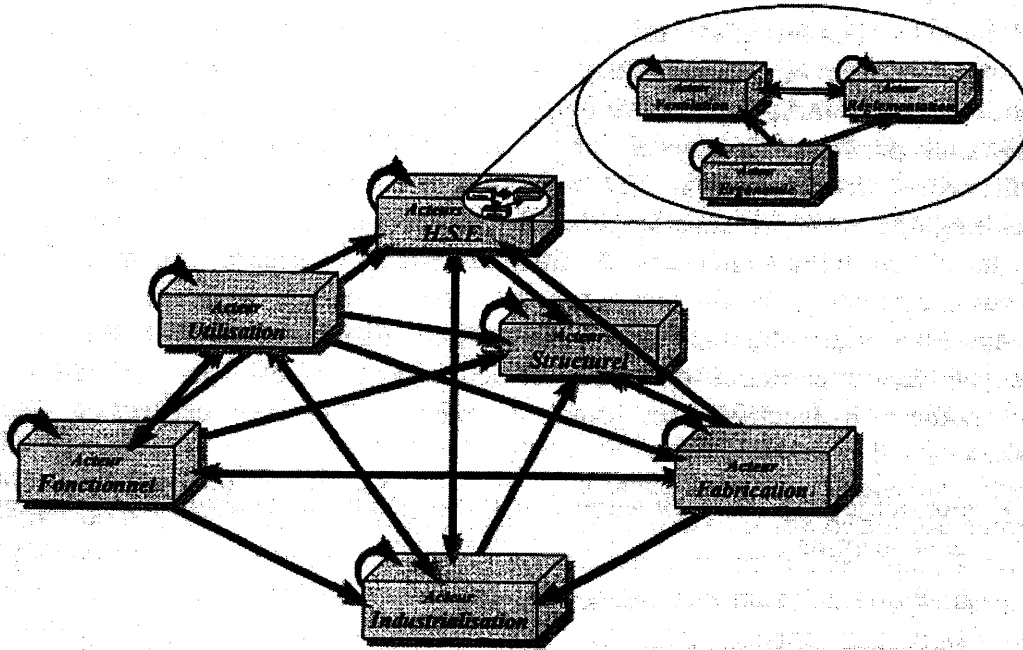


Figure 2.17 : Le Modèle de Conception Distribuée étendu à huit acteurs [Jouffroy 1999]

Ces travaux constituent une première expérience d'intégration de la sécurité à la conception dans un contexte d'ingénierie concurrente et démontrent l'intérêt d'une organisation des acteurs dans la prise en compte des exigences associées.

2.7.1.2. Du point de vue modèles de produit

Au niveau des approches et des modèles de processus et de produit, la sécurité est peu considérée. Dans le paragraphe 2.4, nous avons évoqué les modèles de produit et le point de vue de chaque modèle. Pour plus d'information, le lecteur peut se référer à [Bernard 1999 ; Eynard 1999]. Dans ces modèles, la sécurité est totalement absente. Nos travaux consistent à proposer un modèle de produit la prenant en compte, le produit pour nous étant un système de production complexe. Nous modélisons aussi les contextes liés à l'utilisation du système ce qui permet de proposer un nouveau modèle pour la représentation de la situation de travail dans laquelle le système est intégré chez l'utilisateur. Nous avons pris en compte le fait que, selon [Maret & al 1996], chaque modèle poursuive trois objectifs :

- Augmenter le pouvoir d'expression sémantique portée par le modèle,
- Diminuer la distance entre la perception du monde réel et sa représentation exprimée dans le modèle,

- Augmenter l'indépendance à l'égard des choix d'implantation, tout en considérant un certain niveau de détail et en restant dans les généralités.

Constant [Constant 1996] a classifié trois types de fonction : fonctions principales, fonctions auxiliaires et fonctions contraintes. Après cette classification, et dans ce sens, la sécurité est considérée comme une fonction contrainte parce qu'elle s'établit entre le produit et un ou plusieurs éléments de son environnement. Ce qui expliquerait pourquoi la sécurité est le plus souvent prise en compte en fin de cycle de développement. Pour nous la sécurité est une fonction principale à remplir dès les premières phases de conception.

2.7.1.3. Du point de vue Paradigmes et Processus de conception

En ce qui concerne l'intégration de la sécurité dans le processus de conception, il n'existe pas à ce jour de méthode formelle « universellement reconnue ». Au vu de la littérature et des pratiques industrielles, on procède de façon informelle à partir de retours d'expérience et en étant plus ou moins guidé par les normes. La raison principale de cette difficulté d'intégration de la sécurité est, avant tout, liée à l'absence d'une approche efficace. Les principes et les méthodes qui peuvent être utilisés pour assurer une conception sûre sont établis, mais il reste à définir comment intégrer efficacement ces éléments au processus de conception des équipements de travail.

Un aspect important de ce processus consiste en l'évaluation des risques. Gauthier [Gauthier 1995] a proposé une classification des principales méthodes d'analyse des risques. Cette classification permet d'orienter les concepteurs dans le choix des différentes méthodes et d'optimiser leur utilisation conjointe dans le processus de conception. Ceci, dans l'objectif de développer une approche méthodologique permettant d'intégrer les aspects liés à la sécurité et à la santé de l'opérateur dans le processus de conception des outils, des machines et des procédés, Citons encore parmi les travaux de l'institut québécois (IRSST)¹, précurseur dans le domaine, leur récente action dans l'industrie papetière sur la prise en compte de la sécurité en phase de conception de systèmes automatisés [Benoît & al 1999]. L'auteur a présenté le processus de conception appliqué chez le concepteur et proposé une optimisation en introduisant des étapes dans le processus initial comme : la revue de la liste des besoins et la revue de sécurité préliminaire (Figure 2.18).

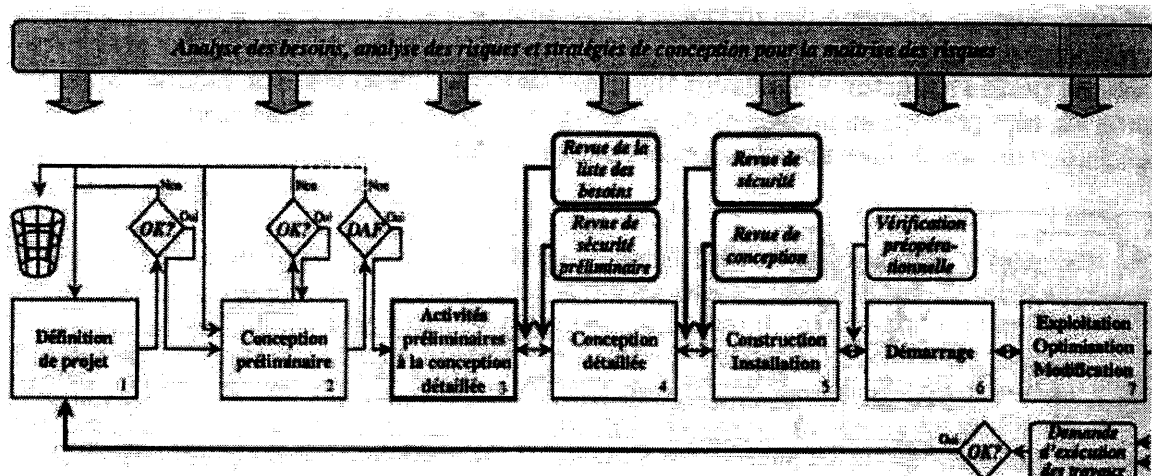


Figure 2.18 : Processus global de conception optimisé [Benoît & al 1999].

¹ Institut de Recherche en Santé et Sécurité du Travail du Québec

Pour répondre aux trois questions suivantes : 1) Comment les concepteurs tiennent-ils compte ou non, de l'ergonomie du travail d'usine lors de la conception des systèmes automatisés ? 2) Quelles compétences les concepteurs doivent-ils posséder pour intégrer des considérations ergonomiques dans le processus de conception ? 3) Comment leur transmettre ces compétences à travers le programme de formation élaboré ? Collinge [Collinge & al 1999] a proposé une approche qui consiste à former les ingénieurs-concepteurs à l'ergonomie afin qu'ils acquièrent de meilleures compétences en communication et en travail en équipe. Ce qui permet une intégration technique et ergonomique simultanée de la part d'un seul concepteur.

La culture technique du concepteur a des influences sur les paradigmes et les raisonnements de conception du fait que la sécurité est considérée comme une contrainte forte à satisfaire en fin de conception. En fait, depuis toujours les concepteurs manquent de motivations et de sensibilisations pour intégrer la sécurité parce que cela augmente leur charge de travail, le coût de système. Ajoutons à tout cela le manque de méthodes et d'outils qui permettent de faire une telle intégration.

Dans nos travaux, la prise en compte de la sécurité revêt une fonction fondamentale à satisfaire au même titre que l'ensemble des objectifs fonctionnels du système. Au niveau du dimensionnement et de la présentation du produit, l'intégration de la sécurité est toujours quelque chose de plus qui nécessite encore du travail et qui complexifie le système ou peut parfois provoquer des calculs supplémentaires et des itérations consécutives. Bien qu'il existe plusieurs méthodes d'analyse des risques, qui peuvent être utilisées en conception, celles-ci sont mal connues, peu utilisées et leur intégration au processus de conception reste à définir. Or, une analyse des risques efficace est la base d'une conception des systèmes de production sûrs.

Les travaux de Didelot [Didelot 2001] montrent la nécessité de rechercher les bonnes informations nécessaires pour la prise en compte des paramètres de sécurité dès la conception et de façon systématique. Elle a utilisé la Méthode MAFERGO¹ proposée par [Neboit & al 1993] pour analyser les systèmes existants du point de vue technique et ergonomique. Cette méthode permet d'extraire les informations et de les faire remonter systématiquement vers le concepteur. Mais, ces travaux n'expliquent pas comment le concepteur peut utiliser ces informations pour concevoir un système plus sûr.

Cette méthode s'utilise dans le cadre de l'analyse et de l'intervention ergonomique sur les systèmes complexes automatisés. L'objectif de cette méthode est d'améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes socio-techniques en cherchant à réduire la probabilité d'apparition de dysfonctionnement des systèmes techniques et/ou du couplage homme - système technique. Elle est basée sur l'analyse de système et l'analyse de l'interaction homme - système technique.

- Cette méthode comprend les étapes suivantes : analyse fonctionnelle (système, processus de fabrication) et analyse ergonomique (tâches prescrites, activité réelles),
- Analyse de disponibilité (évaluer qualitativement le taux de disponibilité),
- Identification et classement des défaillances, ce qui permet de dresser une hiérarchie des dysfonctionnements techniques,
- Analyse causale des dysfonctionnements, mise sous forme d'un graphe causal des scénarios de dysfonctionnements, intégrant l'ensemble d'événements techniques, humains et organisationnels,

¹ Méthode d'Analyse de Fiabilité et ERGonomie Opérationnelle.

- Proposition d'amélioration, sous forme d'une liste de modifications.

2.7.2. La conception de la situation de travail

Ce concept intègre ce qui est appelé dans la norme NF EN 614-1 [Norme 1995], « système de travail » ; *Le système de travail comprend une ou plusieurs personnes et les moyens de travail, agissant ensemble pour effectuer une (ou plusieurs) tâche(s) à l'intérieur de l'espace de travail dans l'environnement de travail, selon les conditions d'exécution de la tâche à effectuer.* Cette situation devient une situation dangereuse si une personne est exposée à un ou à plusieurs risques/phénomènes dangereux. La situation globale de travail a été définie par [Pomian & al 1997], du point de vue ergonomie en intégrant des indicateurs historiques, liés à la santé de la population, à la gestion du personnel, à la gestion de la production, à l'entreprise elle-même (fournitures de matière première, situation de l'entreprise sur le marché, etc.). La situation de travail que nous allons définir est plus restreinte. Elle ne concerne pas la situation de l'entreprise sur le marché ni les relations avec les fournisseurs des matières ou la livraison des produits finis.

En fait, la conception d'un produit se différencie de la conception d'un système de production qui à son tour se différencie de celle qui prend en compte le système dans son lieu d'utilisation. Fadier dans [Fadier 1998] a distingué cinq niveaux d'une conception : la conception de produit qui est généralement le sujet de la plupart des travaux présentés dans les précédents paragraphes (modèle de produit), la conception de système de production, la conception de la situation de travail, la conception des interfaces de conduite et, enfin, la conception du travail. Il n'a pas défini les caractéristiques de ces niveaux de conception, ni les relations entre eux (Figure 2.19).

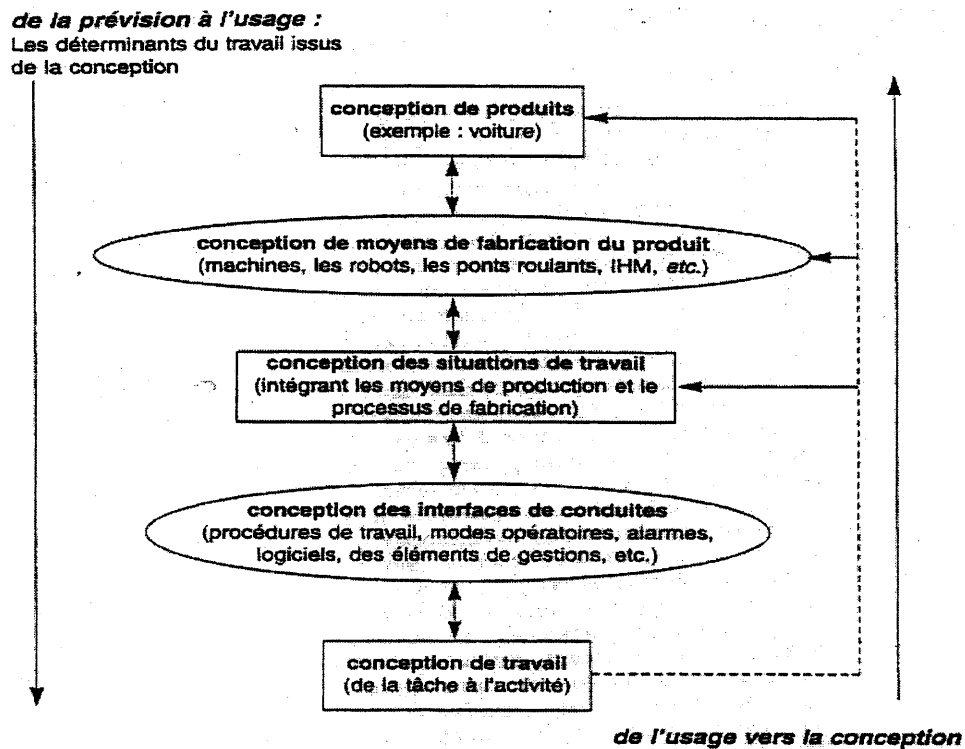


Figure 2.19 : Les niveaux d'une conception [Fadier 1998]

2.7.3. L'analyse et l'estimation des risques

Sur ce point nous donnons quelques exemples de travaux issus de ces domaines de recherche sachant que les résultats de tels travaux sont exploités dans notre modèle de situation de travail lors du choix d'une solution technique engendrant un phénomène dangereux.

Nous débutons, tout d'abord, par les estimations des risques et les éléments cités dans la norme NF EN 1050 [Norme 1997a]. L'appréciation du risque inclut deux éléments :

- L'analyse de risque qui contient la détermination des limites de la machine, l'identification des phénomènes dangereux et l'estimation du risque,
- L'évaluation du risque pour déterminer si une réduction du risque est nécessaire ou si la sécurité a été atteinte,

En ce qui concerne l'estimation de risque, la norme [Norme 1997a] requiert la détermination des éléments du risque pour chaque phénomène dangereux (Figure 2.20). D'autres travaux sur l'analyse de risque et le choix de mesures de prévention sont proposés par la CRAMIF¹ [Cramif 2000]. Une méthode est proposée permettant aux concepteurs et aux constructeurs de réaliser l'analyse des risques à partir des interventions prévues ou prévisibles des opérateurs, et donc de trouver et de mettre en place des mesures de prévention adaptées aux situations dangereuses. La méthode propose d'examiner chacune des tâches de l'opérateur, opération par opération, de manière aussi détaillée et concrète que nécessaire. Elle propose de lister les tâches puis de réaliser l'analyse des risques en cherchant les diverses situations pouvant conduire à un dommage. Le concepteur doit imaginer les scénarios résultant, notamment, de dysfonctionnements et choisir des mesures de prévention appropriées.

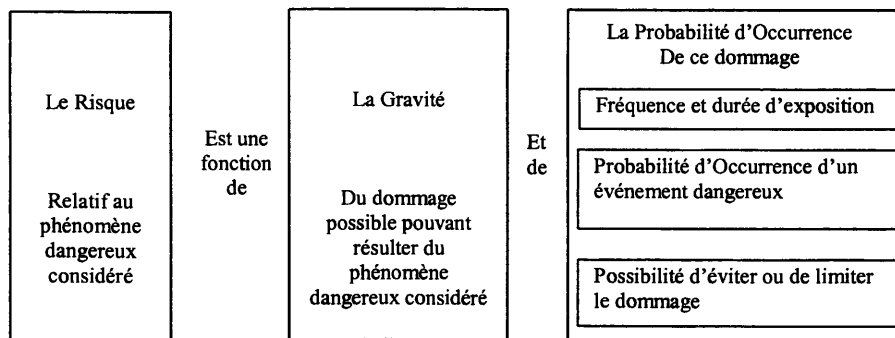


Figure 2.20 : Les éléments de risque [Norme 1997a]

Dans le secteur de la sécurité des machines, plusieurs difficultés résultent du manque d'une méthode consolidée pour l'estimation et l'évaluation des risques. Des indices de risque concernant ses différentes composantes sont combinés pour déterminer un niveau de criticité global. Le problème est de quantifier une telle description en attribuant au niveaux suggérés par la norme EN 1050 une valeur numérique correspondante. Malheureusement, cette méthode présente la difficulté d'avoir à caractériser des éléments subjectifs. Une extension à cette méthode de l'index est proposée dans [Mazzeranghi & al 2000]. La formule suivante est proposée pour calculer le risque :

$$\text{Risque} = \text{Gravité} * \text{Probabilité}$$

$$\text{Probabilité} = \frac{(\text{Probabilité d'occurrence} * \text{fréquence et durée d'exposition})}{\text{possibilité d'évitement}}$$

¹ Caisse Régionale de l'Assurance Maladie d'Ile de France

Puis, une suggestion est faite afin d'associer à chaque quantification des différents paramètres de risque un niveau d'incertitude. Ce qui permet d'obtenir un indice de risque synthétique et de ne pas s'attacher à une seule valeur, mais plutôt à un intervalle de variation.

Worsell [Worsell & al 2000] a proposé une méthodologie pour l'estimation de risque. Cette méthodologie se base sur le schéma présenté dans NF EN 1050, mais comprend de plus un aspect dynamique plus fort où on trouve plus de liens entre les boîtes. Cette méthodologie consiste en trois étapes essentielles :

- Identification du risque : une procédure systématique pour trouver tous les risques qui peuvent apparaître sur la machine. Nous pouvons la réaliser de deux façons : soit systématique, soit par utilisation de techniques de brainstorming. Dans cette étape ont été utilisés les outils suivants : l'analyse des risques liés à la machine^I, l'analyse des risques liés à l'erreur humaine^{II}, l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets^{III}, et il est possible d'utiliser d'autres outils plus adaptés.
- Estimation du risque : l'objectif de cette étape est de préciser la gravité, la fréquence, le temps d'exposition, et tous les paramètres pouvant influencer le risque. Cette méthode propose d'utiliser les outils suivants : l'arbre de défaillance générique^{IV} ou d'autres outils équivalents.
- L'évaluation du risque : pour savoir si le risque résiduel est tolérable ou s'il faut le réduire. Trois intervalles ont été définis : Intolérable^V, Aussi bas que raisonnablement praticable^{VI}, largement acceptable^{VII}. Enfin, est proposée une étape itérative de réduction de risque et une identification de nouveaux risques susceptibles d'apparaître lors de cette réduction.

Dans d'autres domaines, comme le nucléaire, la problématique est différente et revêt un caractère particulier du fait des risques en présence et des conséquences en termes de dommage qu'entraînerait un accident grave. Un exemple d'étude, qui porte sur un programme d'estimation individuel, mis en application à partir de quatre éléments de base : données opérationnelles, événements, base de sécurité et expérience associée peut être consulté [Berg & al 2000].

2.8. Conclusion chapitre 2

Dans ce chapitre, nous avons exposé un état de l'art à trois niveaux. Premièrement, au niveau de la conception des systèmes de production, de ses différentes méthodes, approches et modèles de produit et de processus. Quelques travaux sur la capitalisation de connaissances et d'informations ont aussi été présentés.

Deuxièmement, un état de l'art relatif à la notion de sécurité et à son évolution dans le temps, d'une considération de contrainte vers une fonction principale du système. L'application des normes a été présentée afin de mettre en évidence ses avantages et ses inconvénients au niveau de l'exploitation du système. Le processus d'occurrence d'accident a été présenté afin d'en comprendre les éléments le composant et leur logique d'interaction.

^I Traduction personnelle de : machinery concept hazard analysis

^{II} Traduction personnelle de : hazardous human error analysis

^{III} Failure mode and effect analysis

^{IV} Traduction personnelle de : generic fault tree

^V Traduction personnelle de : intolerable

^{VI} Traduction personnelle de : as low as reasonably practicable,

^{VII} Traduction personnelle de : broadly acceptable.

Enfin, un état des travaux sur l'intégration de la sécurité en conception selon deux points de vue (ergonomique et technique). Nous avons présenté l'état de l'art de cette intégration en la re-situant vis-à-vis des méthodes de conception, des modèles de produit, des paradigmes et processus de conception. Un point sur l'analyse et l'estimation du risque est présenté afin de mettre en exergue les types d'information et d'outils nécessaires pour une intégration efficiente de la sécurité.

A partir des résultats d'analyse présentés dans le premier chapitre et de cet état de l'art, nous abordons au chapitre suivant la description du modèle conceptuel que nous proposons, permettant d'intégrer la sécurité de l'opérateur et les contextes de l'utilisation du système de production dès la conception. Ce modèle est la base conceptuelle d'une maquette informatique qui aidera le concepteur à intégrer aussi facilement et systématiquement que possible les comportements du système et de l'opérateur dans la future situation de travail.

3. Chapitre 3

Description de la situation de travail

Table des matières du chapitre 3

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 3	73
3.1. INTRODUCTION.....	75
3.1.1. <i>La nécessité de modéliser</i>	75
3.1.2. <i>Les objectifs de la modélisation</i>	76
3.2. LA NOTION DE LA SITUATION DE TRAVAIL.....	76
3.3. COMMENT LIRE LE MODELE ?.....	78
3.4. LA MODELISATION AVEC UML	79
3.5. LES CONCEPTS ELEMENTAIRES ADOPTES.....	80
3.5.1. <i>Le concept « Paramètre »</i>	80
3.5.2. <i>Le concept « Description »</i>	81
3.5.3. <i>Le concept « Point de vue »</i>	82
3.6. PRESENTATION DES CONCEPTS NOUVEAUX	84
3.6.1. <i>Concept « Situation de travail »</i>	84
3.6.1.1. Définition.....	84
3.6.1.2. Concept.....	85
3.6.2. <i>Concept « Système »</i>	87
3.6.2.1. Définition.....	87
3.6.2.2. Concept.....	87
3.6.3. <i>Concept « Fonction »</i>	89
3.6.3.1. Définition.....	89
3.6.3.2. Concept.....	90
3.6.4. <i>Concept « Solution technique »</i>	91
3.6.4.1. Définition.....	91
3.6.4.2. Concept.....	91
3.6.5. <i>Concept « Tâche »</i>	92
3.6.5.1. Définition.....	92
3.6.5.2. Concept.....	93
3.6.6. <i>Le concept « Auxiliaire »</i>	95
3.6.7. <i>Concept « Equipe de travail »</i>	96
3.6.7.1. Définition.....	96
3.6.7.2. Concept.....	96
3.6.8. <i>Concept « Phénomène Potentiellement Dangereux »</i>	97
3.6.8.1. Définition.....	97
3.6.8.2. Concept.....	97
3.6.9. <i>Concept « Risque »</i>	98
3.6.9.1. Définition.....	98
3.6.9.2. Concept.....	99
3.6.10. <i>Concept « Zone dangereuse »</i>	100
3.6.10.1. Définition.....	100
3.6.10.2. Concept.....	101
3.6.11. <i>Concept « Mesures de sécurité »</i>	102
3.6.11.1. Définition.....	102
3.6.11.2. Concept.....	103
3.6.12. <i>Concept « Evénement dangereux »</i>	104
3.6.12.1. Définition.....	104
3.6.12.2. Concept.....	104
3.7. VUE GLOBALE DU MODELE DE LA SITUATION DE TRAVAIL	105
3.8. CONCLUSION CHAPITRE 3.....	105

3.1. Introduction

Les notions de "multi-vues" pour un produit (au sens large), de "multi-acteurs" intervenant sur ce produit, (produit qui lui-même peut être "multi-technologies"), impliquent la définition de modèles de données. Ceux ci doivent permettre la représentation complète de ces notions et le dialogue entre les acteurs tout au long du cycle de vie du produit. De plus, ceci doit permettre la prise en compte des contraintes inhérentes à chacun d'eux et à chaque technologie, que l'on se place aux niveaux fonctionnel, physique, structurel, économique, législatif ou d'exploitation. Les deux approches extrêmes anthropocentrée et technocentrée (cf. § 2.2.1) ne sont pas capables de prendre en compte judicieusement et simultanément les deux aspects : opérateur et système de production. Nos travaux développent, entre ces deux approches, la notion de prise en compte globale de la situation de travail où système de production et opérateur coopèrent pour atteindre une performance donnée dans l'accomplissement d'une mission bien déterminée.

Cette notion de situation de travail fait partie de l'approche socio-technique [Hasan & al 2000b]. Cette approche exige des modes de coopération et de communication plus ouverts et une valorisation plus importante du travail humain face à la machine. Cette approche se situe à un juste milieu entre les deux autres approches et se centre sur l'interaction entre l'homme et la machine en prenant en compte tant l'aspect technique que l'aspect humain mais également organisationnel et opérationnel de ce couplage entre l'homme et la machine.

Dans ce chapitre nous ciblons une description et une structuration de la situation de travail [Hasan & al 2001b]. Nous donnons une modélisation sous forme d'un modèle conceptuel de données afin de mémoriser ces données et d'offrir au concepteur une vue complète et, enfin, de lui permettre de concevoir le produit dans une approche globale répondant à notre description de la situation de travail [Hasan & al 2001c ; Hasan & al 2002b].

3.1.1. La nécessité de modéliser

Nous construisons des modèles pour les systèmes complexes parce que nous ne sommes pas en mesure d'appréhender de tels systèmes dans leur intégralité [Booch & al 2000]. Les facultés de compréhension de l'homme ont leurs limites face à la complexité. Grâce à la modélisation, le problème étudié est restreint. Il peut, alors, ne concerner qu'un seul aspect à la fois. De plus, la modélisation vient comme secours de l'intellect humain puisqu'un bon modèle peut permettre à son auteur de travailler à des niveaux d'abstraction plus élevés et de communiquer.

D'autre part, l'analyse des situations de travail réelles nous a montré, du point de vue de la sécurité, l'écart existant entre la situation de travail chez le concepteur par rapport à la situation de travail réelle chez l'exploitant [Fadier 1998]. Cet écart entre la situation conçue et la situation réelle nous a donné un motif de plus pour bien prendre en compte tous les paramètres liés au contexte d'utilisation du système de production conçu.

Le modèle conceptuel de données proposé dans ce chapitre cible une modélisation compréhensible et simplifiée pour une situation de travail réelle d'un système sur le site de travail. Il est à la base d'une maquette informatique permettant d'aider le concepteur à prendre en compte simultanément les aspects techniques et humains lors de la conception d'un système de production.

3.1.2. Les objectifs de la modélisation

La modélisation est le processus de création d'images logiques des données et/ou des traitements. L'objectif des modèles de données consiste à offrir un niveau élevé d'abstraction tout en permettant une expression sémantiquement plus riche. Un modèle conceptuel de données permet de décrire un ensemble d'entités formant un système réel ou destiné à le devenir. Il permet de définir un monde abstrait à partir d'un ensemble de concepts et de règles régissant leur utilisation. La modélisation permet d'atteindre quatre objectifs :

- Les modèles nous aident à visualiser un système dans sa situation de travail telle qu'elle est ou telle que nous voudrions qu'elle soit,
- Ils permettent de préciser la structure et/ou le comportement du système et de l'équipe de travail qui intervient sur ce système,
- Ils fournissent un canevas qui guide la construction d'un système en prenant en compte les contextes d'utilisation,
- Et enfin, ils permettent de documenter les décisions prises dans le déroulement du processus de conception et de capitaliser les connaissances acquises dans la progression du temps.

Dans la suite, nous construirons notre modèle pas à pas en présentant les éléments nécessaires pour représenter un modèle générique de situation de travail. Notre implication concerne principalement la prise en compte de l'utilisation du système de production et de la situation de travail dès la phase de conception de celui-ci. Pour cela, il s'agit d'étudier le processus de conception du système de production et le processus de son intégration, puis de modéliser et représenter l'ensemble dans un modèle de produit ou plutôt dans un modèle de système. Ainsi, nous sommes amenés à spécifier des modèles pertinents relatifs au système de production et à son processus de conception aux trois niveaux : conception, intégration et exploitation, afin de permettre à terme une modélisation prévisionnelle des risques. Une attention toute particulière est apportée à la relation « homme-système de production » à ces trois niveaux. Nous nous limitons, dans nos travaux, aux activités liées au système lors de son utilisation normale et n'aborderons pas les problèmes d'installation et de démantèlement.

3.2. La notion de la situation de travail

Après nos analyses de la situation réelle de travail observée chez les clients de notre partenaire industriel, nous constatons que l'existence de l'opérateur à côté du système technique est une nécessité forte. Cette nécessité vient du fait que les systèmes fonctionnent rarement dans les conditions nominales. L'automatisation totale des systèmes de production (usine sans homme) restera du domaine du rêve pour les automaticiens [Vannas & al 1994]. L'opérateur doit intervenir sur le système pour en surveiller le bon fonctionnement et intervenir rapidement pour en corriger les dérives et éviter, ainsi, les problèmes. En plus, des tâches de contrôle, l'opérateur est chargé de réaliser toutes les tâches de réglage, de maintenance et de dépannage. Dans les modes de fonctionnement dégradé prévus par les concepteurs c'est encore l'opérateur qui assure la continuité de fonctionnement et de production.

Comme nous l'avons présenté précédemment dans le paragraphe 1.4.2 la situation se base sur l'existence d'une équipe et d'un système pour réaliser une mission déterminée. Dans notre problématique nous essayons d'identifier tous les éléments influant sur l'interaction Homme-Système selon le point de vue du concepteur [Hasan & al 2002a].

Au travers du fait que nous définissons et modélisons la notion de situation de travail, notre objectif est de trouver tous les éléments qu'il est possible d'intégrer dans le processus de conception. A chaque point d'intervention humaine dans le système, comment le concepteur a-t-il imaginé cette intervention, qui va intervenir, quelles sont les solutions prises en compte pour assurer la sécurité de l'opérateur, comment le concepteur voit le système, l'utilisateur et leurs interactions ? Pour cela, nous allons proposer premièrement une définition de la notion de situation de travail puis des concepts liés à cette notion pour parvenir à élaborer un modèle de système socio-technique prenant en compte son environnement de travail [Hasan & al 2000b]. Dans la Figure 3.1 nous présentons une macro-vue de la situation de travail.

Dans une vue systémique, le système est un objet (ensemble de composants) qui, dans un environnement, doté de finalité, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil de temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique [Le Moigne 1994]. Dans notre approche l'équipe de travail appartient, comme le système de production, à l'entité « situation de travail » et est en interaction avec ce système. Elle est immergée dans un environnement imposant des flux et contraintes temporelles, décisionnelles et financières.

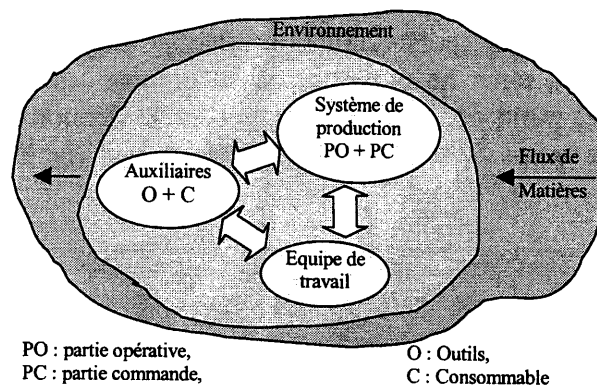


Figure 3.1 : Une vue macro de la situation de travail

Nous tenons à rappeler que, pour nous, cette notion représente, en particulier, l'existence des relations entre les utilisateurs et la machine (une ligne d'imprimerie dans notre cas d'étude), l'ensemble coopérant pour atteindre une performance donnée dans la réalisation d'une mission bien déterminée. Cet ensemble est constitué d'équipes de travail opérationnelles sur une ligne de production (une machine ou même une partie d'une machine) qui traite des matières premières (dans notre cas le papier et les bobines de papier) et de son environnement (le sol, l'éclairage, etc.). La machine réalise des tâches spécifiques afin d'obtenir des produits finis (cahiers). La situation de travail inclut des facteurs qui peuvent influencer la réalisation des tâches comme l'organisation du travail, l'implantation des machines les unes par rapport aux autres, l'environnement de travail autour de la machine, la répartition des tâches.

Elle s'appuie aussi sur des paramètres et concerne un système (machine ou organe), une équipe de travail ou des outils. Elle est caractérisée par un mode d'intervention de l'opérateur ou de l'équipe de travail (nominal, maintenance, réglage). Elle revêt diverses natures (normale, dangereuse, etc.). Elle engendre des zones dangereuses, et des événements indésirables. Elle nécessite l'utilisation de certains consommables comme les produits de maintenance. D'un autre côté, cette situation peut concerner des stocks de matières premières ou de produits finis.

En ce qui concerne ce point, nous considérons que les stocks font partie de la situation de travail si ces stocks sont géographiquement dans la zone de la situation et si l'utilisateur est généralement en contact avec les matières stockées (ex. le chargement de la bobine, le déchargement et le conditionnement des exemplaires en sortie de la coupeuse). Par contre, si

les stocks sont géographiquement loin du système, nous ne considérons pas les stocks comme partie de la situation de travail (ex. lors du remplissage manuel des encriers, l'utilisateur approvisionne des sceaux d'encre stockés ailleurs dans l'atelier pour ajouter l'encre dans les groupes imprimants).

En fait, d'un côté, nous considérons les aménagements techniques du système de production comme le système lui-même (les machines), les systèmes d'information, les outils et instruments. D'un autre côté, nous considérons les conditions physiques liées au système ou environnementales comme les bruits, vibrations, chaleur, froid, etc. D'un troisième côté nous nous intéressons aux modes d'intervention de l'opérateur, à l'objectif du travail, à la nature des tâches réalisées par l'opérateur, aux aspects liés à l'activité physique et aux caractéristiques psychologiques (connaissances, expérience, qualification) de l'opérateur pour respecter les consignes prescrites par les normes en vigueur. Les interactions entre l'équipe de travail et le système de production sont présentées en Figure 3.2.

Dans notre modèle nous limitons ces aspects. Dans celui-ci, nous ne prenons en compte ni les activités et charges mentales de l'opérateur, ni tous les aspects physiologiques (anthropométriques, sensoriels et neuro-physiologiques) et sociales (insertion sociale et professionnelle) psychologiques (personnalité, pression, fatigue) éléments qui pourraient, ensuite, être ajoutés. Ainsi, nous ne prenons pas en compte les aspects liés à l'entreprise conceptrice du système du point de vue de la situation socio-économique ou de l'organisation temporelle et spatiale du temps de travail ni le type de travail (isolé, en équipe, à la chaîne, autonomie, etc.).

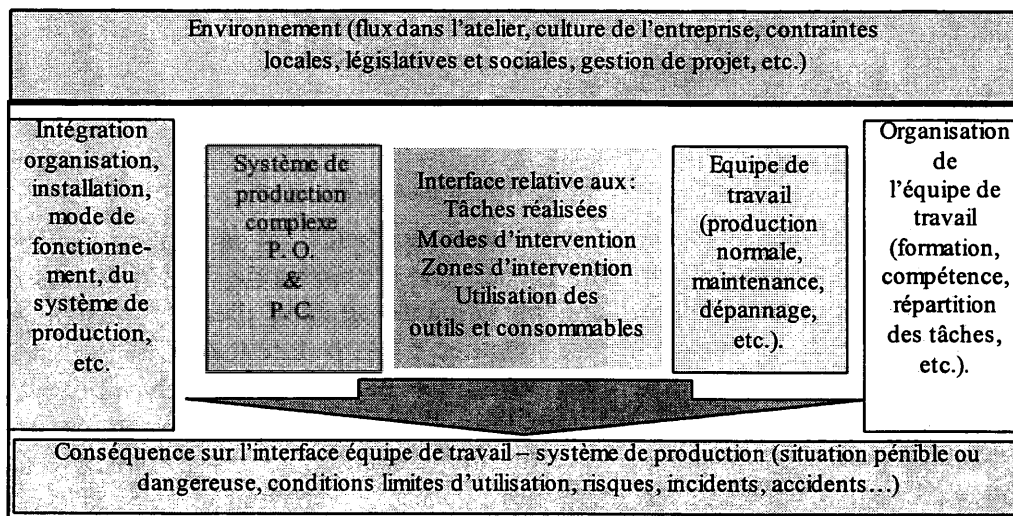


Figure 3.2 : Les interactions équipe de travail - système de production

3.3. Comment lire le modèle ?

Dans la suite, nous présentons notre modèle à l'aide de la méthode de modélisation UML (cf. § 3.4). Nous représentons dans ce modèle les concepts que nous manipulons par des classes [Hasan & al 2001c]. Chaque concept possède trois types de caractéristiques :

- Les attributs propres (ex. pour le concept Système : nom, variante de, version, etc.). Ces attributs sont directement liés à la classe.
- Les attributs qui peuvent caractériser un ou plusieurs concepts (ex. Système, Situation de travail, Tâche etc. ont tous des paramètres, des descriptions etc.). Ces attributs sont assez nombreux, aussi nous avons préféré les regrouper dans des concepts (ex.

Paramètre, Description, etc.) représentés par des classes et des relations (cf. § 3.5). L'idée de ce regroupement est de faciliter le classement, la recherche et la gestion des informations stockées. Par exemple, nous avons regroupé tous les paramètres quantitatifs dans une classe nommée « Paramètre » et tous les paramètres qualitatifs dans une classe nommée « Description ». A l'intérieur de ces concepts généraux, les données peuvent être classées selon un ordre alphabétique ou spécialisées à l'aide de sous-types. Par exemple, spécialisation selon un concept manipulé (sous-types de paramètres : paramètres du système, paramètres des tâches, etc.) ou spécialisation selon un critère ou sa nature (mécanique, thermique, électrique, etc.).

- Les attributs qui prennent leurs valeurs dans d'autres concepts. Par exemple, une des caractéristiques du concept « Situation de travail » concerne les tâches réalisées, le système et l'équipe de travail concernée, la zone dangereuse caractérisant cette situation de travail. Ces caractéristiques distinguent une situation de travail d'une autre en prenant ses valeurs dans les concepts « Tâche, Système, Zone dangereuse, Équipes de travail etc. » en relation avec ce concept. Les relations entre les concepts représentent ce type de caractéristique.

3.4. La modélisation avec UML^I

Nous présentons ici brièvement la méthode UML et pour plus de détail le lecteur peut consulter [Booch & al 2000]. Elle est le résultat de la fusion des méthodes objet dominantes : OMT^{II} [Rumbaugh & al 1995], Booch'93 et OOSE^{III}. Nous avons choisi la méthode UML pour modéliser les concepts de notre modèle à cause de ses avantages de modélisation. C'est un langage de modélisation standard, basé sur une approche solide et objective, adaptée au développement objet et itératif. Elle permet de formaliser les modèles des exigences, d'analyse, de test et de conception.

En fait, cette méthode fournit une aide à la conception du système d'information en réalisant un travail important pour matérialiser des stratégies et des heuristiques. En permettant de bien comprendre et de bien répondre aux spécifications, elle permet une analyse du risque lié à l'organisation du travail et une conception réutilisable, extensible et efficace. C'est une méthode de modélisation orientée objet qui nous amène à transformer une structure de données manipulée par des fonctions en une entité autonome. Ceci regroupe un ensemble de propriétés cohérentes et de traitements associés. Une telle entité s'appelle un objet et constitue le concept fondateur de l'approche du même nom. Un objet est une entité aux frontières précises qui possède une identité (un nom), un ensemble d'attributs qui caractérisent l'état de l'objet, un ensemble d'opérations (méthodes) qui en définissent le comportement (le point de vue dynamique). Ces méthodes peuvent être regroupées dans une interface. Un objet est une instance de classe (une occurrence d'un type abstrait) qui est un type de données abstrait, caractérisé par des propriétés (attributs et méthodes) communes à des objets et permettant de créer des objets possédant ces propriétés, Figure 3.3 :

Les classes sont liées par des relations de nature différente (généralisation, spécialisation, association, agrégation, composition, etc.). UML permet de définir une architecture de cinq points de vue (Figure 3.4).

^I Unified Modeling Language acronyme du langage de modélisation objet unifié.

^{II} Object Modelling Technique acronyme du méthode d'analyse et de conception orientée objet.

^{III} Object-Oriented Software Engineering.

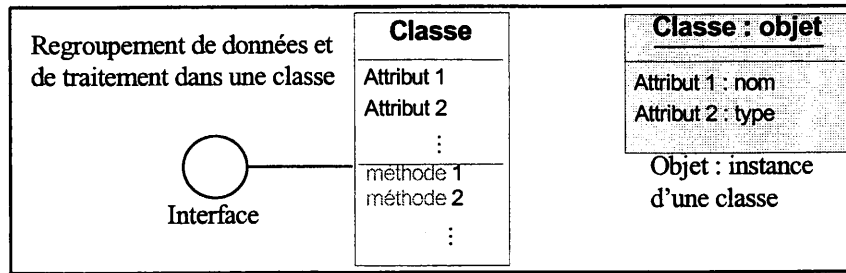


Figure 3.3 : Les briques de base de UML [Booch & al 2000].

Les opérations citées dans les classes permettent la présentation de la dynamique de l'utilisation du modèle. Elles sont développées plus en détail dans le chapitre 5 lors de la présentation de notre nouvelle approche de conception basée sur l'interaction de différents métiers dans le processus de conception.

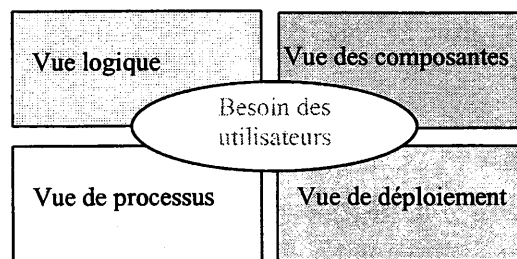


Figure 3.4 : Les cinq points de vue de UML [Booch & al 2000].

3.5. Les concepts élémentaires adoptés

Nous présentons, dans ce paragraphe, les éléments de la situation de travail à partir des concepts qui sont à la base de la structuration de notre modèle générique de situation de travail. Ces concepts ont été principalement extraits des analyses que nous avons effectuées, à la fois du contexte industriel et des documents normatifs. Pour construire notre modèle, nous utilisons également quelques concepts utilisés dans les travaux cités dans l'état de l'art. Nous commençons par la présentation des concepts élémentaires qui sont : les concepts « Paramètre », « Description », « Point de vue ». Ces concepts sont adoptés des travaux de [Harani 1997a,b] et présentés brièvement par la suite. Après cette présentation, nous développons les concepts nouveaux proposés dans nos travaux.

3.5.1. Le concept « Paramètre »

Le mot paramètre a été défini selon les différentes sciences dans lesquelles il était utilisé. Selon Hachette c'est un être mathématique désignant, dans une équation, une grandeur donnée, mais à laquelle on peut envisager d'attribuer des valeurs différentes. En informatique c'est une variable dont le type est connu, mais dont la valeur n'est déterminée qu'au moment de l'exécution du processus. En statistique, c'est n'importe quelle caractéristique quantitative d'un individu ou d'une population [Dictionnaire].

Harani [Harani 1997b] a proposé le concept paramètre pour représenter les spécifications quantitatives. A travers le concept paramètre, sont représentées toutes les grandeurs imposées ou à déterminer pour le produit. Elle a distingué trois types de paramètres : Paramètres qui ont des valeurs spécifiées dans le cahier des charges soit définitives ou susceptibles d'être changées au cours de la conception ; Paramètres qui n'ont pas de valeurs initiales et sont valués au cours de l'exécution d'une tâche lors du déroulement du processus de conception. De nouveaux paramètres peuvent être générés lors de l'exécution du processus de conception.

Ce concept a été bien présenté dans la thèse de Harani et nous ne répétons pas ici les mêmes informations, rappelons rapidement que ce concept possède les attributs suivants : nom, type (entier, réel, booléen, etc.), nature, règles d'intégrité (un ensemble de règles locales vérifiant la cohérence des calculs et des valeurs obtenues), unité, liste des méthodes (liste des noms des méthodes de calcul ou d'estimation pour déterminer le paramètre), listes de points de vue, intervalle de valeurs, Figure 3.5.

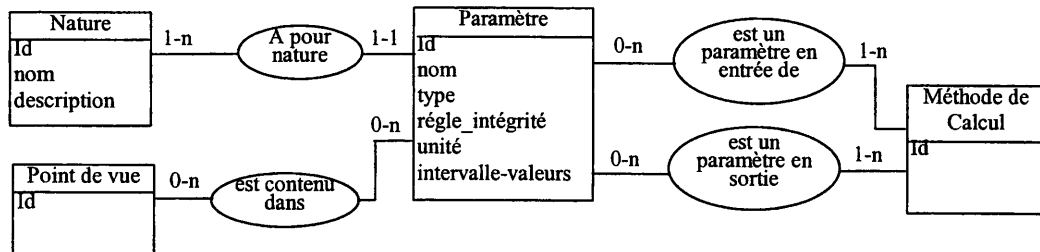


Figure 3.5 : Méta-modélisation du concept « Paramètre » [Harani 1997b]

Nous adaptons cette définition avec quelque peu de modification au niveau de la représentation. Présentons ce concept à l'aide de la classe Paramètre. Cette classe regroupe tous les paramètres de différentes natures, types et points de vue. Les paramètres à l'intérieur de celle-ci sont classifiés en sous-classes en spécialisation de la classe mère. Cette spécification est faite de façon à ce que les paramètres qui concernent un concept soient regroupés dans une classe. Par exemple, les paramètres du concept « Système » sont regroupés dans une classe nommée « Paramètres de système » qui correspond exactement au concept paramètre proposé par Harani. Le concept « Paramètres de système » est une spécialisation de la classe « Paramètre ». Ces spécifications peuvent être de différentes natures telles que : mécanique, électrique, thermique, etc. Elles sont aussi caractérisées par leur unité de mesure, Figure 3.6.

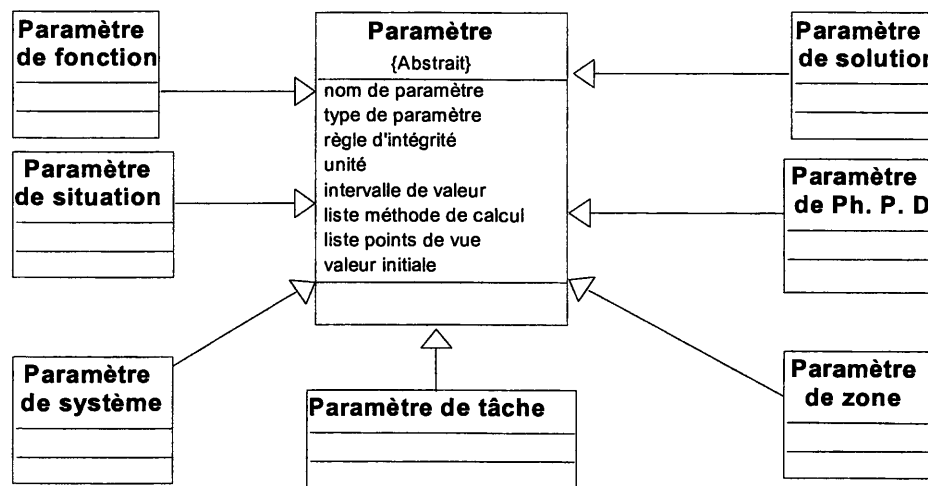


Figure 3.6 : La classe du concept « Paramètre » et ses sous classes

3.5.2. Le concept « Description »

Selon Hachette, la description est un écrit ou discours par lequel on représente, dépeint par des mots. En philosophie, c'est la désignation sans ambiguïté d'un objet, qui n'utilise pas le nom propre de l'objet [Dictionnaire].

Nous adoptons la définition de Harani où les descriptions représentent les spécifications qualitatives du système. Mais, pour nous, ce concept a une valeur plus spécifique que dans les

travaux de Harani. Du fait que nous travaillons sur l'intégration de la sécurité dans le processus de conception et que cette dernière est difficile à quantifier. Pour l'instant les prescriptions de sécurité citées dans les normes sont pour la plupart d'entre elles, présentées textuellement. Ceci montre la nécessité de présenter ces descriptions de manière claire et détaillée. D'un autre côté, les mesures de sécurité et les solutions de notre problématique peuvent être des spécifications et des descriptions (informations et consignes textuelles). Ce concept peut aussi contenir toutes les spécifications non formalisées (type de technologie, désirs du client, nature de zone dangereuse, d'événement, etc.).

Ces spécifications sont représentées par le concept « Description ». Or, le regroupement des concepts « Paramètre » et « Description » représente les spécifications complètes du système. La classe « Description » est spécifiée en sous classes regroupant chacune les descriptions d'un concept de nature différente Figure 3.7. Ce concept est caractérisé par les attributs suivants :

Nom de la description : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Description : elle donne textuellement la description de type mot clé. Comme la description est purement textuelle, on peut faire du traitement automatique sur ce texte en général, c'est la raison pour laquelle on ajoute une liste de mots clés appartenant à une dichotomie pour faire cette recherche.

Origine : indique l'origine ou la ressource de la description (cahier des charges, demande du client, spécifications normatives ou autres, etc.).

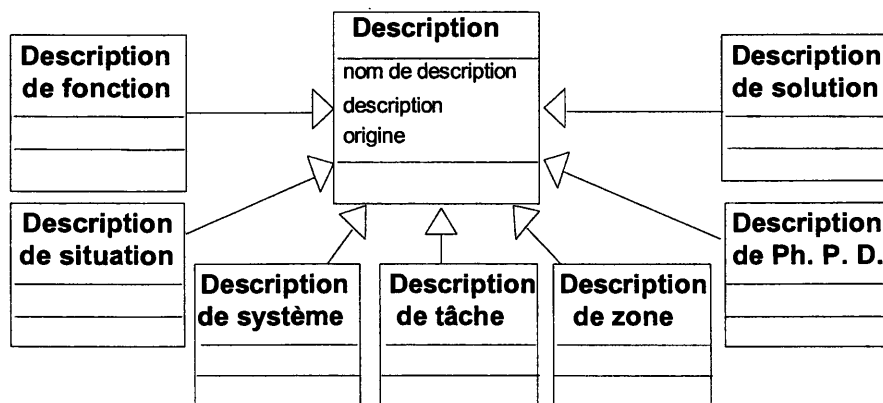


Figure 3.7 : La classe du concept « Description » et ses sous classes

3.5.3. Le concept « Point de vue ¹ »

Les données de conception sont variées et complexes. Ce concept nous offre les possibilités d'étudier le produit selon plusieurs points de vue pour permettre une prise en compte des différentes perceptions possibles qu'ont les concepteurs d'un système. Un système de production devrait être modélisé suivant plusieurs aspects (géométrique, fonctionnel, structurel, physique, cinématique, électrique, sécuritaire, etc.).

Harani [Harani 1997b] a défini ce concept comme un ensemble de spécifications (caractéristiques et/ou paramètres) du produit que nous structurons à travers les différents points de vue définis pour représenter l'objet de la conception. Chaque point de vue peut fournir une vue informationnelle bien que généralement partielle sur le produit. Il faut donc parcourir tous les points de vue pour regrouper la totalité des spécifications [Rosenman & al

¹ Un point de vue est une façon de voir ou de comprendre [Dictionnaire].

1996]. On adopte cette définition en ajoutant le point de vue sécurité. Dans ce point de vue nous présentons des organes dangereux et des organes non dangereux.

Ce concept a été présenté selon deux approches, l'approche orientée métier^I et l'approche orientée produit^{II}. Nous prenons, en plus, en compte une troisième approche qui considère les modes d'intervention sur le système sujet de la conception comme base pour établir les points de vue (utilisateur, agent de maintenance, dépanneur, contrôleur, etc.), (Figure 3.8). Le point de vue concepteur porte les différents points de vue proposés par Harani. Ces points de vue imaginent normalement les contextes d'utilisation du système et s'intéressent à la performance du système en prenant en compte les trois contraintes fondamentales (qualité, coût, délai).

Par contre, l'utilisateur porte le point de vue du contexte réel de l'utilisation du système et s'intéresse à la facilité d'usage et à la visibilité lors de l'utilisation du système et à sa sécurité lors de cette utilisation. Le dépanneur et l'agent de maintenance s'intéressent à la facilité de démonter le système et à l'accessibilité aux organes les plus fragiles et consommables. Par contre, le contrôleur s'intéresse à l'ergonomie du poste de contrôle et à la simplicité des pupitres de commande. Le point de vue de la sécurité regroupe ces points et s'impose au concepteur par les normes et récemment par le marketing et les désirs du client [Aldanondo & al 2000].

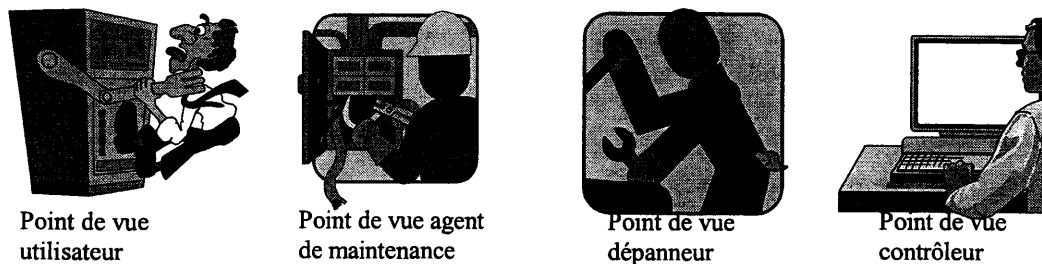


Figure 3.8 : Les points de vue selon l'approche orientée mode d'intervention

Harani a choisi l'approche produit qui contient les deux points de vue standard, fonctionnel et structurel. Le point de vue comportemental a été aussi pris en compte pour traduire l'état dans lequel pourrait se trouver le produit à un instant donné en fonction de conditions spécifiques (graphe d'état ou équations différentielles). En fait, ce point de vue présente l'ensemble des propriétés d'un produit émergent comme résultat de l'interaction entre la structure du produit et de son environnement (Figure 3.5). Le comportement du système de production dans notre cas est présenté par le séquençement des tâches réalisées par le système tout au long de sa vie. Ce point de vue sera développé lors de la présentation du concept « Tâche ».

D'un autre côté, les liens entre les points de vue sont également présentés chez Harani et nous les adoptons pour nos travaux (Figure 3.9).

Nous avons présenté ci-dessus des concepts que nous allons utiliser parmi ceux issus des travaux déjà existants. Nous rappelons que la sous-classe « Paramètre de système » représente le même concept proposé par Harani. De même pour le concept « Description ». Pour le concept « Point de vue », nous présentons le point de vue sécurité en gardant en même temps la nécessité des autres présentés par Harani. La prise en compte de ce concept permet de déterminer les acteurs participant au processus de conception. Il facilite la coopération entre

^I Cette approche considère que les domaines d'application du produit à concevoir sont le critère d'établissement des points de vue (mécanique, électrique, etc.).

^{II} Dans cette approche le raisonnement adopté dans l'établissement des points de vue peut se faire par rapport au produit (structurel, fonctionnel, géométrique, etc.)

eux en donnant à chacun la possibilité de voir l'avancement des travaux des autres et d'intervenir au bon moment. Nous n'abordons pas le problème de coopération et de la conception collective [Hatchuel 1996]. Mais nous insistons sur la nécessité de faciliter cette coopération lors de l'utilisation du modèle dans l'approche proposée (cf. chapitre 5).

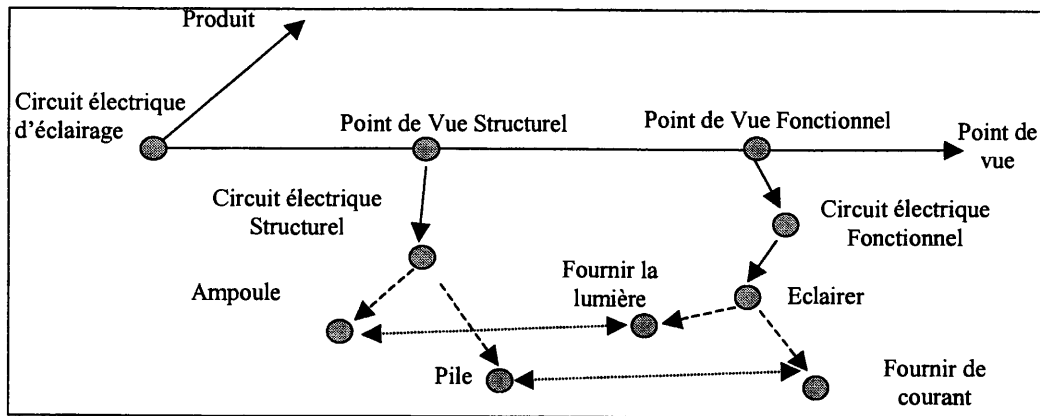


Figure 3.9 : Liens inter et intra points de vue [Harani 97a]

3.6. Présentation des concepts nouveaux

Nous tenons à souligner que nous travaillons sur un modèle unique et cohérent [Hasan & al 2001b] mais que pour des raisons évidentes de présentation celui-ci sera introduit partiellement à l'aide d'extraits. Tout d'abord, pour faciliter la lecture et la compréhension de ce modèle nous allons représenter en premier le concept central « Situation de travail » permettant d'introduire le système, les fonctions et les solutions techniques, etc. Pour éviter la redondance, les relations ayant été représentées entre deux classes dans une figure précédente ne le seront plus dans les figures suivantes (ex. la relation « concerne » entre les concepts « Situation de travail » et « Système » sera représentée dans la figure qui illustre la situation de travail et pas dans la figure qui illustre le système). Nous représentons dans ce modèle les concepts que nous manipulons par des classes.

3.6.1. Concept « Situation de travail »

3.6.1.1. Définition

Comme cela a été introduit dans le paragraphe 3.2, la situation de travail prend en compte le système et l'équipe de travail ainsi que tous les autres concepts que nous proposons d'adopter (tâches, auxiliaires, zones, risques, etc.) car pertinents pour mettre en œuvre un processus de conception de système complexe. Selon Hachette la situation est un ensemble de conditions dans lesquelles se trouve quelqu'un à un moment donné. Le travail est un ensemble d'activités, d'efforts nécessaires pour produire quelque chose, et pour obtenir un résultat déterminé. En adoptant ces deux notions, nous avons défini la situation de travail par l'existence des relations entre les utilisateurs et la machine (système de production), l'ensemble coopérant pour atteindre une performance donnée dans la réalisation d'une mission bien déterminée.

3.6.1.2. Concept

Nous présentons cette notion par le concept « Situation de travail » en utilisant UML. Ce concept est représenté par la classe Situation de travail, cette classe avec ses attributs et ses relations sont illustrés dans la Figure 3.10.

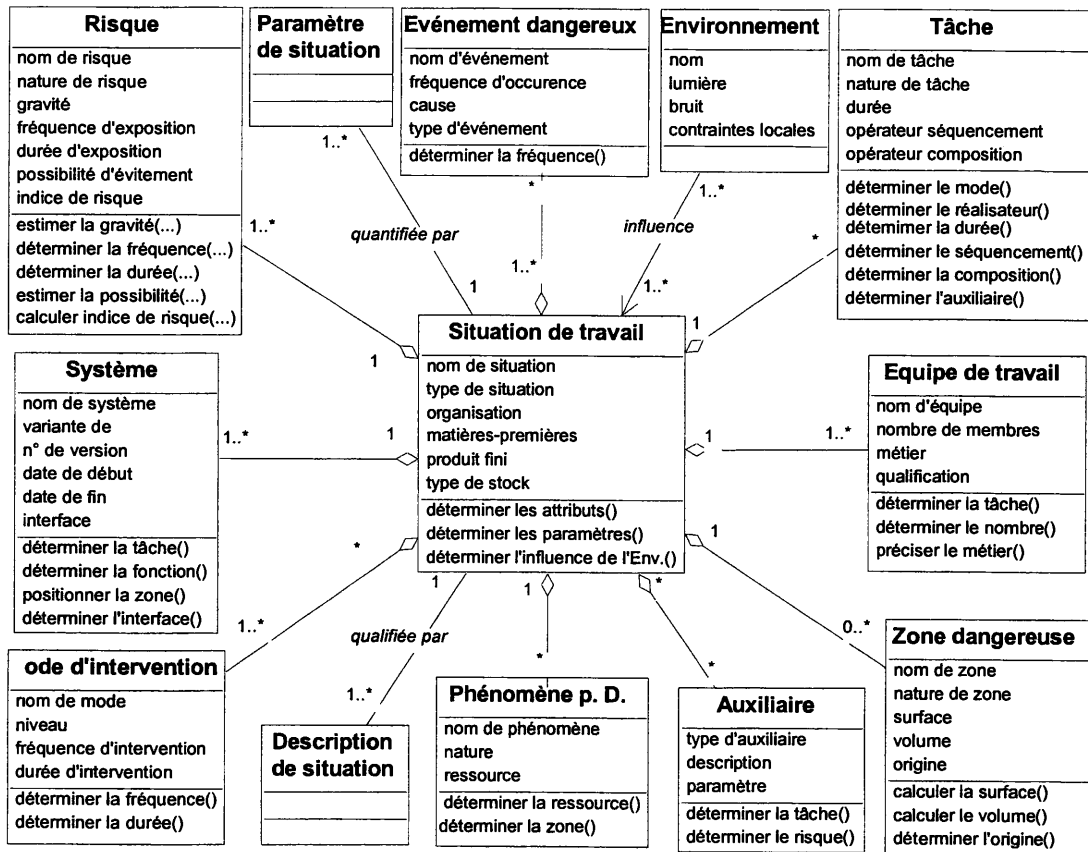


Figure 3.10 : Le concept « Situation de travail » et ses attributs et relations

Nom de situation : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Type de situation : cet attribut présente le mode d'utilisation (maintenance, réglage, production normale ou dégradée) pour le même système.

Organisation : cet attribut permet de préciser l'organisation et la répartition dans le temps et l'espace, des tâches et machines appartenant à l'atelier (flowshop, jobshop, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Environnement ».

Matière première : cet attribut précise les matières premières qui dans cette situation vont être utilisées, transformées ou manipulées par l'opérateur et/ou la machine. Il prend ses valeurs dans le concept « Consommable » qui est une sous-classe du concept « Auxiliaire ».

Produit fini : représente les produits fabriqués dans la situation. Il prend ses valeurs dans le concept « Consommable » qui est une sous-classe du concept « Auxiliaire ».

Type de stock : cet attribut présente le type de stock dans la situation de travail. Il prend une des deux valeurs suivantes : interne ou externe.

Point de vue : cet attribut représente les différents points de vue possibles (structurel, fonctionnel, comportemental, de la sécurité, etc.) (cf. § 3.5.3).

Ce concept est caractérisé par ses relations avec les autres concepts suivants :

Système : c'est un des moyens de travail définis dans la norme NF EN 614-1 [Norme 1995]. Il représente la ou les machines dans la situation de travail. Il prend ses valeurs dans le concept « Système » qui sera développé dans le paragraphe suivant.

Paramètre : représente les spécifications quantitatives relatives à la description de la situation de travail. Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre » (cf. § 3.5.1).

Mode d'intervention : représente l'interaction système – utilisateur, c'est-à-dire les modes dans lesquels l'utilisateur réalise des tâches en interaction avec le système. Il prend ses valeurs dans le concept « Mode d'intervention ». Ce concept est présenté dans le paragraphe 3.6.5.2.

Équipe de travail : ce concept représente toutes les personnes chargées d'installer, de faire fonctionner, de mettre au point, d'entretenir, de nettoyer, de réparer ou de transporter une machine (système) [Norme 1991 ; Norme 1995]. Il représente les utilisateurs qui vont travailler dans la situation de travail, objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Équipe de travail » qui sera développé dans le paragraphe 3.6.7.

Auxiliaire : représente soit des outils ou consommables pouvant être utilisés pour assurer le bon fonctionnement du système lors de la réalisation de tâche prescrite dans la situation de travail, objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire ». Ce concept est spécifié en deux classes : « Consommable » et « Outil ». Il est modélisé par la classe « Auxiliaire » présenté dans le paragraphe 3.6.6.

Événement dangereux : représente un des événements susceptibles de survenir fortuitement ou non, dans la situation de travail, de la part des utilisateurs ou du système ou de tiers dans l'environnement. Selon la norme EN 1050 [Norme 1997a], ce concept est défini comme un événement susceptible de causer un dommage. Il prend ses valeurs dans le concept « Événement dangereux » présenté dans le paragraphe 3.6.12.

Phénomène dangereux : représente toute cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé [Norme 1991] de l'utilisateur lors de son travail dans la situation de travail. Il prend ses valeurs dans le concept « Phénomène dangereux » (cf. § 3.6.8).

Tâche : représente les activités nécessaires pour obtenir le résultat fixé par le système (la situation) de travail [Norme 1995]. C'est-à-dire les tâches à réaliser par la (les) machine(s) ou (les) l'utilisateur(s) dans la situation de travail. Il caractérise la situation de travail selon la tâche à réaliser. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche » qui est développé dans le paragraphe 3.6.5.

Zone dangereuse : représente toute zone à l'intérieur et/ou autour d'une machine, dans laquelle une personne est exposée à un risque de lésion ou d'atteinte à la santé [Norme 1991 ; Norme 1993]. Cette zone peut être engendrée par une ou des solutions techniques dans le système qui satisfont une ou des fonctions demandées. Il prend ses valeurs dans le concept « Zone dangereuse » développé dans le paragraphe 3.6.10.

Environnement : cet attribut représente l'ensemble des éléments physiques, chimiques, biologiques, organisationnels, sociaux et culturels qui entourent une situation de travail à l'intérieur de son espace de travail [Norme 1995]. Il prend ses valeurs dans le concept « Environnement ».

Description : cet attribut représente les spécifications qualitatives attachées à la situation de travail. Il prend ses valeurs dans le concept « Description ».

Comme nous avons vu dans ce paragraphe, le système est un des éléments de base de la situation de travail. Pour cela, dans la suite, nous allons le présenter de manière plus détaillée,

sans toutefois, aller très loin au niveau du calcul et du dimensionnement, ni dans la prise en compte des points de vue de processus de fabrication ou d'assemblage, etc.

3.6.2. Concept « Système »

3.6.2.1. Définition

Dans la littérature, nous trouvons plusieurs définitions de système¹. Booch [Booch & al 1997] a défini le système comme *un ensemble de sous-systèmes organisés pour atteindre un objectif et décrits par un ensemble de modèles, si possible sous différents points de vue. Un sous-système est un regroupement d'éléments dont certains constituent une spécification du comportement proposé par les autres éléments contenus.* Pour Le Moigne [Le Moigne 1994], *le système est un objet qui, dans un environnement, doté de finalité, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique.*

La norme européenne 292-1 [Norme 1991] a défini la machine par *un ensemble de pièces ou d'organes liés entre eux, dont au moins un est mobile et, le cas échéant, d'actionneurs, de circuits de commande et de puissance, etc. réunis de façon solidaire en vue d'une application définie, notamment pour la transformation, le traitement, le déplacement et le conditionnement d'un matériau.* Pour nous le système est un système de production de type système complexe comprenant plusieurs machines automatisées ou semi-automatisées.

Le système de production est un ensemble organisé de dispositifs mis en œuvre en vue de créer des biens matériels ou d'assurer des services. Ce système, lorsqu'il fonctionne chez l'utilisateur définit une situation de travail. Il fait appel à un ou plusieurs opérateurs humains, soit pour le surveiller, le contrôler ou pour réaliser d'autres tâches précises. Ce système peut être composé de plusieurs composants qui, à leur tour, peuvent être composés de plusieurs sous-composants. Par exemple, la rotative est un système qui contient des sous systèmes (le dérouleur, les groupes imprimants, la plieuse, etc.). Aussi, on peut considérer que la plieuse est un système qui contient plusieurs sous-systèmes (système tringle, système de perforation, cylindre premier pli, etc.). Il possède des paramètres variés, et est dédié à la réalisation d'opérations spécifiques. Il peut être contrôlé par un système de contrôle ou par un opérateur humain. Il possède un ensemble d'attributs : nom, type, paramètres, description, points de vue, ce peut être une variante d'un système précédant, il a un numéro de version, il peut être un composant d'un système plus complexe, il a une date de début de conception et une date de fin, il fait partie d'une situation de travail, et peut avoir besoin d'un utilisateur ou même d'une équipe de travail. Ce système traite des matières premières ou semi-finies pour obtenir des produits semi-finis et/ou finis. Il nécessite certaines opérations de maintenance et de réglage pour garder sa performance maximum. Ce système peut comprendre des organes dangereux qui peuvent causer des risques pour les utilisateurs.

3.6.2.2. Concept

Le concept système est caractérisé par les attributs suivants et est représenté par la classe Système et ses relations (Figure 3.11) :

Nom de système : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

¹ Selon Hachette le système est un ensemble d'éléments formant un tout structuré ou remplissant une même fonction.

Variante de : cet attribut indique que le système objet de la conception actuelle est une variante d'un système déjà existant. Il prend ses valeurs dans le concept « Système » car un système peut être une variante d'un autre système.

Numéro de version : indique la version correspondante du système. C'est une valeur entière.

Date début : permet de noter la date de lancement de la conception du système. Ses valeurs sont des dates.

Date de fin : permet de noter la date de fin d'exécution du processus de conception du système. Ses valeurs sont aussi des dates.

Interface : représente les interfaces entre le système objet de la conception et les autres systèmes dans le même super-système.

Composant de : permet de spécifier si ce système est un composant d'un autre système plus complexe. Il prend ses valeurs dans le concept « Système ».

Fonction : cette relation permet de déterminer les fonctions affectées au système. Une fonction dangereuse d'un système est une fonction pouvant engendrer un risque ou un phénomène dangereux lorsque le système fonctionne (plier, imprimer, sécher, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Fonction » (cf. § 3.6.3). Les fonctions peuvent être classées selon un certain principe et chacune est caractérisée par son nom, type, ressource et ses paramètres et descriptions.

Paramètre de système : représente les paramètres concernant le système (matière, vitesse, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre de système » qui est une sous-classe du concept « Paramètre ».

Tâche : représente les tâches à réaliser par le système technique. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche » (cf. § 3.6.5). En fait, lors de la réalisation des tâches le système fonctionne dans un certain mode de fonctionnement. Cette relation est représentée par une classe de relation qui s'appelle « Mode de fonctionnement ».

Mode de fonctionnement : représente les différentes phases durant lesquelles le système fonctionne normalement ou pas. C'est-à-dire le mode de production normale, pendant lequel il peut arriver que le système passe en mode de réglage, à l'arrêt, en mode de production dégradée, etc. Ce concept est caractérisé par son nom et son type. Or, l'instanciation de cette relation détermine les conditions dans lesquelles le système réalise sa tâche.

Événement dangereux : représente ici un des événements susceptibles d'arriver au système (ex. une défaillance technique, une panne). Il prend ses valeurs dans le concept « Événement dangereux » (cf. § 3.6.12).

Description de système : représente les spécifications qualitatives attachées au système. Il prend ses valeurs dans le concept « Description ».

Zone dangereuse : représente les zones dans le système susceptible de causer des risques à l'utilisateur. Il prend ses valeurs dans le concept « Zone dangereuse » (cf. § 3.6.10).

Solution technique : cet attribut représente la solution choisie par le concepteur du système pour réaliser une fonction demandée. Il prend ses valeurs dans le concept « Solution technique » où nous trouvons toutes les solutions techniques utilisées (cf. § 3.6.4).

Flux : cet attribut permet de vérifier la prise en compte de flux qui transitent dans le système (flux d'information [Delcuvelier 1989], d'énergie, de matériel, etc.) [Constant 1996]. Ce sont des informations qui permettent de lier des objets qui sont relativement indépendants (dérouleur, groupes imprimants sécheur, plieuse, etc.). Ces flux ne sont pas nécessairement

entre deux modules mais peuvent aussi être entre deux organes au sein d'un même module (système triangle, système de perforation, cylindre premier pli, etc.). Ces informations peuvent être des vitesses de bande communes, les points d'entrée de la bande (hauteur, angle, etc.), des hauteurs de passerelles qui doivent être continues entre deux modules, des mouvements, etc. L'intérêt peut être de mieux maîtriser l'impact d'une modification sur le reste du système et de faciliter l'intégration des différents modules.

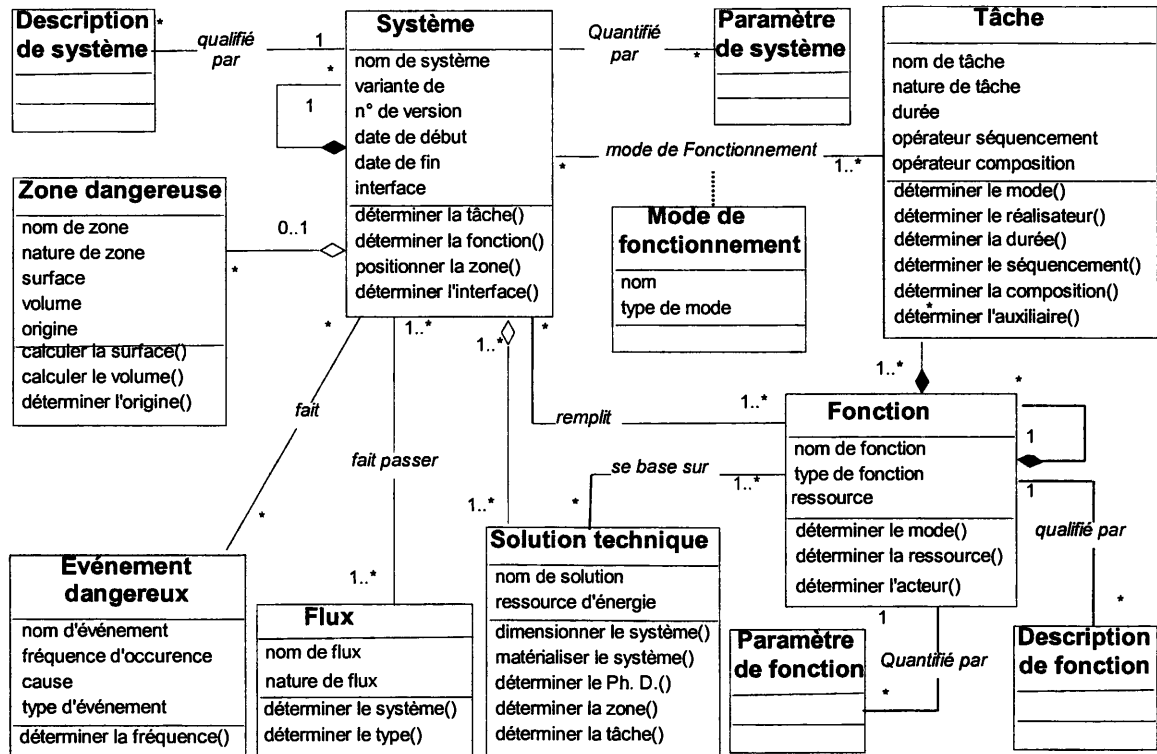


Figure 3.11 : Les concepts « Système » et « Fonction » et leurs attributs et relations

3.6.3. Concept « Fonction »

3.6.3.1. Définition

L'objectif d'un système est de remplir une ou plusieurs fonctions ; or selon Hachette la fonction¹, c'est ce à quoi sert une chose dans l'ensemble dont elle fait partie [Dictionnaire]. Selon [Pomian & al 1997] la fonction est l'action d'un produit exprimée en terme de finalité qui constitue un référentiel commun au besoin, aux contraintes et au produit. Nous adoptons la définition proposée par [AFNOR 1982] : *la fonction est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité*. Les méthodes linéaires d'analyse fonctionnelle cherchent à exprimer les différentes facettes du juste besoin par des fonctions. Celle-ci sont successivement regroupées, classées et hiérarchisées selon les critères, les niveaux visés et les seuils d'acceptabilité qui définissent la flexibilité attendue. Les fonctions analysées se distinguent en deux grandes catégories. Les fonctions principales sont composées de fonctions de service et de fonctions contraintes. Les fonctions techniques (élémentaires [Saucier 1997]) sont internes au produit et dépendent de celui-ci.

¹ En gestion c'est l'emploi défini par l'ensemble des tâches, des obligations et des responsabilités qui globalement constituent le travail d'une personne [Dictionnaire].

La méthode cartésienne de spécification fonctionnelle des besoins isole les éléments pour mieux connaître et mieux spécialiser ces éléments. Cette méthode cherche à décrire la structure du système à travers des filières fonctionnelles en utilisant à cet effet des procédures de raffinement fonctionnel et hiérarchique.

Les fonctions n'ont de sens que par rapport à un objet précis, (bien définir, bien délimiter l'objet). [De Kleer & al 1984] a proposé des définitions pour bien distinguer la fonction d'un système de son comportement. La fonction est ce que l'objet fait^I. Par exemple, la fonction d'une scie circulaire est de couper^{II}. Par contre, le comportement d'un objet représente la manière dont il réalise a fonction^{II}. Par exemple, le comportement de la scie est de faire tourner une lame vive. Il a introduit deux types de comportement : le comportement intra-état (*intrastate*) et le comportement inter-état (*interstate*).

Le concept « fonction » représente les résultats de l'analyse des spécifications fonctionnelles [Yannou 1998] du cahier des charges. Il s'agit de représenter les exigences du client ou du marché en termes de fonctions qui seront l'objectif de la conception. Une fonction dangereuse d'un système est une fonction pouvant engendrer un risque ou un phénomène dangereux lorsque le système fonctionne (souder, couper, plier). Les fonctions peuvent être classées selon un certain principe et chacune est caractérisée par son nom et son type. Il est possible aussi que la fonction soit décomposable en sous-fonctions jusqu'à la fonction élémentaire. Par exemple, imprimer est une fonction qui peut se décomposer en rouler la bande, garder la tension et la vitesse, déposer l'encre sur la bande, sécher, refroidir, plier.

L'intérêt de capitaliser les fonctions est qu'il s'agit d'une donnée relativement constante quelles que soient les machines ou la situation de travail aux spécifications et quantifications près, telles que le nombre d'exemplaires par heures, la coupe, la laize, etc. Et ce sont les solutions techniques ou leur dimensionnement (le système) qui changent pour satisfaire aux spécifications du cahier des charges. D'autre part, le processus de conception s'appuie fortement sur l'analyse fonctionnelle (quelles sont les fonctions à créer ? automatiser ou pas ? modifier ? etc.).

3.6.3.2. Concept

Le concept « Fonction » est représenté par la classe Fonction et ses relations. Il est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.11) :

Nom de fonction : attribut valué sous forme de chaîne de caractères

Type de fonction : représente le type de la fonction objet de la conception (principale, technique, etc.).

Ressource : représente la ressource de cette fonction (CdC de la direction de produit, innovation d'un concepteur, base de données, réclamation de client, etc.).

Paramètre de fonction : représente les paramètres qui concernent la fonction. Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre de fonction ».

Solution technique : représente les solutions techniques nécessaires pour réaliser les fonctions techniques motorisées ou non. Il prend ces valeurs dans le concept « Solution technique ».

Description de fonction : représente les spécifications qualitatives qui concernent la fonction projet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Description de fonction ».

^I what an object does

^{II} how the object does what it does

Tâche : représente les tâches nécessaires à réaliser pour obtenir la fonction demandée. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche » (cf. § 3.6.5).

3.6.4. Concept « Solution technique »

3.6.4.1. Définition

Comme nous l'avons vu, le système remplit des fonctions. Cependant, pour remplir ces fonctions, il se base sur des solutions techniques. Ces solutions sont la structure du système nécessaire pour satisfaire les fonctions demandées. Selon Hachette la solution est le résultat d'une réflexion, permettant de résoudre un problème, de venir à bout d'une difficulté ou apportant une solution à un problème technique. Selon [Saucier 1996] les solutions techniques correspondent aux différents moyens de réalisation des fonctions élémentaires. Alors, les solutions techniques peuvent être définies comme des solutions pour les fonctions à satisfaire. Cette notion représente le dessin ou le schéma qui est la base d'un système comme, par exemple, deux pignons qui tournent en sens opposés. Dans l'annexe 4, nous montrons une liste non exhaustive de solutions techniques, des risques engendrés et les paramètres à calculer. Le dimensionnement et la matérialisation des solutions techniques permettent d'obtenir le système. En bref, les solutions sont mises en œuvre dans les systèmes pour remplir des fonctions. Ce sont aujourd'hui des objets intermédiaires [Blanco 1998] de la conception qui ne sont pas capitalisés.

Du point de vue mécanique, cela correspond aux concepts utilisés. Il n'est pas indispensable de les capitaliser dans le sens où la lecture d'un plan renseigne immédiatement sur les solutions techniques utilisées. Cependant, il faut les formaliser pour réaliser un traitement informatique et systématique des analyses de risque pour pouvoir, par exemple, proposer à l'utilisateur une liste de points critiques à prendre en compte et surveiller. Et du point de vue électrique, la solution technique est le type de mise en œuvre (automate, câblage, logiciel, etc.). La capitalisation de ces données est utile pour retrouver les données associées, les décideurs, etc. Les systèmes électriques sont des câbles, des automates, des processeurs, etc. mais aussi des lignes de logiciel ou de programmation d'automates.

3.6.4.2. Concept

Ce concept permet de représenter toutes les solutions techniques nécessaires pour réaliser les fonctions techniques motorisées ou non lors de la conception. Il s'agit de regrouper les principes ou les bases de fonctions dans une entité (ex. lorsque le concepteur a spécifié la fonction plier, soit cette fonction peut être réalisée par un opérateur manuellement soit par une solution technique basée sur deux rouleaux qui tournent en sens opposés). Les solutions sont classées selon un certain principe et chacune est distinguée par son nom, ses paramètres et descriptions. Ces solutions techniques peuvent être stockées et dans des fichiers de CAO¹ en nomenclatures.

Le concept « Solution technique » est représenté par la classe Solution technique et ses relations (Figure 3.12). Il est caractérisé par les attributs suivants :

Nom de solution : attribut valué sous forme de chaîne de caractères

¹ Dans les fichiers CAO (Conception Assistée par Ordinateur) actuels les solutions techniques sont classées dans un ordre hiérarchique et structurel selon la composition du produit. Pour faciliter la réutilisation de ces solutions il faudrait également les classer dans un ordre fonctionnel. C'est-à-dire selon la fonction, sélectionner les solutions pouvant satisfaire cette fonction.

Ressource d'énergie : représente les ressources de la solution technique choisie (manuel ou mécanique, électrique, magnétique, etc.).

Paramètre de solution : représente les paramètres qui concernent la solution. Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre ».

Description de solution : représente les spécifications qualitatives concernant cette solution technique, objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Description ».

Tâche : représente les tâches qui doivent être réalisées par cette solution technique. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche ».

Zones dangereuse : représente toute zone engendrée par cette solution technique, dans laquelle une personne est exposée à un risque de lésion ou d'atteinte à la santé. Il prend ses valeurs dans le concept « Zone dangereuse ».

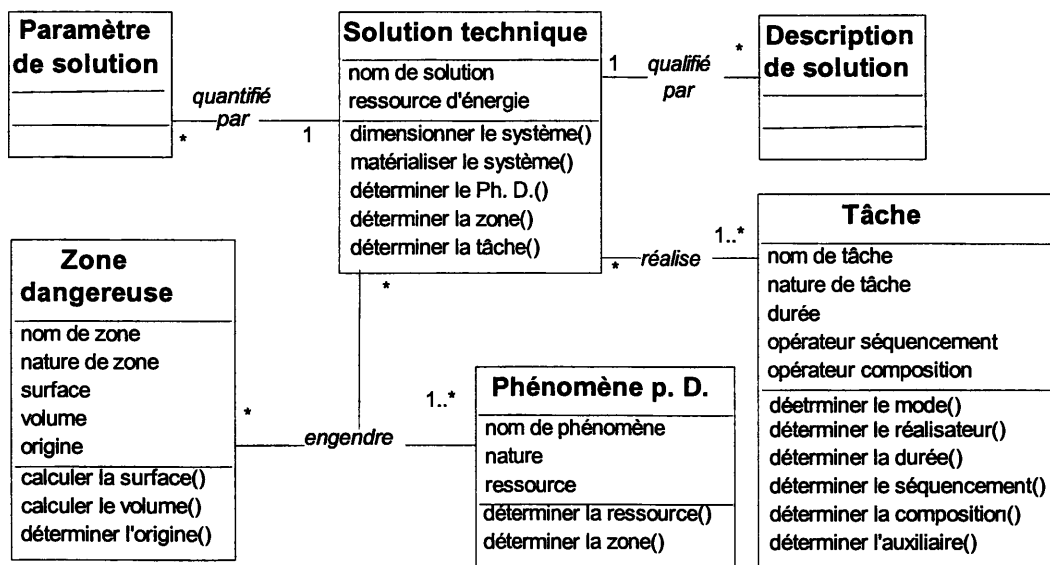


Figure 3.12 : Le concept « Solution technique », et ses attributs et relations

Phénomènes dangereux : représente tout phénomène engendré par la solution technique capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé de l'utilisateur. Il prend ses valeurs dans le concept « Phénomène dangereux ».

La relation ternaire entre les trois concepts « Solution technique, Zone dangereuse et Phénomène dangereux » permet de bien déterminer que si une solution technique a un phénomène dangereux et si ceci engendre une zone dangereuse, alors, cette zone appartient à cette solution technique.

3.6.5. Concept « Tâche »

3.6.5.1. Définition

Pour remplir les fonctions, les solutions techniques réalisent des tâches. Or, selon Hachette la tâche est l'obligation que l'on doit remplir, par devoir ou par nécessité dans un temps donné. Du point de vue automatique *la tâche est un changement défini et finalisé de l'état d'un objet donné : entité matérielle, information, système technique, personnel, organisme* [Lhote & al

¹ C'est un travail déterminé que quelqu'un doit exécuter et qui est à réaliser dans certaines conditions et dans un délai fixé (Dictionnaire Office de la langue française, 1985).

1995]. Dans la norme EN 614-1 [Norme 1995] une tâche représente les activités nécessaires pour obtenir le résultat fixé par le système (la situation) de travail. Mais les ergonomes distinguent la tâche de l'activité nécessaire pour réaliser cette tâche. Dans la norme [Norme 1990] la tâche a été définie comme une tâche à effectuer fixée par l'objectif du travail. Nous adoptons la définition de [Ortiz-Hernandez 1995] où *la tâche est un but à atteindre, qui concerne un changement déterminé de l'état d'un objet. Et l'activité est le comportement concret d'un acteur déterminé en situation de travail.* Nous distinguerons ici les tâches prescrites des tâches réalisées [Ortiz-Hernandez 1995].

Ce concept représente d'une part, la tâche demandée au système, le système ayant une ou plusieurs fonctions à réaliser, chaque fonction pouvant être décomposée en sous fonctions et ainsi de suite jusqu'aux fonctions élémentaires qui nécessitent chacune une tâche élémentaire pour être remplie. Dans ce cas, le système fonctionne dans un mode de fonctionnement qui correspond aux tâches réalisées par le système (marche normale, système à l'arrêt, réglage, calage, mode de fonctionnement dégradé), (cf. § 3.6.2.2). D'autre part, ce concept concerne les tâches demandées à l'utilisateur du système ou à l'équipe de travail associée. Dans ce cas, l'équipe de travail réalise la tâche dans un mode d'intervention (mode de maintenance, de réglage, mode de dépannage, etc.). Il est possible que pour réaliser un réglage, l'utilisateur appuie sur un bouton qui déclenche une série de tâches automatisées. Or, par le fait d'appuyer sur le bouton, l'utilisateur intervient sur le système dans le cadre d'un mode d'intervention ; Par contre, le système fonctionnera dans un mode de fonctionnement.

La tâche peut être réalisée dans des zones dangereuses, nécessiter des outils, des produits de maintenance et des matières premières. Elle est réalisée par l'application des activités et elle consomme des énergies, etc. D'un autre côté, la tâche n'a pas une durée propre il existe habituellement des contraintes multiples qui correspondent à un ordre logique partiel sur certaines dates de début ou de fin. En plus, rien n'empêche les tâches d'être réalisées en plusieurs fois et non en une seule fois. *La capacité maximum de travail dépend de l'état de l'opérateur : physiologique, psychologique et cognitif. Cet état est influencé par la tâche effectuée, notamment par la performance obtenue et la charge de travail* [Millot 1999].

3.6.5.2. Concept

Le concept « Tâche » est représenté par la classe Tâche et caractérisé par les attributs et relations suivants (Figure 3.11 et Figure 3.14) :

Nom de tâche : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Nature de tâche : cet attribut représente la nature de la tâche objet de la conception (individuelle, collective, mécanique, électrique, manuelle, automatisée, etc.).

Durée : cet attribut représente le temps prévu par le concepteur pour réaliser la tâche objet de la conception, lors de l'utilisation. Il peut être différent du temps réel passé lors de la réalisation effective de la tâche.

Opérateurs de composition : cet attribut n'a de sens que si la tâche est décomposable en plusieurs tâches plus simples jusqu'à obtention de tâches élémentaires. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche » car les tâches plus simples sont aussi des tâches.

Opérateurs de séquençement : cet attribut représente l'ordre dans lequel la tâche doit être réalisée par rapport à d'autres tâches. C'est-à-dire la procédure de la réalisation des tâches. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche » car la procédure est une séquence de tâches.

Ces deux derniers attributs permettent de bien déterminer l'ordre horizontal et vertical de la tâche. En fait, la tâche peut être représentée par T_{ij} . Où i indique le numéro de la tâche dans

une procédure et j indique le niveau de décomposition (Figure 3.13). Les tâches renseignent sur la dynamique de la situation de travail (cf. chapitre 5).

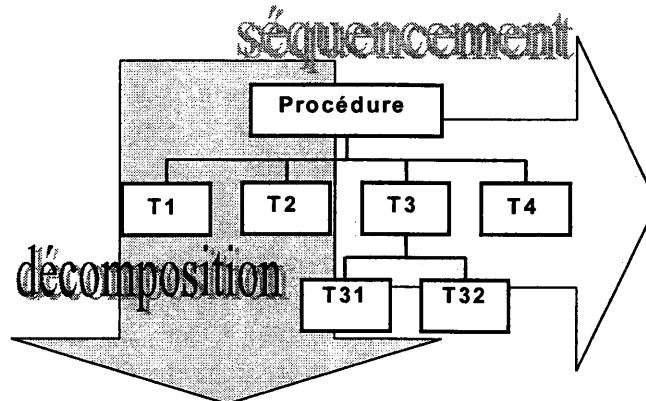


Figure 3.13 : Le séquençement et la décomposition d'une procédure

Paramètre de Tâche : cet attribut représente les spécifications quantitatives relatives à la description de la tâche objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre » (cf. § 3.5.1).

Description de Tâche : cet attribut représente les spécifications qualitatives attachées à la tâche et par cet attribut est spécifiée la caractérisation de cette tâche. Il prend ses valeurs dans le concept « Description » (cf. § 3.5.2).

Auxiliaire : représente un des outils ou consommables qui peuvent être utilisés pour réaliser la tâche objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire » (cf. § 3.6.6).

Risque : représente un des risques pour l'utilisateur lors de l'exécution de la tâche ou lors de la surveillance du système lorsque ce dernier réalise la tâche objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Risque » (cf. § 3.6.9).

Équipe de travail ; représente le ou les utilisateurs qui vont réaliser la tâche objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Équipe de travail » (cf. § 3.6.7).

Mode d'intervention : cet attribut représente le mode d'intervention dans lequel la tâche se réalise. Il prend ses valeurs dans le concept « Mode d'intervention ».

Hachette définit le mot mode comme une forme ou un procédé. Et le mot intervention par l'action d'intervenir : Interposer son autorité dans un différent, entrer en action, jouer un rôle influent. Le mode d'intervention regroupe les tâches manuelles, réalisées par un utilisateur ou l'équipe de travail, dans des catégories. Ces catégories permettent de faciliter le travail des concepteurs responsables de commande et contrôle. Pour cela, la relation entre la classe Tâche et la classe Équipe de travail est une relation ternaire. Chaque fois qu'une équipe de travail réalise une tâche, celle-ci est faite dans un mode d'intervention. Le concept « Mode d'intervention » est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.14) :

Nom de mode : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Niveau : cet attribut représente le degré de la complexité de l'intervention (réglage simple, faire passer la bande dans le dérouleur). Le sens de cet attribut ressemble fortement à la notion de niveau de maintenance (maintenance niveau 1, niveau 2, etc.).

Fréquence d'intervention : cet attribut représente le nombre de fois que ce mode doit être effectué dans un délai donné.

Durée : cet attribut représente le temps nécessaire pour que cette intervention soit achevée.

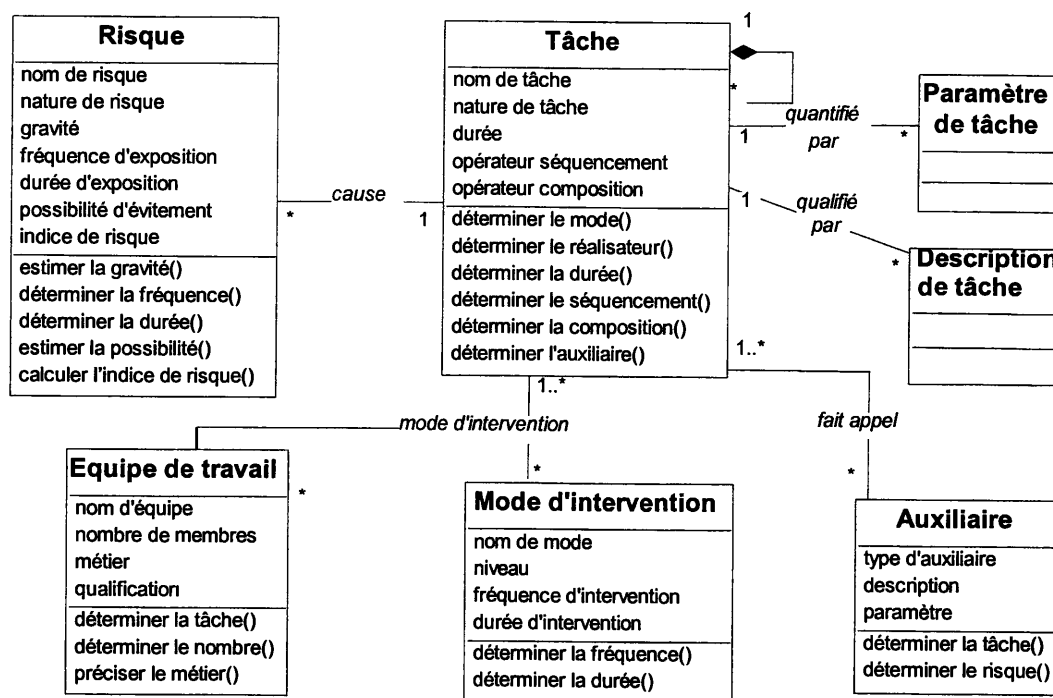


Figure 3.14 : Les concepts « Tâche », « Mode d'intervention » et « Équipe de travail », leurs attributs et relations

3.6.6. Le concept « Auxiliaire »

La réalisation de tâches nécessite parfois l'utilisation d'outils ou de consommables. Pour cela, nous développons le concept « Auxiliaire ». Ce concept représente tous les outils et les matières consommables nécessaires à la bonne réalisation des tâches dans la situation de travail sujet de la conception. L'importance de ce concept est qu'il regroupe tous les auxiliaires qui peuvent amener des phénomènes dangereux. Ces phénomènes peuvent causer des risques pour l'utilisateur. Ce concept est caractérisé par des paramètres, des descriptions et son type. Ceci permet de déterminer si l'auxiliaire est un outil ou un consommable. Nous ne développons pas les spécifications qualitatives et quantitatives puisque normalement le concepteur utilise les auxiliaires pour compléter sa conception et il ne conçoit pas ceux-ci. Nous spécialisons ce concept en deux (Figure 3.15) :

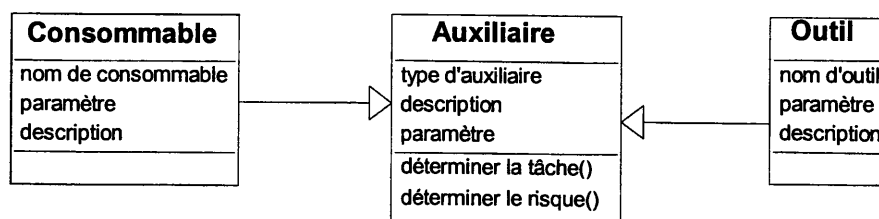


Figure 3.15 : Le concept « Auxiliaire »

Le concept « Outil » : un outil est un instrument destiné à être tenu à la main, qui sert à façonner la matière et/ou réaliser une tâche. Ce concept représente des outils pouvant être utilisés pour assurer le bon fonctionnement du système et pour la bonne réalisation d'une tâche dans la situation de travail (tournevis, règle, stroboscope, pince, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Outil ». Ce concept est caractérisé par le nom de l'outil et ses paramètres et descriptions.

Le concept « Consommable » : représente les matières consommables pouvant être utilisées dans la situation de travail et nécessaires pour réaliser une tâche ou faire fonctionner

correctement le système (matières premières, lame coupante, cordons, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Consommable ». Ce concept est caractérisé par le nom du consommable et ses paramètres et descriptions.

3.6.7. Concept « Équipe de travail »

3.6.7.1. Définition

Dans le paragraphe 3.6.5 nous avons vu qu'une tâche peut être réalisée par le système ou par l'équipe de travail. Les tâches décrivent entre autre les interventions de l'opérateur sur le système. On ajoute donc au modèle les équipes de travail qui réalisent des tâches. Selon Hachette une équipe est un groupe de personnes collaborant à un même travail. Et en imprimerie c'est un groupe d'ouvriers travaillant sous les ordres d'un metteur en pages ou d'un chef d'atelier. Par contre, dans [Dictionnaire] l'équipe de travail c'est un groupe de salariés qui effectue son travail durant une période déterminée dans la journée. Elle représente le ou les utilisateurs travaillant sur le produit.

En effet, l'une des spécificités des systèmes de production automatisés réside au niveau de la coopération entre acteurs. Ceci ne peut être efficace qu'avec des opérateurs ayant une bonne connaissance et une expérience suffisante du système de production. La complexité croissante des systèmes de production et l'intégration de différents types de connaissance, visant à réaliser une ou plusieurs fonctions demandées, ont conduit à une connaissance insuffisante et une maîtrise partielle du fonctionnement opérationnel. Ce qui conduit les opérateurs à faire face à des situations non prévues à la conception.

Dans la situation de travail, se présentent aussi différents agents (dépanneur, agent de maintenance, tiers). Pour éviter la répétition nous utiliserons le mot opérateur pour représenter tous ces agents. Les points de vue « comportement » et « collectivité », sujets des recherches de [Dequaire & al 1999 ; 2000] et [Didelot & al 1999 ; 2000], et les points de vue « cognitif » de la « psychologie du travail » ne seront pas développés dans nos travaux.

3.6.7.2. Concept

L'équipe est caractérisée par le nombre d'opérateurs, les relations entre eux, leurs relations avec la hiérarchie, leur coopération. A son tour l'opérateur est caractérisé par son métier, son expérience et son savoir-faire, son sexe, son âge. Ce concept est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.10 ; Figure 3.14) :

Nom d'équipe : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères

Nombre de membres : représente le nombre d'opérateurs affectés à travailler sur le système. C'est un entier.

Métier : représente le métier des opérateurs de l'équipe de travail.

Qualification : cet attribut représente les caractéristiques de l'opérateur (comportement, savoir-faire, expérience, diplôme, niveau hiérarchique, âge, sexe, etc.).

3.6.8. Concept « Phénomène Potentiellement Dangereux »

3.6.8.1. Définition

Les solutions techniques ou même les auxiliaires utilisés peuvent être ou contenir des phénomènes potentiellement dangereux qui peuvent causer un risque d'atteinte à la santé de l'opérateur. Or, selon Hachette, le phénomène est tout ce qui apparaît comme remarquable, nouveau, extraordinaire et dangereux, c'est ce qui présente un danger. Dans [Norme 1991] le phénomène dangereux caractérise toute cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé de l'opérateur ou même un tiers passant dans la zone de la situation de travail.

La norme indique que le mot risque, employé dans l'acception comme phénomène dangereux, est généralement accompagné d'autre mot précisant son origine ou la nature de la lésion ou de l'atteinte à la santé redoutée (risque mécanique, risque de choc électrique, etc.). Nous précisons que le phénomène est potentiellement dangereux parce que la possibilité de provoquer un risque existe toujours et ceci en lien avec les autres facteurs (cf. § 3.6.9). Le phénomène potentiellement dangereux peut être le mouvement des pignons, des lames, le déplacement d'une masse, le courant, une matière toxique, de l'énergie. Ces phénomènes peuvent successivement causer les risques d'écrasement ou entraînement, de coupure ou sectionnement, d'écrasement ou cisaillement, de choc électrique, toxique, de brûlure. Nous distinguons le phénomène dangereux du risque qui sera présenté dans le paragraphe suivant.

3.6.8.2. Concept

Le concept « Phénomène dangereux » est représenté par la classe Phénomène dangereux et ses relations. Il est caractérisé par les attributs et relations suivants (Figure 3.16) :

Nom de phénomène : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères

Nature : cet attribut représente la nature du phénomène dangereux (mécanique électrique, chimique, thermique, etc.).

Ressource : cet attribut représente l'origine de ce phénomène dangereux. Cette ressource peut être une solution technique ou un outil et même un consommable. Il prend ses valeurs dans les concepts « Solution technique » et/ou « Auxiliaire ».

Paramètre de phénomène dangereux : cet attribut représente les spécifications quantitatives relatives à la description du phénomène potentiellement dangereux objet de la conception. Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre » (cf. § 3.5.1).

Description de phénomène dangereux : cet attribut représente les spécifications qualitatives attachées au phénomène potentiellement dangereux et par cet attribut est spécifiée la caractérisation de ce phénomène. Il prend ses valeurs dans le concept « Description » (cf. § 3.5.2).

Auxiliaire : représente les outils et/ou les consommables qui causent le phénomène dangereux lors de leur utilisation par l'opérateur pour réaliser sa ou ses tâches. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire ».

Zone dangereuse : représente la zone dangereuse engendrée par le phénomène dangereux au risque duquel l'opérateur est susceptible d'être exposé. Il prend ses valeurs dans le concept « Zone dangereuse » (cf. § 3.6.10).

La relation ternaire entre les concepts « Phénomène potentiellement dangereux », « Auxiliaire » et « Zone dangereuse » permet de bien déterminer qu'une zone dangereuse autour d'un phénomène potentiellement dangereux concerne la ressource de ce phénomène.

Dans la Figure 3.16 la ressource est l'auxiliaire et elle peut être la solution technique (cf. § 3.6.4).

Risque : cet attribut représente les différents risques engendrés par le phénomène dangereux. Il prend ses valeurs dans le concept « Risque » qui est développé dans le paragraphe suivant. En fait, lorsque l'opérateur intervient sur le système à proximité d'un phénomène dangereux ; c'est-à-dire dans la zone dangereuse qui entoure ce phénomène, il est exposé à un ou plusieurs risques liés à ce phénomène. C'est, pour cela, que nous ajoutons le concept « Risque ».

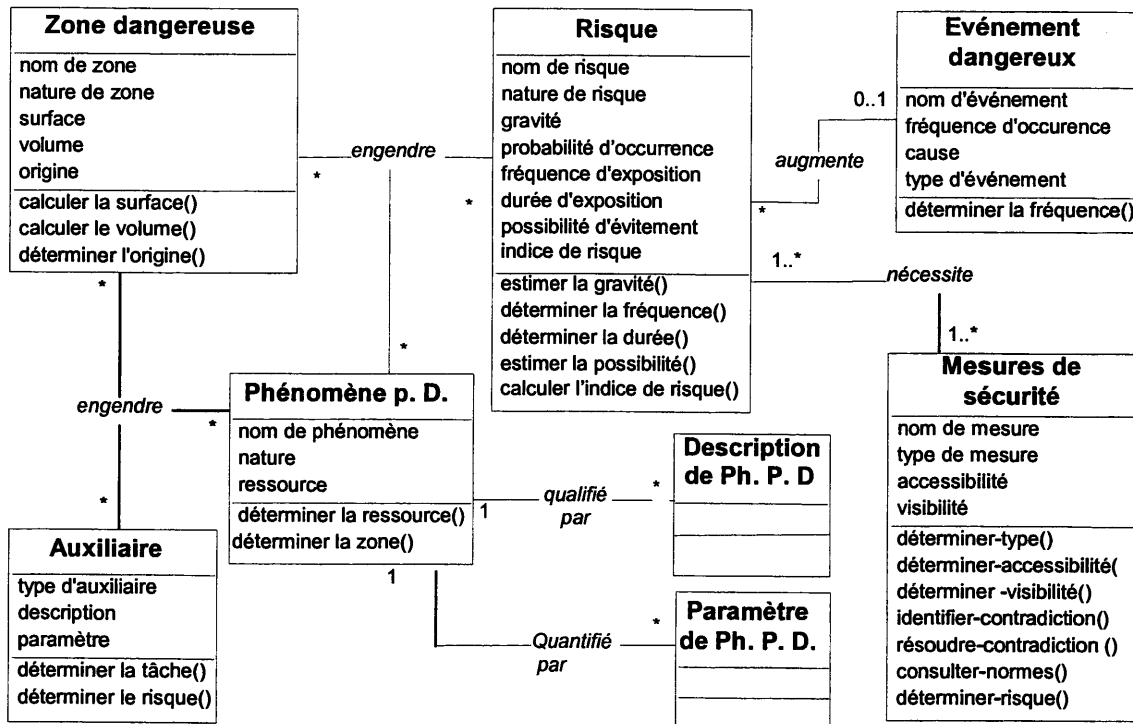


Figure 3.16 : Les concepts « Phénomène P. D. » et « Risque », leurs attributs et relations

En fait, lorsque le choix de la solution technique impose l'existence d'un phénomène potentiellement dangereux, cela veut dire que la prévention intrinsèque est impossible et qu'il y a un risque résiduel dans la situation. Pour clarifier cela nous développons le concept de risque dans le paragraphe suivant.

3.6.9. Concept « Risque »

3.6.9.1. Définition

Selon Hachette le mot risque est défini comme le danger que l'on peut plus ou moins prévoir. Or, le danger est ce qui expose à un mal quelconque, ce qui peut compromettre la sécurité ou l'existence de quelqu'un, de quelque chose. Au sens de la protection de l'environnement, le risque est la probabilité d'apparition d'effets défavorables ou indésirables résultant d'une exposition donnée à un ou plusieurs polluants ou nuisances pris isolément ou en combinaison.

D'un autre côté, le risque accidentel est défini par la potentialité d'accident. Prévention technique des accidents pouvant survenir du fait des risques mécaniques et thermiques engendrés par les machines et les appareils. Un risque peut être caractérisé : soit par un phénomène physique dangereux, se manifestant en permanence (rotation d'une lame de scie, etc.), existant en puissance (risque de démarrage intempestif, risque d'éclatement, soit par les effets habituels de ce phénomène (risque d'écrasement, risque de surdité, etc.) [Dictionnaire].

La notion de risque s'entend au niveau matériel et situationnel ; les typologies de risque, leur graduation et la chaîne des événements conduisant à l'accident ont déjà été définis dont certains au niveau des normes [Norme 1997a]. Pour [Sourisse & al 1996] *un risque est la mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement et une mesure de ses effets (conséquences)*. En fait, les risques peuvent induire des effets directs et provoquer, dans ce cas, des blessures physiques ou même des décès, des dégradations morales, etc. Mais les risques induisent aussi des effets indirects : pertes d'exploitation, conséquences sociales, impact commercial, etc. Nous nous focalisons dans nos travaux sur les effets directs.

Nous adoptons la définition suivante : le risque caractérise toute cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé de l'utilisateur ou même d'un tiers passant dans la zone de la situation de travail. Le risque est la combinaison de la gravité du dommage et de la probabilité de son occurrence pouvant survenir dans une situation dangereuse [Norme 1997a] (cf. § 2.7.3).

3.6.9.2. Concept

Ce concept est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.16) :

Nom de risque : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Nature de risque : cet attribut représente la nature du risque (électrique, mécanique, thermique, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Point de vue ».

Gravité : représente la grandeur caractérisant l'ampleur de ses conséquences. Cette grandeur ne peut être a priori calculée et encore moins mesurée, mais elle peut être estimée par un indice.

La probabilité d'occurrence du dommage : peut être estimée en prenant en compte la fréquence d'exposition, la durée d'exposition, le nombre d'utilisateurs devant accéder dans la zone dangereuse et la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux.

Fréquence d'exposition : cet attribut représente le nombre de fois où l'utilisateur accède à la zone dangereuse pour effectuer une tâche.

Durée d'exposition : cet attribut représente le temps passé dans la zone dangereuse. Il prend ses valeurs dans le concept « Tâche ».

Possibilité d'évitement : représente pour l'opérateur la possibilité d'éviter le dommage. Elle dépend de l'emplacement de l'opérateur et de la vitesse d'apparition de l'évènement dangereux.

Nombre d'utilisateurs : cet attribut représente le nombre d'utilisateurs devant pénétrer dans la zone dangereuse pour réaliser une tâche demandée. Il prend ses valeurs dans le concept « Équipe de travail ».

Indice de risque : cet attribut permet de prendre en compte les différents attributs cités avant et présente la relation entre eux dans l'objectif de donner les résultats de l'estimation et l'évaluation des risques.

Mesures de sécurité : représente les moyens à mettre en œuvre pour éviter l'exposition de l'opérateur à des phénomènes dangereux. Il prend ses valeurs dans le concept « Mesures de sécurité ».

Auxiliaire : cet attribut représente les outils et/ou consommables utilisés et qui peuvent présenter un risque pour l'utilisateur. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire ».

Zone dangereuse : représente l'espace géométrique qui délimite le phénomène dangereux et dans lequel un risque ou une atteinte à la santé de l'opérateur ou d'un tiers peut survenir. Il prend ses valeurs dans le concept « Zone dangereuse » qui est présenté en détail dans le paragraphe 3.6.10.

Événement dangereux : cet attribut représente la cause susceptible de faire survenir un risque. Il prend ses valeurs dans le concept « Événement dangereux ».

3.6.10. Concept « Zone dangereuse »

3.6.10.1. Définition

Normalement, le phénomène potentiellement dangereux est délimité selon sa nature dans une zone. Cette zone se différencie en surface ou volume selon le ou les phénomènes à l'intérieur de cette zone. En fait, selon Hachette, la zone est une étendue déterminée de terrain, portion de territoire. Au sens de la sécurité, la zone dangereuse est définie par la phrase suivante : au voisinage d'un mécanisme, est dite dangereuse toute zone dans laquelle la présence d'une personne (ou d'une partie de son corps ou de son vêtement) expose cette personne à un risque mécanique ou thermique.

La notion de zone dangereuse n'a de valeur, en toute rigueur, que dans les conditions normales de fonctionnement d'une machine (marche normale en période de production) et lors des interventions qui n'ont pas été précédées de la consignation de la machine. En supprimant toute possibilité de fonctionnement d'une machine, la consignation a pour effet de faire disparaître le caractère dangereux de tous ses mécanismes [Dictionnaire].

Ce concept définit toute zone à l'intérieur et/ou autour d'un système dans laquelle une personne est exposée à un risque de lésion ou d'atteinte à la santé. Ce concept définit le risque potentiel sur l'opérateur (écrasement, coupure, etc.). Cette zone est engendrée, dans une situation de travail, par un système ou un organe en train de réaliser une tâche ou tournant à vide. Elle possède une nature, un volume et une surface. Cette zone dangereuse nécessite la détermination de distances de sécurité. Par exemple, la norme NF EN 294 [Norme 1992] établit des valeurs de distances de sécurité empêchant l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs. Dans nos travaux, la zone dangereuse peut se situer à trois niveaux :

- Le niveau le plus fin c'est le niveau de la solution technique qui engendre un phénomène dangereux.
- Au niveau du système qui représente la dimension « assemblage » des solutions techniques. Dans ce niveau il est possible que les zones dangereuses définies dans le premier niveau soient modifiées ou même disparaissent (Figure 3.17).
- Au niveau de la situation de travail : dans ce niveau la zone n'existe pas avant l'installation du système mais résulte de l'intégration de ce système sur le site d'utilisation (par exemple, l'installation d'un organe mobile à proximité d'un mur ou d'autre système qui crée une zone dangereuse du fait du risque de coincement entre les deux systèmes ou entre l'organe mobile et le mur) (Figure 3.18).

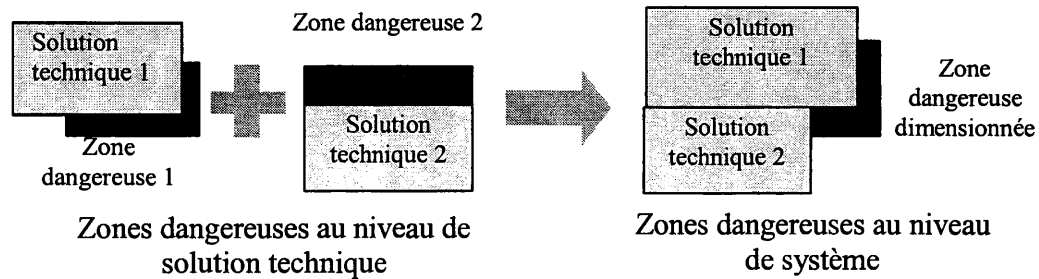


Figure 3.17 : Les zone dangereuses dimensionnées au niveau système

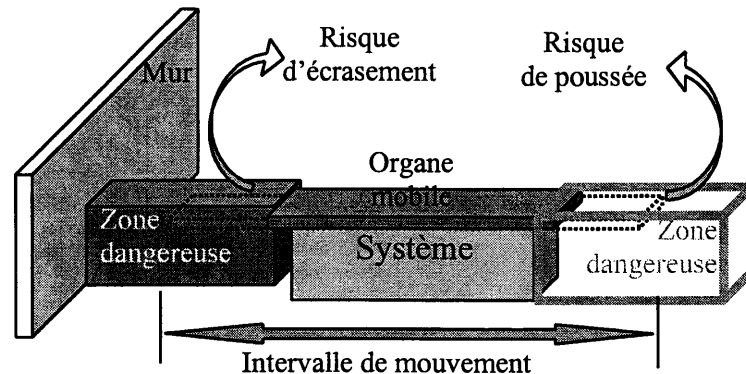


Figure 3.18 : La zone dangereuse dans la situation de travail

3.6.10.2. Concept

Ce concept est caractérisé par les attributs (Figure 3.19) :

Nom de zone dangereuse : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Nature de zone dangereuse : cet attribut représente la nature de la zone dangereuse (mécanique, électrique, toxique, etc.). Il prend ses valeurs dans le concept « Point de vue ».

Surface de zone dangereuse : cet attribut représente la surface de la zone dangereuse objet de la conception.

Volume de zone dangereuse : cet attribut représente le volume de la zone dangereuse objet de la conception.

Origine : cet attribut permet de déterminer l'origine de la zone dangereuse objet de la conception. Normalement l'origine de la zone dangereuse est un phénomène dangereux qui résulte d'une solution technique ou des auxiliaires. Et c'est possible qu'il soit un résultat de l'installation du système dans des locaux chez l'utilisateur. Il prend ces valeurs dans les concepts « Solution technique », « Auxiliaire », « Environnement ».

Auxiliaire : représente les consommables et/ou les outils qui peuvent engendrer une zone dangereuse lors de leur utilisation. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire ».

Descriptions de zone dangereuse : cet attribut représente les spécifications qualitatives attachées à la zone dangereuse. Il prend ses valeurs dans le concept « Description ».

Paramètres de zone dangereuse : représente les paramètres quantitatifs de cette zone dangereuse de différents points de vue (taille, distance de sécurité). Il prend ses valeurs dans le concept « Paramètre ».

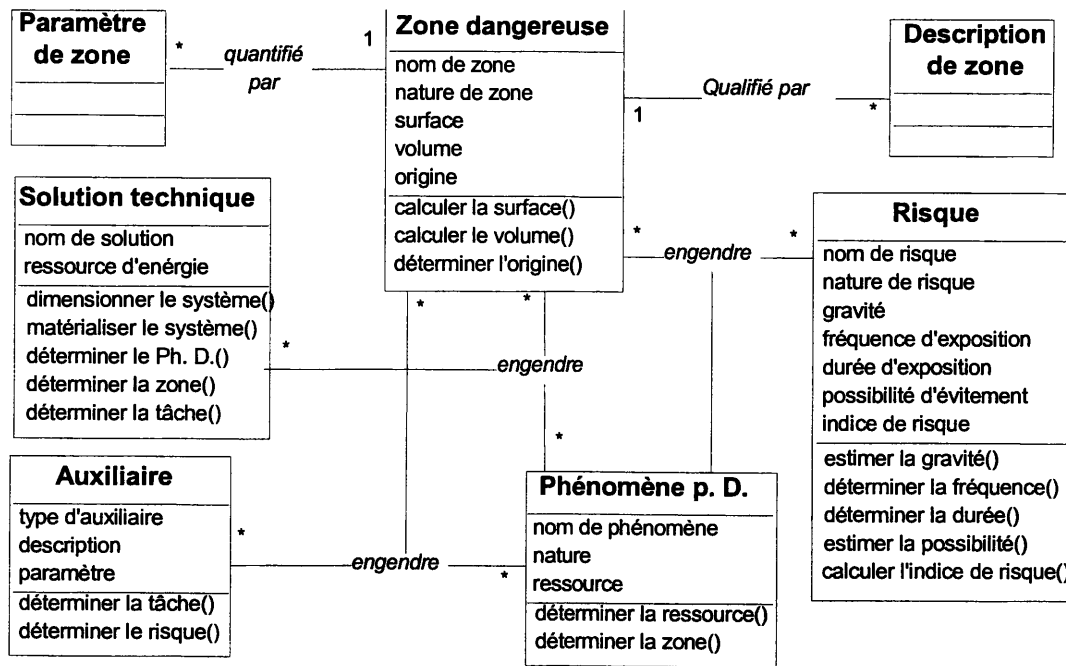


Figure 3.19 : Le concept « Zone dangereuse » et ses attributs et relations

Dans cette figure, nous remarquons l’existence de trois relations ternaires. La première entre les concepts « Phénomène, Solution et Zone » est déjà présentée dans le paragraphe 3.6.4.2. La deuxième entre les concepts « Zone, Auxiliaire et Phénomène » permet de déterminer que si un auxiliaire est la cause d’un phénomène dangereux et si ceci engendre une zone dangereuse, alors, cette zone est engendrée par cet auxiliaire. La troisième entre les concepts « Phénomène, Risque et Zone » permet de déterminer que si un phénomène est la cause d’une zone et que l’intervention dans cette zone cause un risque, alors, ce dernier est causé par ce même phénomène.

3.6.11. Concept « Mesures de sécurité »

3.6.11.1. Définition

Le risque résiduel résultant de l’intervention de l’équipe de travail dans la zone dangereuse exige l’existence de mesures de sécurité. Selon Hachette, le terme mesure présente un moyen que l’on se donne pour obtenir quelque chose et le terme sécurité la situation dans laquelle aucun danger n’est à redouter. Au sens de la sécurité, une mesure¹ de sécurité correspond à toute mesure ou précaution prise pour prévenir les accidents du travail. En informatique, c’est un moyen concret qui assure, partiellement ou totalement, la protection des biens informatiques contre une ou plusieurs menaces informatiques, et dont la mise en œuvre vise à amoindrir la probabilité de survenance de ces menaces ou à minimiser les pertes qui en résultent. Ces mesures sont de plus en plus critiques à cause de l’informatisation et de l’automatisation croissantes des systèmes de production automatisés.

En fait, ces mesures de sécurité peuvent être :

- Une prévention intrinsèque qui consiste à éviter ou réduire autant de phénomènes dangereux que possible en choisissant convenablement certaines caractéristiques de conception. Et limiter l’exposition des personnes aux phénomènes dangereux inévitables ou qui ne peuvent être suffisamment réduits. Ceci s’obtient en réduisant

¹ Dans la langue courante, l’expression « Mesures de sécurité » est habituellement utilisée au pluriel.

l'intervention de l'opérateur dans les zones potentiellement dangereuses [Norme 1991]. Ceci s'applique dans le modèle lors du choix de la solution technique (Figure 3.12),

- Une protection qui consiste en l'emploi de moyens techniques spécifiques, appelés protecteurs et dispositifs de protection, afin de protéger les personnes [Norme 1991]. Dans ce cas, les mesures de sécurité seront des organes du système dont la conception est réalisée de la même manière que d'autres sous systèmes (Figure 3.20),
- Des consignes et procédures de travail, dans l'objectif de réaliser l'intervention de l'opérateur lors de l'arrêt de système, en appliquant les notions de séparation dans le temps, l'espace, etc. (cf. chapitre 6). Ces procédures sont des séquences de tâches à réaliser par l'opérateur. Elles peuvent être traitées comme les tâches puisque ce sont des spécifications des tâches d'utilisation du système (Figure 3.20),
- Une information pour l'utilisation qui consiste en des messages tels que des textes, des mots, des signes, des signaux, des symboles ou des diagrammes, utilisés séparément ou associés entre eux [Norme 1991].

3.6.11.2. Concept

Ce concept représente les moyens à mettre en œuvre dans le système (moyens de protection comme les barrières, les portes, etc.) ou dans la situation de travail (moyens de prévention complémentaires pour le personnel comme les bouchons d'oreilles, lunettes, etc.) pour éviter l'exposition de l'opérateur à des phénomènes dangereux. Il est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.16 ; Figure 3.20) :

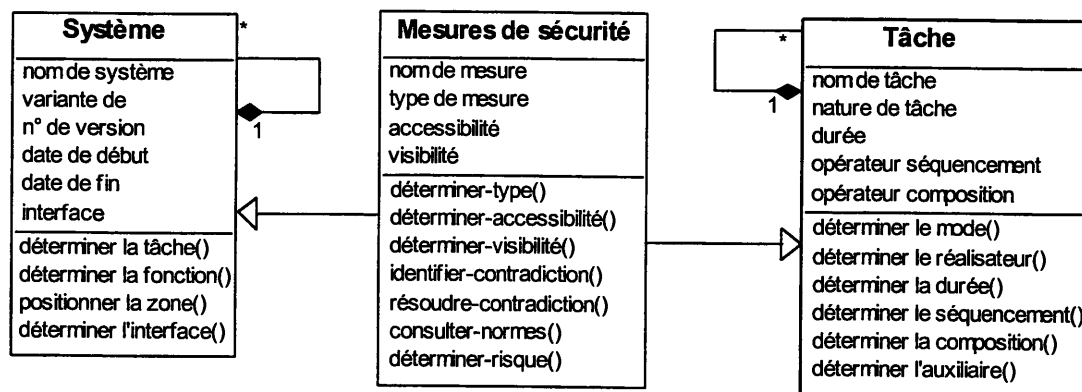


Figure 3.20 : Le concept « Mesures de sécurité » et ses attributs et relations

Nom de mesure : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères.

Type de mesure : cet attribut permet de déterminer si les mesures de sécurité sont des protecteurs, (ex. capteur de mouvement, barrière, protecteur [Norme 1997b] : fixe, mobile avec verrouillage, réglable, etc.) des consignes ou des procédures à réaliser.

Accessibilité : cet attribut représente la nécessité d'avoir des accès sur le système de manière à permettre les interventions courantes de réglage, de graissage et de maintenance [Norme 1997b]. Ces accès doivent permettre à l'opérateur de réaliser sa tâche sans risque d'atteinte à la santé.

Visibilité : cet attribut représente la nécessité de concevoir et construire les mesures de sécurité de manière à offrir une bonne visibilité du processus, pour réduire autant que possible les nécessités de démontage. La visibilité de la machine a été définie dans [Norme 1997b] par : *Si le fonctionnement du système doit être visible à travers le protecteur, des matériaux*

présentant des propriétés adéquates doivent être sélectionnés. Cette visibilité doit aussi être vérifiée par contrôle visuel dans les conditions normales d'utilisation.

La prise en compte assez tôt de ces mesures de sécurité permet au concepteur de bien choisir ces mesures. En fait, une mesure de sécurité inappropriée peut causer des problèmes de visibilité et d'accessibilité. Ceci gêne l'opérateur et l'encourage à neutraliser ces mesures de sécurité. Le choix d'une mesure de sécurité pour chaque solution technique choisie permet d'avoir une meilleure intégration des solutions techniques et des sous systèmes lors de l'assemblage et le montage du système sujet de la conception.

3.6.12. Concept « Événement dangereux »

3.6.12.1. Définition

Lors de l'utilisation du système conçu, il est possible que ce système soit défaillant ou que l'opérateur déclenche un événement indésirable. Ce dernier peut provoquer un incident/accident ou augmenter le risque d'atteinte à la santé de l'opérateur. L'événement est défini comme toute chose (acte, message, signal, stimulus, etc.) qui survient à un temps donné dans la vie d'un système, qui est susceptible d'induire un changement et qui n'a pas de durée.

En fait, l'événement dangereux, indésirable, initiateur ou même critique relève du même concept mais change selon la référence. L'événement critique présenté dans le processus accidentel (cf. § 2.6.3) indique l'événement dangereux présenté dans ce paragraphe. Cet événement se situe à la dernière étape précédant la survenue de l'incident/accident [Jouffroy 1999]. Ces événements sont susceptibles de survenir fortuitement ou non dans la situation de travail, du fait des utilisateurs ou du système ou de tiers. En fait, ce concept joue un rôle important dans le retour d'expérience parce qu'il permet de déterminer les risques potentiels dans le système et la situation de travail. Il peut être aussi une activité faite par l'opérateur dans l'objectif de réaliser une tâche. Cette activité peut être non prévue par le concepteur et refléter un mauvais jugement de l'opérateur. Ceci peut conduire à un incident ou même un accident.

3.6.12.2. Concept

Ce concept est caractérisé par les attributs suivants (Figure 3.21) :

Nom d'événement : c'est un attribut valué sous forme de chaîne de caractères ;

Fréquence d'occurrence : cet attribut représente la probabilité d'occurrence de l'événement.

Cause : cet attribut représente les causes de cet événement (huile par terre, pas de maintenance préventive).

Type d'événement : cet attribut représente la nature de cet événement (technique, organisationnelle, humaine). Cet attribut peut prendre ses valeurs dans un des concepts suivants : « Système », « Équipe de travail », « Situation de travail ».

Auxiliaire : cet attribut représente si un auxiliaire (outil et/ou consommable) est la cause de l'événement dangereux sujet de l'étude. Il prend ses valeurs dans le concept « Auxiliaire ».

Équipe de travail : cet attribut permet de décrire le fait que l'événement dangereux est induit par l'équipe de travail à partir d'une erreur (on ne déclinera pas ici les typologies d'erreurs, largement étudiées en psycho-ergonomie) ou une non-application des consignes préconisées par le concepteur ou la réglementation.

Les relations entre ce concept et les concepts « Situation de travail, Système, Risque » sont présentées dans les (Figure 3.10 ; Figure 3.11 ; Figure 3.16).

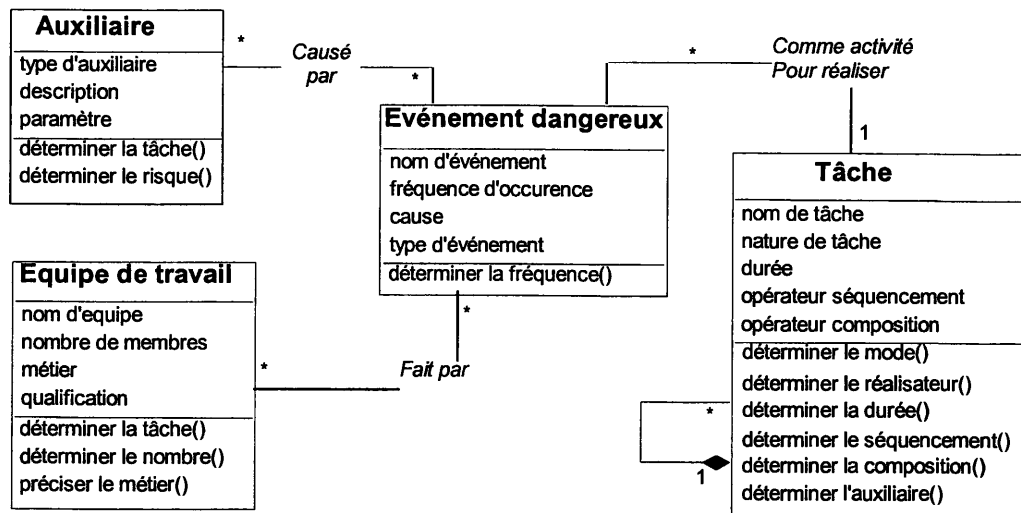


Figure 3.21 : Le concept « Événement dangereux » et ses attributs et relations.

3.7. Vue globale du modèle de la situation de travail

Le modèle proposé est un modèle conceptuel de données. Il permet de prendre en compte les informations et les éléments liés à la situation dans laquelle le système va être exploité. En plus, ce modèle constitue une base pour enregistrer l'histoire du processus de conception et toutes les modifications apportées au système lors de sa conception. Enfin, il permet la réutilisation des informations capitalisées pour des conceptions ultérieures.

La Figure 3.22 présente une vue globale du modèle proposé dans ce chapitre. C'est une présentation statique réalisée par la méthode de modélisation UML. Pour des raisons de clarté et de simplicité de présentation, nous n'avons pas fait figurer les relations entre les concepts « Paramètre » et « Description » et le reste des concepts, parce que toutes les classes du modèle ont des relations avec ces deux concepts. Ce modèle conceptuel de données est la base d'une maquette informatique qui permet de prendre en compte tous les métiers de la conception au bon moment (cf. chapitre 6). Le point de vue dynamique sera le sujet du chapitre 4. Les traitements relatifs à la résolution des problèmes de contradictions liées à l'intégration de la sécurité sont présentés dans le chapitre 5.

3.8. Conclusion chapitre 3

Dans ce chapitre, nous avons présenté et justifié les fondements conceptuels et la structure du modèle. Dans un premier temps, nous avons présenté les concepts généraux (paramètre, description, point de vue). Dans la suite, nous avons présenté les concepts dans la logique suivante ; dans la situation de travail, le système remplit une fonction. La fonction se base sur des solutions techniques et est satisfaite par la réalisation des tâches. Ces tâches nécessitent des auxiliaires et peuvent être réalisées par une équipe de travail. Par ailleurs, les solutions techniques sont sources de phénomènes dangereux qui engendrent des risques dans les zones dangereuses. L'existence de risque implique de prendre des mesures de sécurité. Enfin, un événement dangereux peut déclencher un accident et influence directement l'indice de risque.

Cette description structurelle du modèle ne permet pas à ce stade de voir comment ce modèle peut être utilisé. Dans le chapitre suivant nous présentons une approche de l'utilisation de ce modèle [Hasan & al 2002b].

4. Chapitre 4

Nouvelle approche de conception

Table des matières du chapitre 4

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 4	109
4.1. INTRODUCTION	111
4.2. HYPOTHESES.....	112
4.3. DOMAINE D'UTILISATION DU MODELE	113
4.4. CONCEPTS PRINCIPAUX	114
4.4.1. <i>La situation de travail dans l'échelle de temps</i>	115
4.4.2. <i>La tâche prescrite et la tâche réelle dans la situation de travail</i>	115
4.4.3. <i>Présentation de la dynamique de la situation de travail</i>	117
4.5. LES METIERS AGISSANT DANS LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT	120
4.5.1. <i>L'interaction dans le processus de conception actuel</i>	121
4.5.2. <i>Remarques</i>	123
4.6. LA DYNAMIQUE D'UTILISATION DU MODELE.....	124
4.6.1. <i>Objectifs</i>	124
4.6.2. <i>Au niveau de l'acteur métier</i>	125
4.6.2.1. Les opérations propres à chaque classe.....	125
4.6.2.2. Les opérations liées aux autres classes.....	126
4.6.3. <i>Au niveau du processus de conception</i>	127
4.7. SCENARI D'UTILISATION DU MODELE.....	129
4.7.1. <i>Lors d'une conception générale</i>	129
4.7.2. <i>Lors de retour de terrain</i>	132
4.8. L'APPROCHE ADOPTEE	134
4.9. CONCLUSION CHAPITRE 4.....	136

4.1. Introduction

Dans les méthodes traditionnelles de conception séquentielle ou même simultanée, les différents métiers travaillent en chevauchement et ont du mal à communiquer. En outre, la sécurité est généralement prise en compte en fin de cycle de développement voire même lors de l'installation du système sur le site d'utilisation (cf. §§ 2.2.2 & 2.2.3). Dans ce chapitre, nous proposons une nouvelle approche de conception dans l'objectif d'intégrer correctement tous les facteurs liés aux contextes de l'utilisation réelle d'un système de production [Hasan & al 2001c ; Hasan & al 2002b]. Cette approche se base sur l'utilisation du modèle proposé dans le chapitre 3.

Une méthode de conception est nécessairement attachée à un modèle conceptuel de données. Elle définit un ensemble de règles opératoires régissant le processus de conception. Le rôle principal d'une méthode est donc la recherche puis la construction et la représentation d'une solution cohérente et fiable à un problème donné. Un outil logiciel associé à une méthode facilite sa mise en œuvre et apporte une assistance aux utilisateurs [Ayache & al 1996]. Or, chaque fois qu'il y a une fonction à réaliser nous devons poser les questions suivantes :

- Quels sont les concepteurs qui ont la compétence nécessaire pour tel type de fonction ?
- Quelles sont les spécifications et les données initiales relatives à cette fonction ?
- Quelles sont les décisions qui ont été prises dans les conceptions ultérieures semblables ? Celles à prendre pour cette nouvelle fonction ?
- Quels sont les moyens de communication d'information pour accélérer la prise de décision ?
- Quelles sont les solutions alternatives envisageables avant de prendre une décision ?
- Quelles sont les conséquences d'une modification sur la fonction considérée ?
- Peut-on utiliser une solution antérieure pour la nouvelle fonction ?
- Quelles sont les ressources utilisées pour stocker les informations, et les historiques de conception ?

Les outils de CAO et les objets intermédiaires de conception [Blanco 1998] ne permettent de répondre que très partiellement à ces questions. Les premiers, parce qu'il ne fournissent qu'une représentation géométrique et les deuxièmes, car ils sont difficilement interprétables et le plus souvent volatiles. Dans cette approche, nous proposons une méthode de conception fondée sur le modèle proposé et permettant de répondre à toutes ces questions ; il s'agit d'une nouvelle façon de travailler en équipe, en communication permanente, assurée par l'utilisation d'un outil informatique, basée sur le modèle proposé précédemment. Cette approche fournit les moyens pour intégrer les paramètres liés à la sécurité dans le processus de conception au bon moment. Nous n'imposons pas de méthodes ou d'outils particuliers pour la détermination de ces paramètres, mais laissons le choix au concepteur de l'outil ou la méthode qui lui conviennent le mieux pour, par exemple, calculer un paramètre, estimer un risque ou déterminer une zone dangereuse. Le dimensionnement des paramètres du système peut être également réalisé de plusieurs façons. Par exemple, nous indiquons l'existence potentielle de risques ou de phénomènes dangereux liés à la solution technique sans imposer de méthodes particulières d'estimation et d'évaluation des risques.

Dans la suite, de ce chapitre, nous cherchons à montrer la possibilité de prendre en compte les éléments de la situation de travail en proposant des scénarii différents d'utilisation de ce

modèle. Ces scenarii, représentant l'aspect dynamique lié à l'utilisation du modèle, se différencient selon les problèmes posés, les données disponibles, et l'acteur utilisateur de ce modèle. Dans cette approche, nous prenons en compte trois niveaux de points de vue dynamique de ce modèle :

- La dynamique de la situation de travail elle-même sur le site d'utilisation. Ceci se traduit par la possibilité du modèle de représenter la dynamique de la situation de travail réelle par le concept « Tâche » (cf. § 4.4.2).
- La dynamique d'utilisation du modèle et des différentes classes. Ce niveau concerne le concepteur qui va réaliser sa tâche de conception pour remplir une fonction demandée (cf. § 4.6.2).
- La dynamique de progression, d'avancement et de communication entre les acteurs tout au long du déroulement d'un projet de conception. Ce niveau concerne principalement la collaboration entre ces acteurs et permet au chef de projet de suivre leur avancements, d'intervenir de façon efficace le plus tôt possible (cf. § 4.6.3).

Ainsi, ces différents niveaux de dynamique du modèle concernent potentiellement tous les métiers qui agissent dans le cycle de vie du système.

4.2. Hypothèses

Dans la suite, nous précisons le domaine et les limites de nos études sur le processus de conception et, d'une manière globale, sur les éléments de base de l'approche de conception que nous proposons :

- Dans ces travaux, nous traitons la gestion de projet seulement sur deux points. Normalement, la gestion de projet recouvre différents aspects tels que la planification, le suivi de son évolution, la vérification de sa cohérence et la gestion de conflits entre les acteurs et leurs tâches. Notre apport ne porte que sur les deux derniers (vérification de cohérence et gestion de conflit). Ceci est illustré au niveau de l'application présentée dans le chapitre 6.
- L'approche de conception que nous proposons peut-être mise en œuvre aussi bien dans le cadre de la conception routinière que pour les autres types de conception (innovatrice et créatrice).
- Pour les besoins de modélisation du système socio-technique, nous exploitons certains concepts du modèle générique proposé par Harani (système = produit, paramètre, description, etc.) et nous proposons des extensions pour représenter le modèle de situation de travail qui intègre la dimension humaine, le contexte d'utilisation du système et les paramètres de sécurité liés à cette utilisation.
- Nous adoptons les fondements de base (objectif, action, alternative, justification) du modèle de processus de conception proposé par Ouazzani auquel nous apportons quelques améliorations (cf. § 4.8). Nous intégrons ces concepts élémentaires pour la construction et l'utilisation du modèle de situation de travail.
- Au niveau de la dynamique de la situation de travail : les tâches sont caractérisées par des attributs correspondant aux diagrammes proposés par Harani où les états d'une tâche peuvent être : inactif, actif, suspendu, en attente de la fin de sous-tâches, terminé, abandonné. Le passage d'un état vers un autre se fait par un graphe de type état - transition.

- Au niveau de la dynamique du processus de conception : nous référençons les événements intermédiaires du processus de conception en lien avec la notion d'état [Vargas 1995]. Or, à un instant donné du processus, des attributs dynamiques sont associés aux tâches du concepteur et aux méthodes de projet (à exécuter, exécutée, obligatoire, interdite, etc.). Le passage d'un état vers un autre se fait également par un graphe de type état – transition [Ouazzani 1999].

4.3. Domaine d'utilisation du modèle

Notre contribution est relative à la proposition d'un modèle et d'une approche qui, tout en contribuant à la conception d'une meilleure sécurité pour l'opérateur, améliorent la productivité et la fiabilité du système de production. Ceci est, en particulier, favorisé par la prise en compte de différents facteurs liés aussi bien au système qu'à l'équipe de travail et à leurs relations [Hasan & al 2001c]. Ainsi, notre modèle a été structuré de façon à pouvoir :

- Permettre la définition du système dans sa situation de travail dès les premières phases de la conception par extraction dans le cahier des charges de toutes les informations relatives à la spécification du système. Or, le plus souvent, le cahier des charges contient les spécifications propres au système et ne se traduit pas explicitement en termes de situation de travail dans laquelle le système doit fonctionner tout au long de sa vie. Notre approche amène le concepteur à déterminer dès le début du projet des spécifications liées à l'environnement, à l'équipe de travail, et d'une manière générale tous les éléments de la situation que nous allons présenter dans les paragraphes suivants.
- Enrichir cette description initiale au fur et à mesure de la conception pour parvenir à une spécification complète de la situation de travail du système, quelque soit la phase de son cycle de vie.
- Conserver l'historique du cycle de développement de chaque système conçu pour permettre une future utilisation ou une simple consultation. L'historique de conception est représenté sous forme d'état d'avancement de la réalisation des objectifs (fonctions) et des prises de décisions justifiées tout au long du cycle de développement du système. Parmi les approches les plus récentes et les plus pertinentes, nos analyses nous ont amenés à adopter la méthode SAGEP (Système d'Aide à la GEstion du Processus de conception) proposée par Ouazzani [Ouazzani 1999] (cf. § 4.8).
- Permettre la capitalisation des retours d'expérience de façon systématique pour faciliter l'intégration des informations recueillies chez l'utilisateur dans les versions suivantes du système. En effet, le modèle de situation de travail proposé peut être utilisé pour représenter l'utilisation réelle du système dans son contexte industriel.

Bien que destinés à la conception des systèmes complexes nécessitant des interventions humaines, les outils informatiques de l'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) ne prennent pas en compte ces notions. Par exemple, [Robcad ; Delmia] intègrent des aspects liés à l'ergonomie de travail au sens confort (simulation au terme d'atteignabilité, du trajet, etc.) de l'opérateur et non pas au sens risque d'atteinte à la santé. Ainsi et selon [Dassault système], l'outil de simulation d'opérateurs humains ERGO, dans le logiciel de Simulation 3D, DELMIA, permet de générer rapidement des mouvements humains appliqués à des mannequins virtuels, et d'effectuer un certain nombre d'analyses. Ceci permet de concevoir un environnement de travail, qui sera amélioré en terme d'accessibilité, de faisabilité vis à vis de l'effort et de la fatigue, de diminution du temps et du coût de conception en éliminant le prototype physique. Les outils de l'IAO offrent une aide à la conception en permettant de comparer rapidement différentes solutions sur des maquettes numériques. Mais cette aide

reste restreinte comme nous l'avons montré dans le paragraphe 2.7.1. En particulier, les différentes phases d'utilisation du système et les caractéristiques de la relation Homme-Système ne sont pas supportées dans ces environnements logiciels à finalités d'analyse essentiellement géométriques, cinématiques et d'effort.

Or, si l'on souhaite être en mesure d'apporter une amélioration des approches de conception des systèmes socio-techniques, il est indispensable de pouvoir relier les aspects structurels et fonctionnels du système avec les éléments concernant les aspects dynamiques de sa mise en œuvre. En particulier, notre analyse des modes de fonctionnement du système et des interactions entre le système et l'opérateur nous a permis :

- D'identifier les lieux et moments où une intervention humaine est réalisée sur le système ; de s'interroger sur la potentialité de zone dangereuse et d'atteinte à la santé de l'opérateur.
- De distinguer les différents modes de fonctionnement du système (nominal, normal ou dégradé, etc.).
- De déterminer les modes d'intervention humaine (maintenance, réglage, contrôle, production, dépannage, etc.).
- De préciser les niveaux d'intervention lors de la réalisation des tâches prescrites (appuyer sur un bouton, changer un consommable usagé, etc.).
- D'identifier le partage des tâches entre le système technique et l'utilisateur (les fonctions et tâches réalisées par le système technique et celles prises en charge par les opérateurs).
- De préciser les natures des fonctions réalisées par les opérateurs (pénibles, dangereuses, etc.).
- De déterminer les outils et consommables nécessaires pour réaliser les tâches et remplir les fonctions.

Enfin, dans l'état actuel de notre apport, nous n'avons que partiellement intégré, dans le modèle proposé, les vues métiers concernant la réalisation du système (gammes de fabrication, etc.). Il nous semble également utile d'indiquer que certaines notions comme le retour d'expérience ou l'activité des opérateurs, ainsi que leur niveau d'intégration dans le modèle proposé, seront précisés dans la suite : pour l'activité de l'opérateur, lors de la présentation de la dynamique du concept « Tâche », pour le retour d'expérience lors de la présentation de l'approche nouvelle de conception que nous proposons.

4.4. Concepts principaux

Comme nous nous sommes employés à la montrer jusque là, le modèle proposé est cohérent par rapport à une approche de type conception intégrée, en ce sens qu'il permet la prise en compte de tous les métiers participant à la conception du système de production (mécanique, électrique, sécurité, etc.). Cette intégration de différents métiers doit être réalisée de façon cohérente et simultanée afin de ne rien oublier dès le début, toute correction ayant des conséquences en termes de temps et de coût. Ceci peut, par exemple, être réalisé par le rappel à chaque étape de conception des paramètres à prendre en compte, à calculer, à évaluer pour réaliser une étude de l'amélioration globale de la performance du système de production depuis sa conception, son intégration et son installation sur site. Le modèle peut aussi servir comme une source d'indicateurs et de concepts représentés par des entités et liés par des

relations. Ces indicateurs et concepts sont déployés et exploités au cours des étapes du processus de conception.

Si jusque là, nous nous sommes essentiellement attachés au modèle conceptuel de données, nous allons, dans la suite, montrer ce que notre contribution apporte pour la prise en compte des aspects dynamiques de la situation de travail.

4.4.1. La situation de travail dans l'échelle de temps

Dans le but de représenter le système socio-technique dans ses phases d'utilisation, le modèle présenté dans le chapitre 3 peut être instancié par un ensemble de situations de travail. Ces situations de travail caractérisent le système dans sa vie d'exploitation dans son contexte d'utilisation. Chaque instance représente, au travers d'un ensemble de tâches, activités, et modes d'intervention, une situation dans un intervalle de temps donné. Cet intervalle de temps est déterminé par le changement d'un des éléments de la situation. Par exemple, nous ne sommes plus dans la même instance de situation de travail lorsque l'équipe de travail est changée ou lorsque le système de travail est changé ou n'est plus dans le même mode d'intervention.

Par contre, le changement des autres éléments ne change pas l'instance de la situation elle-même, mais il change la valeur ou l'image de cette situation. Par exemple, à l'instant T_1 tous les éléments de la situation de travail ont des valeurs (l'opérateur X réalise la Tâche Y). L'ensemble de ces valeurs présente une image de la situation de travail. A l'instant T_2 des éléments de la situation prennent d'autres valeurs (l'opérateur X a fini la tâche Y et réalise la tâche Z) ce qui présente une autre image de la même situation de travail (Figure 4.1).

Ainsi, la vie du système peut être modélisée comme une suite ordonnée d'instances de situations de travail, chacune étant formée d'une suite ordonnée d'images de cette instance.

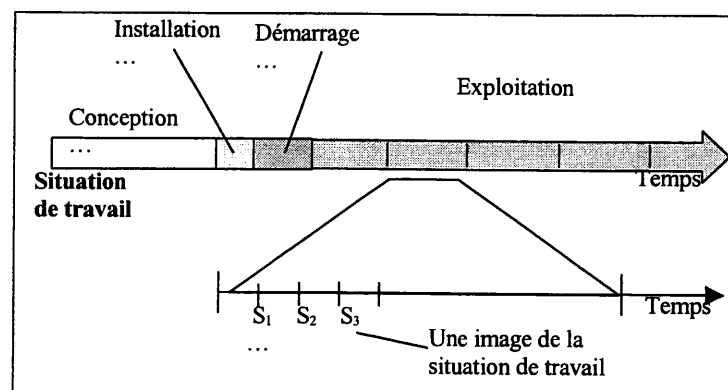


Figure 4.1 : L'instanciation de la notion : Situation de travail

La principale difficulté pour le concepteur réside en la représentation de la situation de travail lors de la conception qui consiste en l'imagination de l'utilisation du système dans son contexte. Dans ce travail, nous nous focalisons plus sur les phases d'exploitation du système que sur ses phases d'installation, de démarrage ou de démantèlement. Toutefois, le modèle, de par sa structure et la généricité de ses concepts, possède la capacité de prendre en compte toutes ces phases lors de la conception.

4.4.2. La tâche prescrite et la tâche réelle dans la situation de travail

Puisque la situation de travail représente les contextes d'utilisation du système de production et l'équipe de travail autour de ce système, il est nécessaire de faire participer dans le

processus de conception un agent utilisateur qui représente ce point de vue. Son rôle est important pour représenter la dynamique de cette situation, la manière dont l'opérateur réalise la tâche prescrite. Dans le modèle proposé, la dynamique de l'utilisation du système sur le terrain est prise en compte dans les notions de « Situation de travail » et de « Tâche » par les attributs « opérateur séquençement » et « opérateur composition ». L'opérateur de séquençement détermine la succession des tâches composites et l'ordre de leur réalisation. La durée d'une tâche est précisée par l'attribut durée. Ces tâches composites peuvent être décomposées par l'intermédiaire de l'opérateur de composition pour déterminer la hiérarchie de cette décomposition. On traduit, ainsi, qu'une tâche ne peut être réalisée que si toutes ses tâches élémentaires sont réalisées (cf. § 3.6.5).

D'un autre côté, la réalisation de la tâche prescrite change d'un opérateur à l'autre pour différentes raisons (raisonnement, expérience, capacité, force différente). En effet, Ceci justifie le fait que Ortiz Hernandez [Ortiz Hernandez 1995] distingue la tâche prescrite de la tâche réalisée. Les Tâches dans la situation de travail sont accomplies par le système ou l'équipe de travail. Le système assure les tâches techniques et l'équipe de travail réalise les tâches manuelles et les tâches de surveillance et de contrôle. Les activités nécessaires à la réalisation d'une tâche sont représentées au sein du concept de tâche par le fait que :

- Une tâche d'utilisation peut être décomposée en plusieurs tâches élémentaires qui ne peuvent être accomplies que d'une seule façon. C'est à dire qu'une seule activité est nécessaire pour réaliser cette tâche élémentaire.
- Les concepteurs n'étant pas capables d'évaluer les activités de l'équipe de travail dès la phase de conception, ils peuvent toutefois imaginer et spécifier les activités qu'ils préconisent pour accomplir chaque tâche.

Ainsi, lors de la conception le concepteur prescrit les tâches du système et celles de l'équipe de travail. Mais, en réalité et lors de l'utilisation du système, il arrive que pour plusieurs motifs et de sa propre initiative, l'opérateur accomplisse la tâche de façon différente.

Pour diminuer au minimum le décalage entre prescrit et réalisé, nous proposons de spécifier et de décomposer les tâches jusqu'au niveau duquel l'opérateur ne peut pas s'éloigner lors de la réalisation demandée pour une tâche prescrite (Figure 4.2).

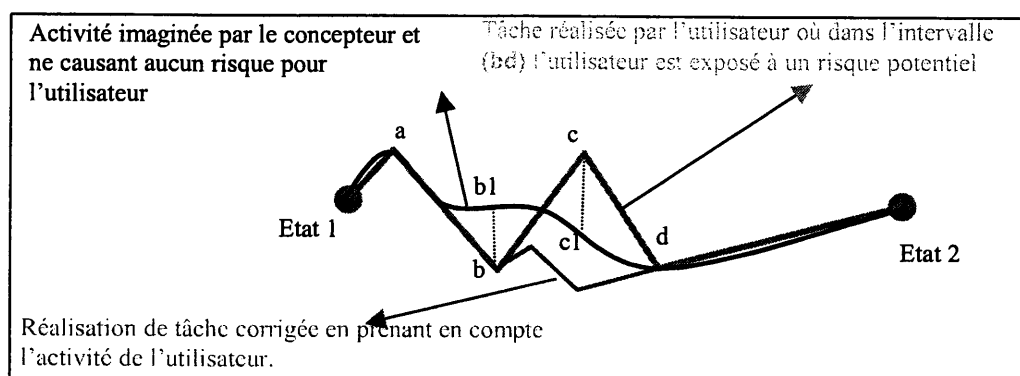


Figure 4.2 : Le décalage entre la tâche prescrite et sa réalisation [Hasan & al 2002b]

En modélisant de cette façon, une question importante peut toutefois se poser : jusqu'où le concepteur peut affiner la décomposition de tâche tout en laissant un peu de liberté à l'utilisateur ?

Dans la Figure 4.2, la tâche globale prescrite consiste à porter l'état du système de l'état1 à l'état 2. On voit dans cet exemple que, lors de la réalisation de la tâche, l'opérateur possède d'une certaine liberté d'action. Dans l'intervalle (bd) l'opérateur est exposé pendant un certain

temps à un risque potentiel. Dans ce cas, il est important que le concepteur puisse chercher à identifier les motifs qui conduisent l'opérateur à ne pas respecter les consignes prescrites. Ceci lui permet, ensuite, de rechercher les moyens d'amener l'opérateur à modifier son comportement dans la réalisation de la tâche prescrite. Pour cela, le concepteur peut décomposer la tâche globale en tâches élémentaires (état 1, a, b1, c1, d, état 2). Il supprime, si possible, la part d'activité de l'opérateur susceptible de causer un accident ou il précise le cheminement des activités de façon à prendre en compte le point de vue de l'utilisateur. Cette opportunité donnée au concepteur n'est possible que par le retour de l'information de terrain chez le concepteur. Un tel retour d'expérience lui permet de disposer d'images réelles de la situation de travail et favorise l'évaluation des écarts entre celles-ci et celles imaginées par le concepteur.

4.4.3. Présentation de la dynamique de la situation de travail

Un des points importants de notre approche repose sur la proposition de concepts permettant de représenter la dynamique de la situation de travail. Cette représentation permet d'illustrer les différentes images de la situation de travail. Or, la situation de travail repose sur la connaissance de l'ensemble du système, de l'équipe de travail et des conditions imposées par l'environnement. De plus, l'image de la situation de travail change, selon les tâches réalisées. Or, selon ces tâches le mode de fonctionnement ou d'intervention est déterminé. Les tâches d'utilisation dans la situation de travail sont :

- Soit réalisées par le système (automatisées et motorisées). Ce type de tâche appartient normalement à des modes de fonctionnement du système (normal, démarrage, arrêt du système, réglage, maintenance etc.). Ce type de tâche est souvent défini par les automaticiens en bureau d'études grâce à la programmation d'unités de commande.
- Soit réalisées par l'opérateur (manuelles). Ce type de tâche appartient à des modes d'intervention (réglage, maintenance, dépannage, contrôle, etc.).
- Soit réalisées par les deux (semi-automatiques). Ce type de tâche appartient aussi aux modes d'intervention de l'opérateur sur le système.

Nous classifions les tâches d'utilisation dans les différents modes de fonctionnement et d'intervention, afin de prendre en compte systématiquement ces modes lors de l'élaboration du manuel d'utilisation. D'un autre côté, ceci permet de faciliter le travail des concepteurs automaticiens et de simplifier la prise en compte de la dynamique dans la situation de travail réelle. En fait, le classement des tâches suivant ces trois types permet de déterminer les paramètres à calculer et les concepts à manipuler. Par exemple, si la tâche est motorisée c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'intervention humaine, le concepteur n'a besoin de déterminer (pour le mode de fonctionnement en production normale) ni les phénomènes et zones dangereux, ni le risque, etc. Par contre, pour une tâche manuelle ou semi-automatique le concepteur doit savoir si la zone dans laquelle cette tâche va être réalisée est dangereuse et quels sont les risques associés.

Dans notre travail, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux tâches réalisées par l'opérateur. Nous distinguons six formes dans la réalisation de ces tâches (individuelle, co-activité, coopération, simultanéité, non-simultanéité, séquençement).

Comme nous venons de le proposer, les tâches d'utilisation du système sont classifiées selon les modes de fonctionnement et d'intervention. Il convient maintenant d'argumenter une approche de conception et de l'illustrer au travers de différents scénarii caractérisant la dynamique de la situation de travail en lien avec les différents modes de fonctionnement et d'intervention. Bien que, disposant de modèles conceptuels au format UML, mais

principalement de fait des capacités indéniabes des réseaux de Pétri à représenter des processus de changement d'état, et de notre bonne maîtrise des ces derniers, nous avons utilisé les réseaux de Pétri Temporisés [David & al 1997]. Ils permettent de représenter la dynamique de la situation de travail en précisant tous les facteurs nécessaires (les états, les événements, les durées, les conditions, etc.) en particulier le fait que selon les tâches réalisées la situation de travail passe d'un mode vers un autre. Le contrôle de ce passage se fait par un événement déclencheur. Par exemple, l'arrivée de l'ordre de production déclenche normalement le mode de démarrage si l'équipe de travail est bien disponible. Le fait qu'une panne survienne lorsque la situation de travail est en mode de production va faire basculer la situation en mode dépannage. La Figure 4.3 montre un exemple de la dynamique des différents modes de fonctionnement et d'intervention [Bernard 2002a]. Les places représentent les modes de fonctionnement ou d'intervention et les transitions représentent le passage d'un mode à un autre. Nous allons commenter cet exemple. Trois facteurs doivent être réunis : un système de production disponible, une équipe de travail et un ordre de production.

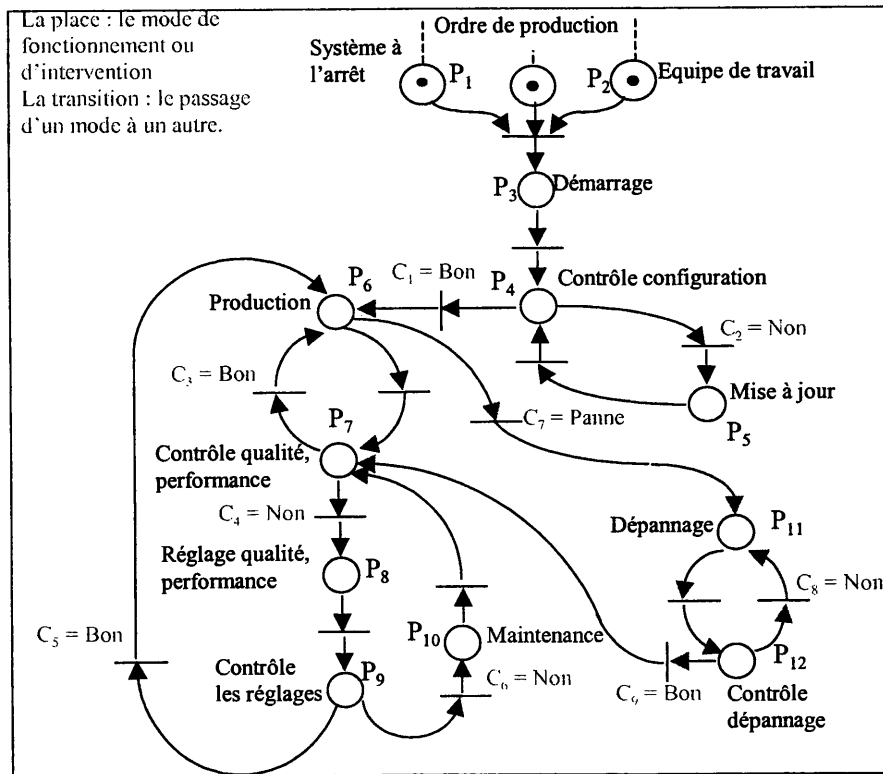


Figure 4.3 : La dynamique de situation de travail au niveau mode de fonctionnement et d'intervention

Normalement, à un instant donné et lorsque le système est à l'arrêt (P1), l'équipe de travail disponible (P2) reçoit un ordre de production, et elle démarre le système (P3). Chaque opérateur dans l'équipe de travail doit réaliser une mission bien déterminée. Cette mission consiste généralement en plusieurs tâches. L'opérateur réalise ces tâches afin de vérifier la disponibilité du système et sa configuration pour le produit demandé dans l'ordre de production. Or, dans les systèmes de production automatisés un certain contrôle de configuration (P4) est nécessaire pour mettre à jour (P5) le système afin d'obtenir le produit demandé. Une fois ce mode de configuration terminé, la situation de travail passe dans un mode de production (P6). Pendant que la situation de travail est en mode de production, plusieurs tâches de contrôle de la qualité du produit et de la performance du système doivent être effectuées (P7). Si le résultat de ces contrôles est bon (C3) la production continue. Sinon, (C4) un mode de réglage (P8) concernant la qualité et/ou la performance commence. Ensuite,

un mode de contrôle des réglages est nécessaire (P9) pour assurer le retour dans de bonnes conditions (C5) du système en mode de production. Si les réglages n'aboutissent pas à la qualité et/ou à la performance demandée (C6) un mode de maintenance est nécessaire (P10).

A la fin de ce mode, un autre mode de contrôle (P7) doit être réalisé pour assurer que la maintenance est bien réussie. Lors du mode de production une panne (C7) est toujours susceptible de survenir ce qui exige l'arrêt du système, des interventions de dépannage (P11). Après la réparation de l'organe en panne il faut contrôler (P12) la réussite du dépannage (C9) puis contrôler la qualité du produit et la performance du système. Notons que les modes présentés ne sont pas exhaustifs.

Enfin, il nous paraît essentiel de souligner que le passage entre ces modes est possible à chaque instant, c'est-à-dire que, lorsque la situation de travail est en mode de production, plusieurs tâches de réglage et de contrôle se passent sur une ou plusieurs machines du système. Ceci est aussi vrai pour les autres modes, par exemple, une machine tombe en panne mais la production continue en mode dégradé. Dans ce cas, l'opérateur réalise la tâche à la place de la machine en panne.

Nous avons présenté ici la dynamique de situation de travail au niveau des modes de fonctionnement et d'intervention. Chaque état présente un ensemble d'images de la situation de travail qui appartiennent au même mode de fonctionnement ou d'intervention.

Mais, des scénarii différents peuvent se produire dans chacun de ces modes et les six types de tâches cités précédemment peuvent être réalisés dans chacun de ces modes ou dans un mélange de ces modes. L'interaction entre l'équipe de travail et le système peut être représentée par un seul état lorsque l'opérateur réalise une tâche sur le système. Nous présentons un exemple de cette dynamique d'interaction dans la Figure 4.4.

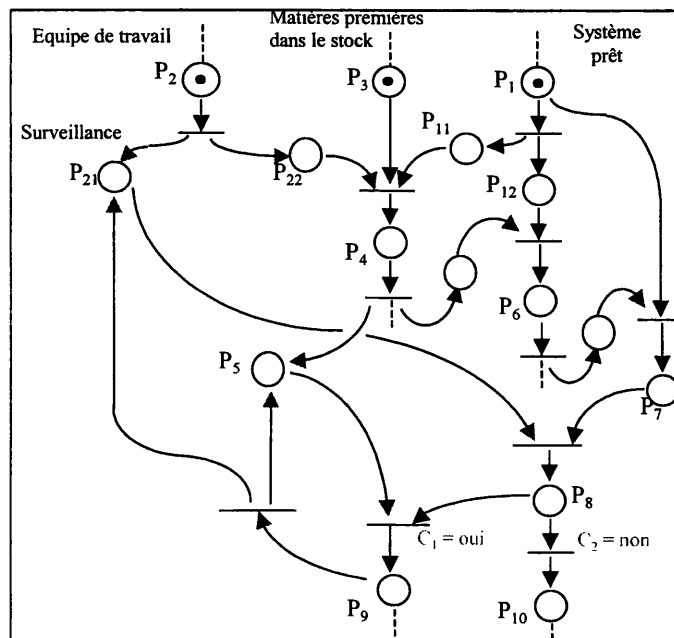


Figure 4.4 : La dynamique de l'interaction système – équipe de travail dans une situation de travail

A un instant donné, le système est bien configuré et prêt pour la production (P1), l'équipe de travail est aussi prête (P2), des matières premières sont en stock (P3). Un opérateur surveille le système (P21) et un autre se prépare (P22) pour charger la machine 1 (P11). Lorsque les matières premières arrivent l'opérateur 1 charge la machine 1 du système (P4). Dans cet état, la machine réalise sa tâche de fabrication et l'opérateur réalise sa tâche de chargement. A la fin du chargement, l'opérateur passe à l'état (P5). Dans cet état, cet opérateur a une mission de

surveillance. Les matières premières passent à une autre machine inactive (P₁₂) qui devient active (P₆) et réalise une tâche automatisée sans intervention humaine. La troisième machine démarre pour traiter les matières (P₇). Lorsque la machine est en train de réaliser sa tâche un opérateur intervient pour un problème de réglage (P₈). Si l'opérateur parvient à régler la machine (C₁), il demande l'aide d'un autre opérateur pour décharger ensemble la machine et réaliser une tâche collective (P₉). Si le réglage n'est pas satisfaisant (C₂), on passe dans un autre mode d'intervention qui peut être un mode de réglage fait par un expert ou un mode de maintenance fait par une autre équipe de travail de maintenance (P₁₀).

Dans la Figure 4.3 et la Figure 4.4, nous avons présenté les changements des valeurs de la situation de travail. Or, ce changement est possible entre les différents modes et même dans le même mode. Par exemple, deux tâches différentes (chargement de la bobine, contrôle de qualité) appartiennent au mode de production mais présentent deux images de la situation de travail. Par contre, une situation de travail change lorsque le système ou l'équipe de travail change. Par exemple, le système présenté dans la Figure 4.4 consiste en trois machines et l'équipe de travail comprend deux opérateurs. A un instant donné, l'opérateur 1 charge les matières premières sur la machine 1 (P₄). Cette intervention est une situation de travail. Toutefois l'opérateur réalise des tâches sur la même machine, ils restent dans la même situation qui est différente de la situation de l'autre opérateur (P₂₁), qui surveille le système. Par contre, le même opérateur 1 plus tard intervient avec l'autre opérateur sur la machine 3 pour décharger les produits finis (P₉). Ici l'opérateur est dans une autre situation parce que la machine n'est plus la même. Cette dernière situation change si l'opérateur décharge tout seul la machine 3. Dans cette figure, par exemple, les places (P₄, P₈ et P₉) sont des situations différentes. En fait, dans un tel cas il y aura $2 \times 3 = 6$ situations de travail dans le mode de production. Dès lors qu'un agent de maintenance intervient sur une machine une nouvelle situation est créée.

Ce support de modélisation traduit la possibilité, pour chaque situation de travail, de construire un graphe partiel, l'ensemble des graphes étant, ensuite, connectés entre eux pour représenter l'ensemble des situations de travail imaginées par le concepteur. Ceci permet de vérifier la complétude et la cohérence des situations construites et cela constitue une aide à l'élaboration des manuels d'utilisation. La confrontation avec des graphes partiels issus de retour de terrain peut servir de point de départ à une analyse d'amélioration (de type cause-effet par exemple) en vue, en particulier, de rendre plus sûr l'environnement de travail.

Le développement de cette présentation dynamique de la situation de travail offre une perspective intéressante pour la suite des recherches dans le même domaine à l'issue de cette thèse. Un modèle complet devrait permettre de simuler, a priori, les situations de travail dès la phase de conception et de prévoir ainsi, par la mise en œuvre de scénarii possibles dans une situation de travail réelle, les problèmes éventuels qui pourraient apparaître.

4.5. Les métiers agissant dans le cycle de développement

Grâce aux concepts et aux principes de modélisation présentés précédemment, les différents acteurs participant au cycle de vie du système de production disposent de fondements pour améliorer leur travail, chacun en cohérence avec les autres. En particulier, notre apport favorise l'intégration des informations des différents métiers intervenant dans le cycle de vie du système (matériaux, coût, informations techniques, sécurité, etc.). Or, comme nous avons pu le percevoir, le cycle de développement d'un système, fait appel à des activités complexes qui font intervenir de nombreux spécialistes. Ces interventions de différents acteurs suivent souvent un ordre logique. Ces acteurs de métiers différents appartiennent à des services distincts de l'entreprise. Ils prennent un ensemble de décisions pour valider ou refuser une

action ou une solution en fonction de leur propre expérience et savoir-faire. L'intérêt de cette intervention pluridisciplinaire, qui regroupe les différents acteurs métiers, a pour principal objectif d'aboutir à une solution optimale en un minimum de temps et en évitant des modifications tardives.

Or, la vie d'un projet comprend plusieurs phases : marketing, pré-étude, étude, fabrication et production (suivi de retour de terrain) [Calvez 1992]. Dans toutes ces phases, plusieurs métiers interviennent en parallèle en appliquant l'ingénierie simultanée (*une méthode de développement d'un produit consistant à prendre en compte, dès la phase initiale de conception, tous les éléments du cycle de vie de produit, de l'analyse de besoin à la fabrication et au soutien d'utilisation* [Chanchevier 1993]). Cependant, ce parallélisme n'est que partiel puisque apparaissent des actions qui dépendent de l'achèvement d'autres actions. Pour cela, il faut déterminer le moment exact à partir duquel nous disposons des données partielles suffisantes pour commencer une action suivante. Ceci est favorisé par un suivi efficace du processus de conception.

4.5.1. L'interaction dans le processus de conception actuel

Actuellement, l'ingénierie simultanée est très souvent appliquée et à différents niveaux dans la plupart des entreprises. Dans le cadre de notre travail, à partir des études et analyses effectuées, nous pouvons synthétiser les activités relatives au processus de conception au travers d'un essai de formalisation des échanges entre acteurs sous la forme d'un graphe. Nous avons conservé une modélisation à base de réseaux de Pétri Temporisés (cf. § 4.4.3) (Figure 4.6) pour représenter la dynamique des échanges et communications entre les différents acteurs métiers dans un intervalle de temps entre deux réunions périodiques.

Les places présentées dans la Figure 4.6 présentent l'état de l'action et la durée nécessaire pour cette action. Par contre, les transitions correspondantes présentent les passages entre ces états et les conditions de ces passages. Or, le développement de cette action peut conduire à la présentation suivante (Figure 4.5).

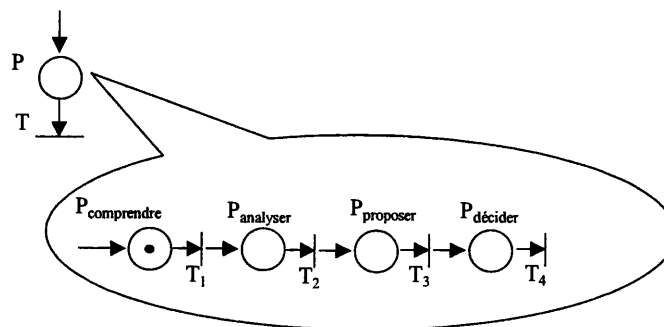


Figure 4.5 : Les états d'une action d'un acteur

L'intervention d'un autre acteur peut s'effectuer lors de n'importe quel état parmi les états proposés. Dans l'état ($P_{\text{comprendre}}$), l'acteur étudie le problème ou l'objectif à satisfaire pour le comprendre. Dans l'état (P_{analyser}), l'acteur analyse cet objectif (détermine les données d'entrée, les contraintes, les ressources, les données de sortie) afin de trouver les solutions possibles. L'état (P_{proposer}) présente la proposition des solutions possibles (alternatives) trouvées par l'acteur pour répondre à l'objectif. Le dernier état ($P_{\text{décider}}$) permet de représenter le choix (justification, décision) d'une solution évaluée qui convient le mieux pour satisfaire l'objectif. Lors de chaque état il est possible, si nécessaire, de disposer de l'aide des autres acteurs.

Après le lancement d'un projet, le chef de projet détermine les responsabilités, distribue les actions aux acteurs (P_1, P_2), constitue le planning (le temps pour réaliser les tâches, les réunions périodiques (P_r)). Dans ces réunions (P_r), les membres de l'équipe de projet évaluent l'avancement du projet. Selon les résultats et les ressources disponibles, ils décident de continuer et de distribuer les actions suivantes sur les acteurs ou décident que les résultats ne sont pas acceptables.

Mais, entre deux réunions, les acteurs du projet travaillent simultanément chacun sur les actions qui lui sont confiées. La communication formelle entre les acteurs se résume, alors, au passage des données de sortie d'une action lorsque ces données sont des données d'entrée pour une autre action confiée à un autre acteur ($T_{11} T_{ni}$). La place ($P_{attente}$) représente l'état des résultats de la première action et qui est (P_{11}, T_{11}) normalement prêt bien avant que le jeton dans (P_{ni}) soit prêt à franchir la transition (T_{ni}) (Figure 4.6). C'est-à-dire que l'acteur, qui est dans l'état (P_{ni}), ne peut continuer son action sans avoir les résultats de l'action (T_{11}). Entre deux réunions chaque acteur travaille séquentiellement puisqu'il finit une action pour en commencer une autre dont les données de sortie de la première sont ou non celles d'entrée pour la deuxième ($T_{n1}, P_{n1}, T_{ni}, P_{ni}$).

Cette application partielle de l'ingénierie simultanée résultant d'un manque d'outils et/ou de méthodes génère quelques problèmes de modification et de communication. Cependant, lorsque chaque acteur travaille isolément sur l'action qui lui est confiée, il doit choisir une solution pour satisfaire l'objectif recherché :

- Soit il décide seul et à partir de ses propres connaissances et savoir-faire,
- Soit il prend l'initiative de communiquer avec d'autres experts de façon informelle,
- Soit il attend la tenue d'une prochaine réunion pour discuter son choix et recueillir les avis d'autres acteurs dans le projet.

Dans le premier cas, la décision prise par l'acteur peut être modifiée ou même refusée parce qu'elle pourrait créer des conflits ou des contradictions techniques. Dans l'avancement du travail, si les résultats refusés (T_{Non}) ou à modifier (T_{modif}) sont des entrées pour d'autres actions, alors celles-ci devront aussi être modifiées. Ceci exige de refaire le travail (P_m), opération coûteuse pour l'entreprise, afin de trouver un compromis. Cette modification peut toucher une action qui vient d'être réalisée (C_{m1}, P_{nn}) ce qui, dans ce cas, n'exige pas trop de temps. Elle peut aussi toucher une action réalisée depuis un certain temps en début de période (C_{m2}, P_{11}) et entraîner, alors, une série de corrections coûteuses en temps. (C_{m1}) et (C_{m2}) sont des conditions pour franchir les transitions correspondantes des cas de modification.

Dans le deuxième cas, l'acteur effectue une consultation de façon informelle, elle est encouragée mais pas systématique. En fait, dans ce cas, l'acteur consulte un autre acteur (ou un expert extérieur P_{ex}) si lui-même a conscience des problèmes qui pourront apparaître plus tard ; il est tributaire de son savoir-faire et de son expérience. Si l'acteur ne perçoit pas un problème et ne sent pas la nécessité d'avoir l'avis d'autres experts, il décidera seul ce qui ramènera au premier cas. Ainsi, cette consultation est conditionnée par la disponibilité, la volonté, etc. Elle nécessite d'être formalisée et un recours à des moyens permettant la communication permanente entre les différents acteurs métiers.

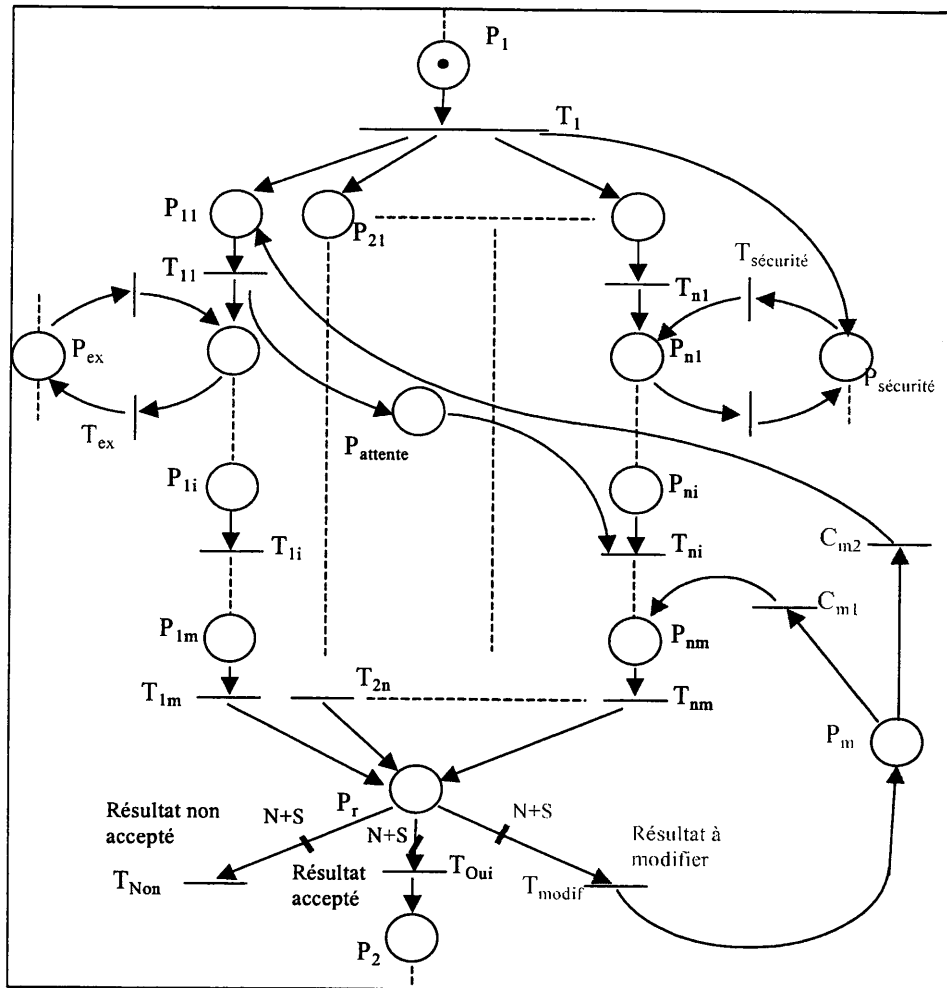


Figure 4.6 : La dynamique du processus de conception actuel

En ce qui concerne le troisième cas, l'attente de la réunion pour prendre les décisions à ce niveau coûte du temps et retarde souvent le planning du projet ce qui, logiquement, est mal vu dans l'entreprise à moins que les résultats de cette action soient moins urgents qu'une autre et que l'acteur concerné s'occupe, alors, à d'autres tâches.

L'acteur métier sécurité se trouve le plus souvent contraint de prendre l'initiative de communiquer avec les autres acteurs pour leur donner des conseils ($P_{\text{sécurité}}$). Mais un problème majeur apparaît ici, qui est de choisir le moment ad-hoc pour intervenir, l'acteur projeteur cherchant une solution pour satisfaire une fonction. La transition ($T_{\text{sécurité}}$) ne peut être franchie qu'en cas de disponibilité de l'acteur métier sécurité (dans la Figure 4.6, nous présentons un cas quelconque où l'acteur métier sécurité intervient pour conseiller un autre acteur métier). Or, si cette intervention est faite trop tôt, elle va créer une contrainte de plus pour l'acteur et perturber son raisonnement. Et si elle est faite plus tard, elle pourra entraîner des modifications et des corrections. Ces modifications et corrections peuvent être coûteuses ce qui implique de rechercher des moyens de résolution de contradictions comme sécurité-productivité (cf. chapitre 5).

4.5.2. Remarques

- Les transitions (T_{oui} , T_{non} , T_{modif}) sont validées si la place (P_r) contient au moins ($N+S$) jetons. C'est-à-dire tous les acteurs métier ont achevés les actions qui leur sont confiées. (N) représente le nombre total d'acteurs dans le projet et (S) le nombre d'acteurs sécurité qui participent au même projet.

- La communication entre les acteurs n'a pas la valeur d'un facteur déterminant. En fait, la transition (T_{ni}) est valide chaque fois que la transition (T_{11}) est franchie. Le passage d'une action vers une autre est toujours valide et il n'y a pas de synchronisation entre les acteurs.
- L'acteur métier sécurité n'a pas, lui non plus, la place d'un acteur déterminant. Son intervention peut améliorer la prise de décision mais elle n'est pas obligatoire. Pour cela, la boucle (P_{n1} $P_{sécurité}$) est valide chaque fois que la transition (T_1) est franchie.

4.6. La dynamique d'utilisation du modèle

4.6.1. Objectifs

Le processus de conception peut être présenté comme le cheminement à travers lequel le système acquiert des nouvelles propriétés nécessaires pour la satisfaction des objectifs considérés. Nous proposons dans notre approche des concepts qui favorisent la mise en œuvre du processus de conception et le suivi de projet. Pour cela, nous rappelons, dans la suite, les objectifs principaux correspondants :

- Intégrer tous les métiers liés à la prise en compte des concepts de la situation de travail dans le processus de conception,
- Intégrer et évaluer les paramètres de sécurité le plus tôt possible sans les considérer comme des contraintes à respecter,
- Intégrer le retour d'expérience de façon systématique et efficace,
- Faciliter la communication entre les concepteurs de métiers différents et la rendre si possible permanente tout au long du processus de conception. Ce qui permet une circulation ou flux d'information qui s'enrichit durant le cycle de développement du système,
- Éviter les modifications coûteuses qui résultent d'interventions tardives.
- Faciliter la tâche du chef de projet par le suivi de la réalisation des tâches des concepteurs,
- Permettre l'intervention le plus tôt possible d'un spécialiste métier, lors de la prise de décision¹ par un autre concepteur sur un problème qui concerne le métier de celui-ci,
- Fournir les informations nécessaires pour la prise d'une décision liée au développement du système et/ou à la gestion du processus de conception.

L'objectif est de tenir informés les acteurs du projet et en premier lieu le chef de projet, de l'état tactique de l'avancement des tâches confiées aux acteurs du projet pour décider le plus rapidement possible de la démarche à suivre et des étapes suivantes.

¹ Le terme décision est défini par [Ouazzani 1999] *comme une action de jugement qui apporte une solution au problème associé à un objectif en fonction des informations disponibles*. Par ailleurs, [Stal Le Cardinal 2000] a défini la décision *comme un processus qui conduit un acteur à répondre à une question posée. Où la question est une demande adressée à quelqu'un en vue d'apprendre quelque chose. La question porte sur un sujet qui implique des difficultés à résoudre, d'ordre théorique ou pratique*.

4.6.2. Au niveau de l'acteur métier

Ce niveau de dynamique concerne, par exemple, le projeteur qui réalise sa tâche de conception pour déterminer des choix de principes, ou des solutions techniques, qui permettront au système conçu de remplir une fonction demandée. Lors de cette étape, le projeteur va s'appuyer sur la dynamique d'utilisation du modèle et va naviguer pour enrichir les éléments de base du modèle grâce aux passages possibles entre ses différentes classes. De plus, il va bénéficier des possibilités de propagation offertes qui favorisent la cohérence et qui déclenchent des transferts d'informations ou de message lorsqu'un choix est réalisé. Par exemple, si l'acteur a choisi une solution technique, le modèle lui signalera les phénomènes dangereux liés à cette solution et la nécessité de déterminer les risques engendrés par un tel choix.

En fait, la présentation statique du modèle présenté dans le chapitre 3 a montré la structure de ce modèle. Par contre, en première lecture, il apparaît difficile de percevoir comment le projeteur peut utiliser ce modèle lors de la conception. Pour illustrer les passages possibles (obligatoires ou volontaires) entre les classes, nous avons défini, pour chaque classe, des opérations. Or, une opération est définie comme un service qui peut être demandé à (ou effectué sur) n'importe quel objet de la classe pour déclencher un comportement. Ces opérations sont caractérisées par les verbes du modèle et présentent son comportement dans le temps et dans l'espace. Les opérations proposées sont présentées, dans la suite, dans un ordre correspondant à la présentation du modèle dans le chapitre 3.

Le principal avantage des opérations proposées est qu'elles assurent une transmission d'information entre les acteurs. Elles leur assurent de ne rien oublier au niveau des liens de cause à effet contenus dans le modèle (facteurs influents) et au niveau des requêtes souhaitables en termes de validation auprès d'experts ciblés. Ces opérations sont de trois types différents :

- Les opérations liées aux objets (créer, modifier, supprimer). Ces opérations permettent à l'acteur de manipuler les objets et de stocker des versions différentes de ces objets. Elles ne sont pas citées dans le modèle parce que communes à toutes les classes et sur tous les objets (cf. chapitre 6).
- Les opérations propres à chaque classe. Ce type d'opération s'applique sur des attributs de la même classe. Par exemple, les opérations : estimer la gravité, déterminer la fréquence, calculer l'indice de risque etc. sont liées à la classe Risque.
- Les opérations liées aux autres classes et qui permettent à l'acteur de suivre les passages obligatoires d'une classe à une autre. Ainsi, une opération de ce type est attachée à une classe et permet d'accéder et de solliciter d'autres opérations liées à d'autres classes. Par exemple, dans la classe « Système » nous trouvons les opérations : déterminer la tâche, qui envoie l'acteur vers la classe « Tâche », déterminer la fonction qui envoie l'acteur vers la classe « Fonction », etc.

Dans la suite, nous développerons les deux derniers types d'opérations. Par contre, ce ne sera pas le cas pour le premier qui concerne plutôt l'informatisation du modèle (cf. chapitre 6) et qui n'ajoute rien à sa sémantique.

4.6.2.1. Les opérations propres à chaque classe

Ces opérations normalement sont citées aussi sans être développées parce que nous avons voulu laisser le choix à l'acteur des méthodes les mieux adaptées pour son travail. Elles permettent de déterminer les attributs des classes. Parmi ces opérations, nous présentons par

exemple pour la classe Situation de travail (cf. Figure 3.10) : les opérations permettant de déterminer les attributs de ce concept (le type de situation, le type de stock, les matières premières et le produit fini, etc.). Ces opérations permettent de bien définir la situation de travail sujet de la conception et de la différencier d'une autre. Pour la classe Système (cf. Figure 3.11), l'opération « déterminer l'interface » permet l'interaction entre les sous-systèmes et la prise en compte des flux de matière et/ou d'information qui transitent dans le système.

Pour les autres concepts, nous allons également illustrer l'intérêt de ces opérations. Notre objectif est, en particulier, d'aider les concepteurs à prendre en compte le point de vue sécurité de façon systématique. Alors, les opérations : estimer la gravité, déterminer la fréquence d'exposition de l'opérateur au phénomène dangereux, déterminer la durée de cette exposition, estimer la possibilité d'évitement, permettront de calculer un indice en vue d'évaluer les risques. De plus, les opérations : calculer la surface et le volume de la zone dangereuse, déterminer la fréquence de l'événement dangereux sont également des exemples de ce type d'opération. Dans la classe « Tâche », nous proposons les opérations : déterminer la durée de la tâche, le séquençement et la composition.

Dans la classe « Mesures de sécurité », nous proposons les opérations : déterminer le type de mesures de sécurité, l'influence de l'utilisation de ces dernières sur l'accessibilité et la visibilité ; identifier et résoudre les contradictions résultantes de l'intégration de ces mesures ; consulter les normes pour assurer leur satisfaction. Cette consultation peut être informatisée et numérisée par l'application de la démarche proposée par [Blaise 2000]. Il a proposé de capitaliser les connaissances normatives afin de faciliter leur application à des problèmes spécifiques de conception. Il a élaboré des spécifications d'un outil d'assistance à la consultation et à l'exploitation de l'ensemble des normes relatives à la sécurité des machines afin de faciliter l'accès, la compréhension et l'application de leur contenu. Son objectif est d'extraire toute la connaissance contenue dans l'information normative et de la mettre à disposition des concepteurs des machines et des systèmes complexes. Un lien avec la maquette informatique proposée par Blaise serait une ouverture vers ce qui constitue une brique de base pour un accès efficace aux réglementations contenues dans les normes lors de l'utilisation de la maquette de Situation de travail (cf. chapitre 6).

En ce qui concerne la classe « Équipe de travail », il faut déterminer le nombre d'opérateurs et la qualification de chacun entre eux. Les autres opérations qui concernent la classe « Événement dangereux » permettent de déterminer la fréquence de l'événement, sa cause et son type (cf. Figure 3.11, Figure 3.12, Figure 3.14, Figure 3.15, Figure 3.16, Figure 3.19, Figure 3.20 & Figure 3.21).

4.6.2.2. Les opérations liées aux autres classes

Ces opérations montrent que souvent pour finaliser un objet dans une classe il faut déterminer d'autres objets dans d'autres classes. Ces opérations guident l'acteur dans son travail de façon à ne rien oublier. Elles rappellent à l'acteur les points de passage obligatoires avant de passer à une autre étape. Parmi ces opérations et dans la classe « Situation de travail », on peut citer : déterminer l'influence de l'environnement. Cette opération s'applique à la classe « Environnement » pour déterminer les facteurs de l'environnement qui peuvent influencer la situation de travail (éclairage, bruit, hauteur de bâtiment, etc.).

Pour la classe « Système », nous citons trois opérations qui sont : déterminer la tâche qui permet lors de la conception d'un système de prendre toujours en compte la tâche qu'il va réaliser (cf. Figure 3.12). Déterminer la fonction qui représente le point de vue fonctionnel du système conçu. Déterminer la zone dangereuse est une opération qui permet du point de vue

sécurité d'identifier les zones dangereuses dans le système pour éviter si possible l'intervention de l'opérateur dans ces zones.

Dans la classe « Fonction », l'opération : déterminer le mode de fonctionnement permet de définir si la fonction appartient au mode de réglage, de maintenance ou à un mode de fonctionnement normal ou dégradé (cf. Figure 3.11).

Dans la classe « Solution technique », nous présentons cinq opérations. Dimensionner le système permet de calculer la dimension réelle de la solution technique dans le système. Matérialiser le système pour préciser les matériaux du système. Déterminer le phénomène dangereux engendré par cette solution et la zone dangereuse qui est autour. La dernière opération est de déterminer la tâche que va réaliser cette solution (cf. Figure 3.12).

Dans la classe « Tâche », nous proposons plusieurs opérations. Déterminer le mode d'intervention pour placer la tâche dans un mode précis ce qui permet plus tard de générer le manuel d'utilisation du système. Déterminer le réalisateur est une opération pour définir si la tâche est motorisée ou manuelle et décider de qui est le réalisateur (système, opérateur) et si c'est un opérateur, quelles sont ses qualifications. La tâche nécessite, parfois, l'utilisation d'un auxiliaire pour lequel il faut déterminer les risques engendrés par cette utilisation. Ainsi, pour l'équipe de travail la détermination de sa tâche est essentielle pour savoir quelles sont les tâches confiées à chaque membre de l'équipe de travail (cf. Figure 3.14).

En ce qui concerne la classe « Phénomène dangereux », il faut déterminer sa source (le système, la solution technique, l'auxiliaire ou même l'environnement) et la zone dangereuse engendrée par la propagation de ce phénomène (cf. Figure 3.16).

Les opérations citées dans la classe « Risque », sont aussi des opérations qui incitent l'acteur à intervenir sur d'autres classes. En effet, pour estimer la gravité il faut voir le phénomène dangereux associé. Pour déterminer la fréquence et la durée de l'exposition il faut voir les tâches réalisées dans les zones dangereuses. Pour estimer la possibilité d'évitement, il faut voir la situation de travail et l'environnement (cf. Figure 3.16 & Figure 3.17). D'un autre côté, pour la zone dangereuse il faut déterminer l'origine de cette zone (cf. § 3.6.10).

Pour la classe « Mesures de sécurité », nous proposons les opérations suivantes : déterminer le type de mesures, l'accessibilité et la visibilité qui sont liées au système et à la tâche à réaliser par l'opérateur. Mais, ces mesures de sécurité peuvent créer des contradictions de types productivité-sécurité. Ceci implique d'identifier les contradictions, consulter les normes, résoudre ces contradictions (cf. chapitre 5) et déterminer le risque résiduel après l'application de ces mesures (cf. Figure 3.16 & Figure 3.20).

Les opérations présentées dans ces paragraphes comprennent les mécanismes qui sont à la base de la dynamique du modèle de situation de travail proposé dans le chapitre 3. Elles orientent l'acteur lors de la réalisation de son action vers des facteurs importants pour la prise de décision

4.6.3. Au niveau du processus de conception

L'application des opérations proposées dans notre modèle fournit une possibilité forte de communication et d'échanges systématiques entre les acteurs métiers membres de l'équipe de projet. Ceci nous a permis de modéliser le processus de conception de la façon suivante présentée dans la Figure 4.7 [Bernard & al 2002a].

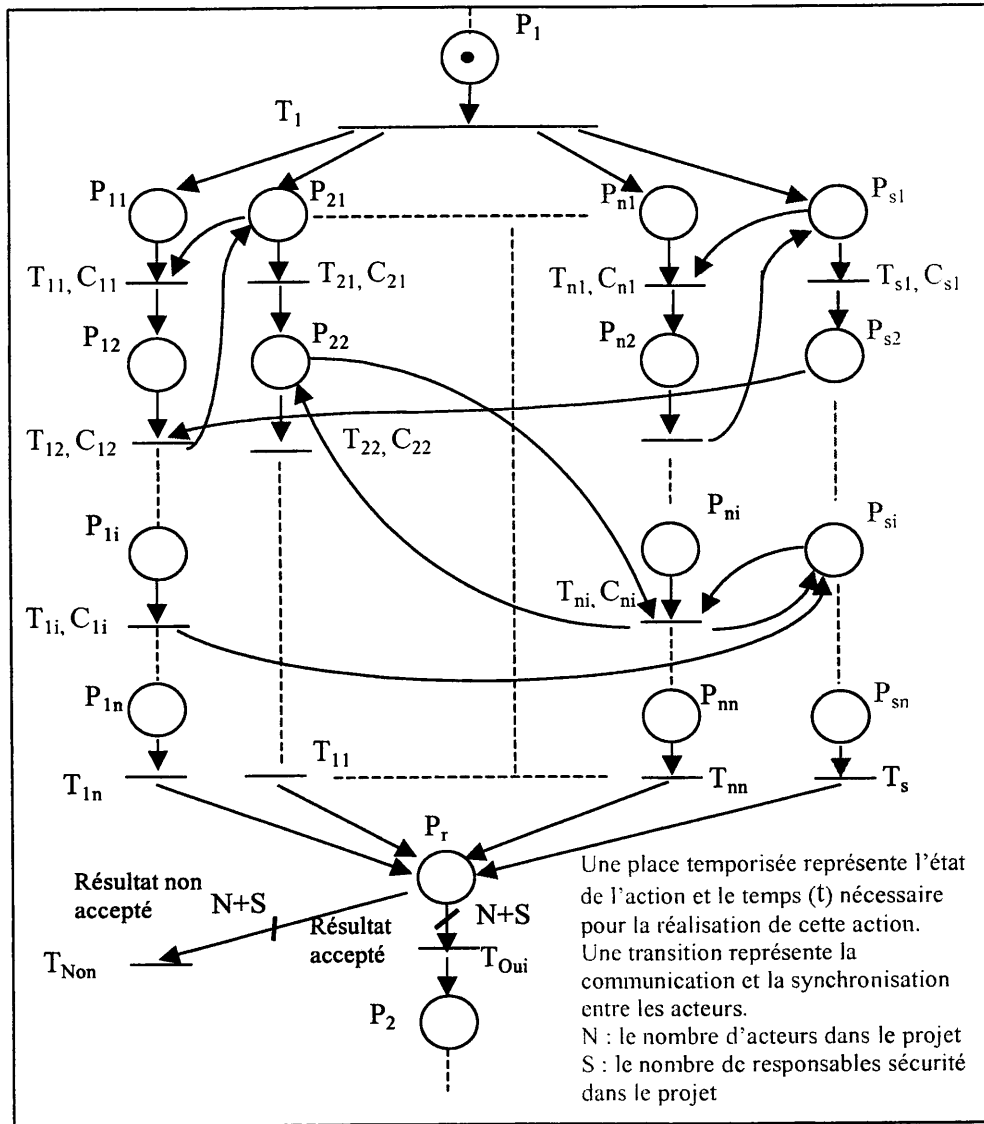


Figure 4.7 : La dynamique du processus de conception en utilisant le modèle proposé

En fait, cette modélisation présente la dynamique des échanges et communications entre les différents acteurs métiers dans un intervalle de temps entre deux réunions périodiques. Là encore et pour les mêmes raisons, nous utilisons les réseaux de Pétri Temporisés [David & al 1997] pour modéliser cette dynamique. Ainsi, la temporisation des actions est liée ici aux places. Une transition sera franchissable lorsque le temps de toutes les places en amont se sera s'écoulé.

Or, lors de son travail, l'acteur communique avec les autres acteurs pour prendre leurs avis sur un point précis, identifier ou comprendre un problème, prendre une décision, résoudre une contradiction, calculer un organe d'un point de vue différent, etc. Par exemple, un acteur propose une solution technique pour réaliser une tâche afin de satisfaire une fonction. L'acteur doit identifier les phénomènes dangereux résultant de cette solution technique et leurs zones dangereuses. Puis, il doit vérifier si un opérateur réalise une tâche dans ces zones dangereuses pour estimer les risques engendrés. Mais, cet acteur n'a pas une expérience suffisante dans ce domaine. Alors, il invite l'acteur métier sécurité pour qu'il l'aide à déterminer ces facteurs afin de bien évaluer le choix effectué pour satisfaire les fonctions demandées et les normes de sécurité.

Les opérations présentées dans le paragraphe précédent incitent l'acteur métier à communiquer avec les autres acteurs métiers dans le projet afin d'avoir tous les avis nécessaires pour valider une décision. Ce point est représenté, par exemple, par la validation de la transition ($T_{11} C_{11}$). Or, cette transition est valide seulement si les places (P_{11}) et (P_{21}) sont actives. Les boucles, comme, par exemple, ($P_{21}, T_{11} C_{11}, P_{12}, T_{12} C_{12}$) illustrent qu'un acteur ayant participé à une action confiée à un autre acteur revient à son état initial à la fin de cette participation. Par contre, la boucle ($P_{s1}, T_{n1} C_{n1}$) présente la validation d'une action ou d'une décision par deux acteurs sans réelle participation à la réalisation de l'action concernée. Un troisième cas est possible : deux acteurs réalisent une ou plusieurs actions ensemble et à la fin les deux acteurs commencent de nouvelles actions. Ce cas est représenté par la boucle ($P_{12}, P_{s2}, T_{12} C_{12}, P_{11}, T_{11} C_{11}, P_{s1}$).

En ce qui concerne la sécurité, l'acteur qui en est responsable intervient en tant que facteur déterminant. Ainsi, une transition comme ($T_{12} C_{12}$ ou $T_{n1} C_{n1}$) ne peut être valide que si les places (P_{11}) et (P_{s2}) sont actives. C'est à dire que l'acteur métier sécurité est indispensable pour valider une action qui concerne la sécurité.

D'autres cas peuvent nécessiter l'intervention de plusieurs acteurs pour valider une action. Ces cas sont présentés par la validation de la transition (T_{n1}, C_{n1}) lors de l'activation des trois places (P_{22}, P_{n1} et P_{s1}). C'est-à-dire que l'acteur qui est à l'état (P_{n1}) de la réalisation de son action ne peut pas aller plus loin sans discuter ses choix avec deux autres acteurs. Cette action normalement concerne ces acteurs et est liée à leurs savoir et expérience.

Un autre point à éclaircir concerne les conflits de franchissement engendrés par la possibilité de franchir deux transitions qui, en fait, ne constituent pas de vrais conflits. En effet, le franchissement de chacune de ces transitions est conditionné par une condition (C_i). Ces conditions permettent de définir quelle est la transition valide et franchissable à un instant donné. Par exemple, lorsque l'acteur métier sécurité en l'état (P_{s1}) et à la fin de cet état les deux transitions (T_{n1}) et (T_{s1}) sont valides (bien sûr on considère que la place (P_{n1}) est active). Nous avons ajouté les conditions (C_{n1}) qui permettent de déterminer les priorités de franchissement des transitions. Ces conditions peuvent varier selon les durées attribuées à chaque action, la nécessité d'avoir le résultat d'une action, la décision du chef de projet etc.

Lorsque chaque acteur a fini les actions qui lui sont confiées, une réunion d'évaluation a lieu (P_r). Lors de cette réunion, tous les acteurs et le chef de projet décident soit d'accepter les résultats et effectuent la distribution des actions futures (P_2), soit, que les résultats sont non acceptables et abandonnent le projet. Nous remarquons que les transitions (T_{oui} et T_{non}) sont valides seulement si la place (P_r) contient $N+S$ jetons. C'est-à-dire que tous les acteurs participant au projet ont achevé leurs actions.

4.7. Scenarii d'utilisation du modèle

L'avantage du modèle proposé est qu'il génère peu de contraintes d'utilisation dans le sens où il peut être utilisé à partir de plusieurs points d'entrée, de points de vue selon les données dont on dispose et les objectifs visés. Dans la suite, nous proposons des scenarii d'utilisation de notre modèle au cours, d'une part, du processus de conception d'un système de production complexe et d'autre part, de son suivi en cours d'utilisation (retour de terrain) [Bernard & al 2002b].

4.7.1. Lors d'une conception générale

Selon les spécifications normalement fournies, dans un cahier des charges, le concepteur dispose des objectifs fonctionnels. Ces objectifs doivent satisfaire les exigences demandées

soit par le client soit par les responsables du développement du système. La Figure 4.8 présente un scénario d'utilisation de notre modèle qui est construit sur la base de l'approche de conception que nous proposons.

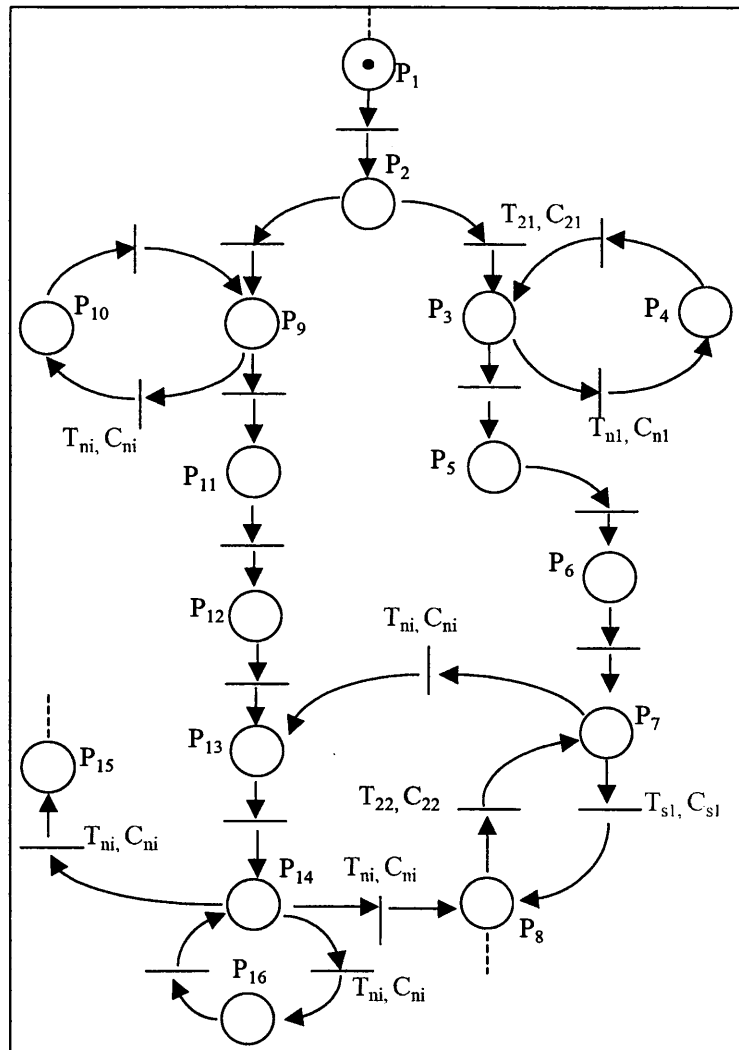


Figure 4.8 : Un scénario d'utilisation du modèle dans un cas de conception général

A l'issue des spécifications, les concepteurs définissent les fonctions à satisfaire et à calculer (P1). Il est possible qu'il existe plusieurs choix pour satisfaire une fonction. Ces choix dépendent du type de fonction et de ses paramètres. Le concepteur cherche à déterminer comment il peut satisfaire cette fonction et quelles sont les tâches nécessaires pour accomplir une telle fonction (P2).

Si la tâche est motorisée (P3), le concepteur doit décider quelles sont les solutions techniques qui réalisent cette tâche (P4), et à quel mode de fonctionnement appartient cette tâche (P5). Quel(s) est (sont) le(s) phénomène(s) dangereux engendré(s) par cette solution technique (P6) et quelles sont les zones dangereuses délimitant chaque phénomène (P7) ? Est-ce qu'il y aura une intervention humaine dans cette zone ? S'il n'y a pas d'intervention humaine, le concepteur entreprend les calculs de paramètres pour dimensionner le système (P8). Dans le cas contraire, le concepteur doit considérer l'intervention (tâche manuelle) dans cette zone.

Si la tâche est manuelle, le concepteur détermine quelle est l'équipe de travail (ou l'opérateur) concernée (P9), quel est le mode d'intervention auquel appartient cette tâche (P10), ainsi que les outils et consommables qui doivent être utilisés pour réaliser la tâche correctement (P11). Il

détermine aussi dans quelle zone l'opérateur doit intervenir (P₁₂). Ce qui entraîne une estimation du risque (P₁₃) et, ensuite, un calcul d'indice de risque (P₁₄).

Le concepteur oriente son travail selon l'indice de risque obtenu. S'il est acceptable, le concepteur continue le dimensionnement et le calcul du système (P₈). Si l'indice de risque n'est pas acceptable, une opération d'évaluation des données est effectuée pour déterminer le niveau de modifications nécessaire pour diminuer l'indice de risque (P₁₅). Ces modifications sont nécessaires afin d'appliquer une stratégie de prévention intrinsèque. Si cet indice est toujours non acceptable, des mesures de sécurité doivent être mises en place (P₁₆) pour protéger l'opérateur.

Au cours du processus de conception, des décisions doivent être prises afin d'aboutir à la réalisation des objectifs du cahier des charges. En particulier, pour réaliser une fonction il est possible d'utiliser plusieurs sous-systèmes basés sur des solutions techniques qui réalisent des tâches motorisées. Dans le cas de tâches manuelles, cela nécessite la conception d'un autre sous-système où l'opérateur qui appartient à une équipe de travail doit agir pour réaliser ou compléter la réalisation de la fonction.

Exemple : pour faire passer la bande (fonction 1) dans la plieuse et faire le premier pli (fonction 2), nous avons deux solutions techniques possibles, la première par entraînement avec deux rouleaux qui tournent en sens opposés, la deuxième grâce à un support de forme triangle qui réalise le premier pli. Ces deux solutions techniques sont matérialisées par le triangle et les rouleaux sous triangle. Ces deux systèmes réalisent en même temps les deux fonctions 1, 2 et sont deux sous-systèmes du système triangle. Le concepteur doit rechercher et prendre en compte tous les concepts liés à cette solution technique (les phénomènes, zones dangereuses, etc.) puis vérifier si la fonction est complète par rapport à la fonction globale du super-système. La nécessité de régler les rouleaux sous triangle fait apparaître une nouvelle fonction. Ceci nécessite des nouvelles solutions techniques et des nouvelles tâches manuelles, ce qui engendre de nouveaux risques à cause des interventions humaines nécessaires pour réaliser le réglage. Cela conduit le concepteur à rechercher une autre solution technique plus sûre. Si une solution plus sûre s'avère trop coûteuse, il compare les données entre « motoriser la fonction de réglage » ou choisir cette la solution de réglage manuel. En évaluant les avantages et inconvénients associés, il prendra la décision paraissant la plus adaptée.

En cas de choix de la solution motorisée, le concepteur en calcule les paramètres dimensionnels, les matières et les paramètres de surface etc. Le concepteur réitère ce raisonnement en prenant en compte la performance, la fabricabilité, la maintenabilité, etc.

Dans l'autre cas, le concepteur doit estimer les risques engendrés et les zones dangereuses associées, déterminer les interventions humaines prévisibles et préciser les mesures de sécurité nécessaires pour protéger l'opérateur et les contraintes produites par ces mesures (accessibilité, visibilité, etc.).

Lors d'une décision, le concepteur peut aboutir à plusieurs choix, parmi eux des choix contradictoires avec d'autres décisions déjà prises, ce qui produit des problèmes de conflit et nécessite une politique de gestion des alternatives possibles et d'argumentation de ces alternatives.

Enfin, le concepteur doit identifier les événements dangereux pouvant survenir dus au système (défaillances et pannes, etc.) et estimer ceux relevant d'actions de l'opérateur (neutralisation d'un dispositif de sécurité, mauvaise interprétation d'une procédure, etc.) ou même ceux relevant de l'environnement (autres machines et équipements existants à proximité de l'installation conçue).

D'une manière générale, le modèle proposé peut être utilisé par les personnes établissant les spécifications, les cahiers des charges, par les projeteurs sans omettre les personnes en charge du suivi de la conception.

Le décideur à chaque niveau du processus de conception peut être différent selon le problème envisagé. Si le problème est au niveau du choix de la solution technique à court terme, c'est le projeteur qui décide, mais si la décision est plus stratégique, alors, elle est renvoyée au niveau de la direction. Si, lorsque à un niveau de décision, il y a plusieurs critères à prendre en compte (la performance, le coût, le délai, la maintenabilité, la fabricabilité, la simplicité du système et la sécurité etc.) alors, pour chaque entité du modèle, plusieurs avis seront sollicités pour évaluer et valider la bonne décision.

Dans le processus de conception multidisciplinaire, les décisions sont prises dans des réunions périodiques tout au long du processus de conception. Dans ces réunions, notre modèle présente un intérêt significatif en terme de suivi du projet (ce qui est fait et ce qui reste à faire). En plus, il permet de prendre en compte la plupart des indicateurs pour évaluer une décision, de visualiser tous les paramètres à calculer (ex. les deux rouleaux tournant en sens opposés nécessitent le calcul des paramètres comme : le couple, l'inertie (masse et vitesse), les dimensions, le matériau, l'écartement, la forme et l'état de surface, la température, l'accessibilité), les risques engendrés par cette solution (risques d'écrasement, d'entraînement, de brûlure) et les zones dangereuses qui entourent le phénomène dangereux et pour lesquelles le concepteur doit déterminer les limites géométriques. De plus, le concepteur détermine les tâches réalisées par cette solution pour satisfaire la fonction. Ensuite, pour l'équipe de travail, le concepteur peut préciser la qualification de l'opérateur qui va réaliser une tâche manuelle précise, et déterminer dans quel mode d'intervention cela va se dérouler, avec quel outil et avec quel consommable.

4.7.2. Lors de retour de terrain

Le retour d'expérience est une voie de progrès et de compétitivité de l'entreprise, d'amélioration de ses performances. Il permet de référencer la boucle conception-réalisation-satisfaction du client [Thevenot 1999]. Chanchevier, dans [Chanchevier 1999], présente une méthodologie permettant de concevoir un système d'information d'entreprise dédié au retour d'expérience. Un double objectif est visé : d'une part, découvrir les informations cachées dans les données de production ou de maintenance et d'autre part, permettre une interrogation simple, conviviale et performante du système accessible au plus grand nombre d'usagers. Dans la suite, nous présentons un scénario afin de mieux appréhender comment le modèle générique de situation de travail permet de capitaliser et faciliter l'utilisation du retour d'expérience.

En fait, lorsque le concepteur intervient sur le site d'utilisation du système de production, les problèmes envisagés sont généralement de trois types. Des problèmes de panne peuvent se résoudre par l'intervention des dépanneurs qui appartiennent au service après vente (SAV). Il existe d'autres types de problèmes plus complexes qui sont liés à la performance du système et à sa productivité. Ces problèmes nécessitent la révision de certains points sur le système et un de ses sous-systèmes. Ces problèmes remontent vers le bureau d'études concerné qui cherche la cause de ce problème (solution technique, une tâche, etc.). Enfin, le troisième type de problème concerne la sécurité et les accidents qui peuvent survenir lors de l'exploitation du système.

Notre modèle est utilisable lors de la constatation d'un problème ; par exemple, en cas d'accident, le concepteur doit pouvoir disposer du maximum de données pertinentes afin de trouver la cause de cet accident (rupture d'un organe, mauvaise réalisation d'une tâche,

neutralisation de mesures de sécurité, etc.). Si un système est détérioré, quelle en est la cause ? Si une tâche est mal réalisée, comment peut-on expliquer cette dérive par rapport à la tâche prescrite (facilité, mauvais jugement, etc.) ? Dans le cas général, ce modèle est utilisable pour faire remonter les constatations des Conditions Limites d'Usage (CLU) et les Activités Limites d'Usage (ALU) [Didelot 2001].

Un scénario d'utilisation de notre modèle lors du retour de terrain est présenté dans la Figure 4.9. Le concepteur intervient chez l'utilisateur du système pour constater et diagnostiquer un problème signalé ou non par l'utilisateur (P₁). Il analyse le problème (P₂) puis il en détermine la cause (P₃). A partir de cette cause, il peut renseigner cette information dans le modèle pour identifier les facteurs liés au problème. Selon les résultats de l'analyse, le concepteur effectue une ou plusieurs modifications dans les limites de ce qui peut être réalisé (P₄, P₅, P₁₀, P₁₁). Les réalisations des différentes modifications peuvent être simultanées ou non (P₁₂). Un état de vérification des modifications proposées doit être réalisé pour assurer (C₁) la résolution du problème (P₁₃). Si les modifications proposées ne résolvent pas complètement le problème (C₂), une autre boucle de modification doit être effectuée (P₁₅) afin de trouver une solution correcte en remontant dans le modèle pour étudier de nouveau la cause du problème. Afin de faciliter la traçabilité du processus, les modifications apportées peuvent être conservées dans une version plus récente et portent les mêmes attributs de classement, mais un nom et une date différents de façon à pouvoir les distinguer.

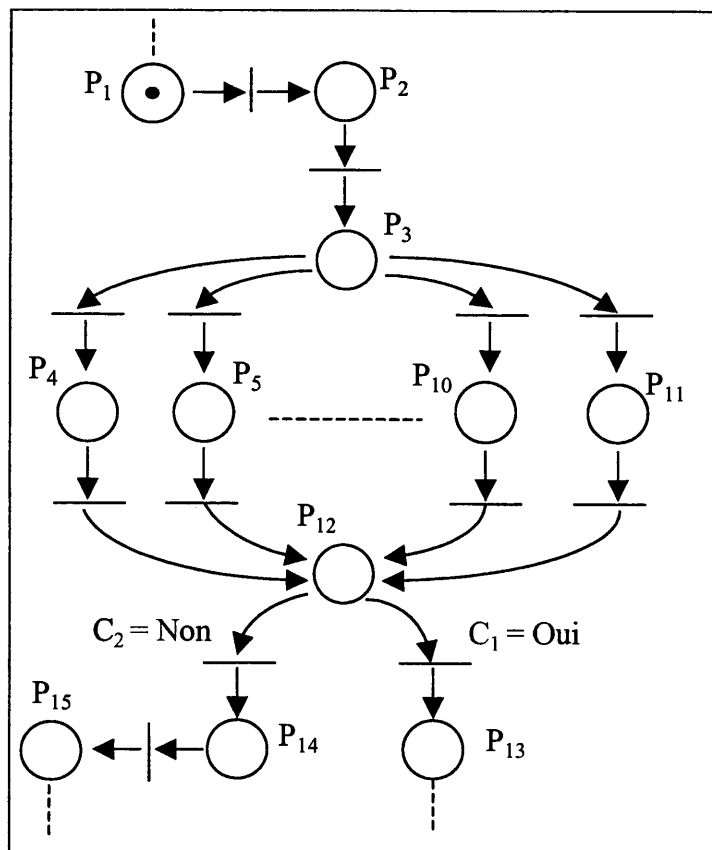


Figure 4.9 : Un scénario d'utilisation du modèle dans un cas de retour de terrain

L'intégration de cette dynamique dans le processus de conception nécessite l'utilisation d'une approche qui permet d'intégrer des agents et des points de vue différents. En effet, plusieurs métiers, connaissances et savoir-faire sont impliqués dans le processus, ce qui nécessite une capitalisation de l'information et de l'historique de conception afin de connaître les moments d'intervention des différents métiers. Afin d'être en mesure de supporter cette nécessité de

capitalisation de l'historique de la conception et du produit, nous proposons d'adopter et d'adapter à notre besoin les concepts de base de l'approche SAGEP, qui propose un cadre structurant à la traçabilité du cycle de vie du système conçu.

4.8. L'approche adoptée

Dans le paragraphe 2.5.2, nous avons présenté les différents modèles du processus de conception. Parmi ces derniers, Ouazzani [Ouazzani 1999] a présenté un modèle du processus de conception centré autour de la formalisation des objectifs qui se révèle intéressante dans une démarche de saisie de l'historique de conception (Figure 2.9). Pour cela, il propose la méthode SAGEP (Système d'Aide à la Gestion du Processus de conception de produit). Elle se veut un instrument particulier d'amélioration des possibilités de réutilisation en conception. Ses objectifs fonctionnels sont de capturer l'historique de conception, de gérer le processus de conception, d'informer par accès à l'historique de conception et de favoriser sa réutilisation. L'intérêt principal de cette approche est qu'elle permet la capitalisation des historiques de conception en associant les fonctionnalités de documentation, compréhension, vérification, analyse, navigation, modification, maintien de la cohérence, aide à la re-conception, aide au raisonnement en cours de processus de conception et aide à la communication. Cette approche consiste en trois étapes :

- Recueil de l'historique de conception qui comprend l'utilisation des fiches d'historique de conception et le suivi de celles-ci. Ceci peut être effectué manuellement ou informatiquement à partir des concepts de base du modèle de processus. Les solutions proposées par les concepteurs, les schémas de principes formalisés, les descriptions, et les arguments sous forme d'avantages et d'inconvénients de ces solutions, sont tous transcrits dans ces fiches d'historique de conception (Figure 4.10 sans la notion ressource).
- Formalisation de l'historique de conception par deux formalismes graphiques complémentaires : la structure d'objectifs et le graphe d'état du processus.
- Exploitation de la méthode SAGEP par l'exploration de l'arbre d'objectifs et l'analyse de la matrice d'alternatives générées. Cette matrice permet de visualiser les différentes alternatives générées lors d'un processus de conception achevé ou en cours. Elle peut aussi supporter la démarche de modification d'une alternative. Enfin, elle permet de sélectionner l'ensemble des choix qui concernent un composant particulier du produit.

Nous remarquons que cette approche ne prend pas en compte les ressources (outils, base de données, etc.) nécessaires pour réaliser les actions qui satisfont les objectifs. De plus, ces ressources peuvent être considérées comme des arguments pour supporter ou s'opposer à une action ou une alternative choisie (ressource disponible ou non, d'un coût trop élevé, etc.). C'est, pour cela, que nous proposons d'ajouter ce concept de ressource qui permet de mieux caractériser et d'évaluer la possibilité de réaliser les actions.

Les acteurs métiers sont également considérés comme des ressources pour une action. Enfin, les bases de données utilisées lors de la conception sont stockées dans les données d'entrée. Ainsi, le fait d'ajouter la notion de ressources au modèle proposé par Ouazzani (Figure 4.11) permet d'enrichir et de préciser l'historique de conception en ajoutant un autre aspect d'information.

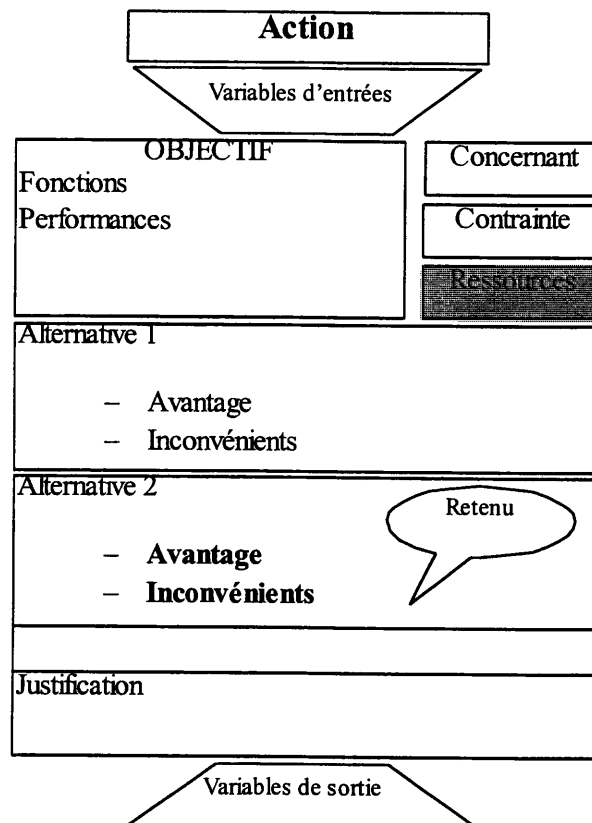


Figure 4.10 : Fiche d'historique de conception

La fiche complète d'historique de conception repose sur les différents concepts pertinents pour définir et caractériser les étapes du processus de conception. Ainsi, une action est définie par la faculté d'agir d'un acteur ou d'un ensemble d'acteurs pour tendre vers la satisfaction des objectifs. Mais, cette action exige des ressources pour être réalisée. Ces ressources doivent être gérées et organisées. Ouazzani a montré quatre espaces processus/produit, gestion du processus/processus, organisation/processus et gestion/information. Dans l'espace organisation/processus, il n'a considéré que l'organisation de l'ensemble d'acteurs qui se coordonnent de manière à concourir aux objectifs. La relation organisation/processus permet d'identifier que chaque acteur a des actions bien définies. La notion de ressource ajoutée au modèle prend sa place dans cet espace. Ainsi, pour chaque acteur qui réalise une action, on attache les ressources nécessaires à la réalisation de cette action (outils informatiques, documents, bases de données, etc.) (Figure 4.11).

Ainsi, cette méthode de capitalisation du processus de conception concerne tous les acteurs impliqués dans un projet de conception. Elle est censée permettre à un chef de projet de suivre l'évolution de son projet et offrir au concepteur la possibilité de réutilisation et d'analyse d'un projet en cours ou antérieur.

Nous adoptons cette méthode avec deux extensions. Nous avons illustré la première précédemment, par la prise en compte des ressources utilisées dans le processus de conception. La deuxième, au niveau pratique, se traduit par la prise en compte de l'aspect informatique en enregistrant les fiches de l'historique de conception numériquement. L'intérêt de cette étape est suffisamment clair pour ne pas devoir être plus argumenté. Les champs constituant ces fiches sont directement reliés au modèle en base de données car ils correspondent à des éléments du modèle conceptuel présenté au chapitre 3. De plus, la « brique de base » présentée sur la Figure 4.11 permet de caractériser chaque tâche de conception ou d'utilisation du système. En effet, une tâche peut être considérée comme une

action menée afin de répondre à un objectif ou peut être décomposée en un ensemble d'actions. Ainsi, une instance de cette « brique de base » peut être associée à chaque nœud des réseaux de Pétri proposés pour représenter les processus (Figure 4.7, Figure 4.8, Figure 4.9).

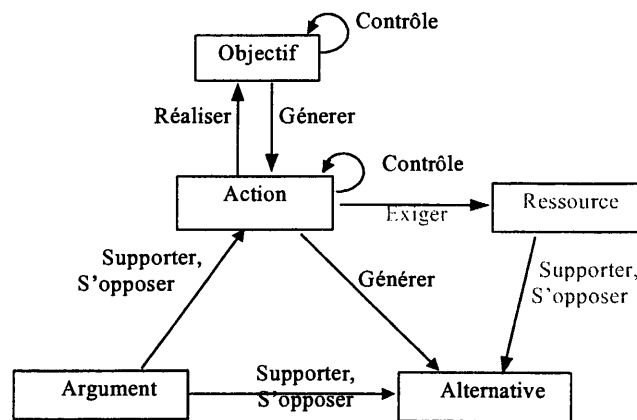


Figure 4.11 : L'ajout de la notion « Ressources » dans le modèle de Ouazzani

4.9. Conclusion chapitre 4

Dans ce chapitre, nous avons focalisé notre attention sur la prise en compte de la dynamique de la situation de travail dans l'utilisation de notre modèle et dans une approche socio-technique. Nous avons présenté, d'abord, le domaine d'utilisation de notre modèle puis les concepts principaux qui permettent de définir la situation de travail dans l'échelle de temps et sa dynamique. Puis, nous avons présenté les différents niveaux de cette dynamique et proposé une approche de conception basée sur l'utilisation des concepts contenus dans le modèle de situation de travail. La dynamique de l'utilisation de ce modèle permet de faciliter la communication entre les différents acteurs du projet afin d'éviter des modifications ultérieures. Malgré tout, il reste indispensable d'améliorer la recherche de moyens (méthodes, outils, etc.) pour résoudre des contradictions comme sécurité-productivité. Nous proposons de tels moyens dans le chapitre suivant et montrons la pertinence du modèle de situation de travail aussi que des concepts associés pour cette phase de résolution.

5. Chapitre 5

Traitement du modèle de « Situation de travail » pour la résolution des problèmes de contradiction

Table des matières du chapitre 5

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 5	139
5.1. INTRODUCTION.....	141
5.2. CORRESPONDANCE UTILISATION DU MODELE, NORMES, CONTRADICTION	142
5.2.1. <i>Prévention intrinsèque</i>	142
5.2.2. <i>Protection</i>	143
5.2.3. <i>Instructions ou Informations</i>	143
5.3. THEORIE DE LA RESOLUTION DES PROBLEMES D'INVENTION (TRIZ)	144
5.3.1. <i>TRIZ une méthode de conception créative</i>	144
5.3.2. <i>TRIZ une méthode de résolution des contradictions</i>	145
5.3.3. <i>La matrice de contradiction</i>	146
5.4. LES CONTRADICTIONS ET LES CONCEPTS DU MODELE.	147
5.5. LE TRAITEMENT DU MODELE ET L'UTILISATION DU TRIZ	147
5.5.1. <i>Au niveau de la prévention intrinsèque</i>	148
5.5.2. <i>Au niveau de la protection</i>	148
5.5.3. <i>Au niveau de l'instruction ou de l'information pour l'utilisation</i>	149
5.6. L'APPLICABILITE DE TRIZ SUR LES CONTRADICTIONS LIEES A LA SECURITE	149
5.6.1. <i>Problèmes rencontrés sur un système conforme aux règles de sécurité</i>	150
5.6.2. <i>La correspondance avec TRIZ</i>	151
5.6.3. <i>Les résultats de nos analyses</i>	153
5.7. APPLICATION A UN CAS DE RETOUR DE TERRAIN	154
5.7.1. <i>La procédure de nettoyage du blanchet</i>	155
5.7.2. <i>Problème de base</i>	156
5.7.3. <i>Reformulation du problème</i>	157
5.8. CONCLUSION CHAPITRE 5.....	158

5.1. Introduction

En règle générale, on peut rappeler que la sécurité est plutôt considérée comme une contrainte par les concepteurs, les réponses apportées par les normes et réglementations paraissent incomplètes quant à la maîtrise efficace des risques [Didelot & al 2000] pour les systèmes en permanente évolution. Pourtant, le fait que la sécurité soit liée à un surcoût peut évoluer si l'on utilise des méthodes efficaces permettant de surmonter la contradiction productivité/sécurité, en particulier, par la prise en compte le plus tôt possible de ces contraintes. Il apparaît ainsi des contradictions qui correspondent à des exigences antagonistes (coût, gain immédiat, risque potentiel) auxquelles le concepteur doit faire face. L'objectif de ce chapitre est donc de proposer des éléments de réflexion pour piloter l'émergence de nouvelles solutions concernant la sécurité à partir de notre modèle « Situation de travail ». Nous montrons, d'une part, la correspondance avec la stratégie de la prévention suggérée par les normes et d'autre part, la gestion de la résolution de contradiction. Nos propositions font largement appel aux nouvelles méthodes liées aux démarches d'innovation et, en particulier, l'approche TRIZ qui sera développée au paragraphe 5.3.

L'analyse de la littérature portant sur la prise en compte de la sécurité des hommes dans la conception de systèmes de production montre que l'on peut regrouper les travaux en deux grandes classes qui relèvent toutes les deux de l'ergonomie. La première concerne l'amélioration de la conception du point de vue ergonomique dans son sens premier, le concepteur adopte une approche anthropocentrée, il cherche à réaliser un système adapté à l'homme donc à alléger la charge de travail physique ou cognitif [Karwowski & al 1998]. La seconde classe concerne les risques d'atteinte à la santé et à l'intégrité physique des personnes. Les mesures de sécurité qui en sont déduites conduisent souvent à une augmentation de la charge de travail ou alourdissent les procédures d'exploitation du système. Les travaux portent essentiellement sur les méthodes d'analyse et de diagnostic de postes et conduisent plus rarement à des propositions de solutions.

La conception de systèmes de production a toujours été engagée sous l'angle technique au travers d'une ingénierie technocentrée. Dans ce cas, le système est le sujet et l'objet de la tâche technique. Notre objectif est de prendre en compte les tâches socio-techniques. Dans ce cas, le sujet de la tâche est l'opérateur et son objet est le système. L'intégration actuelle de la sécurité est faite par le passage d'une tâche socio-technique à une tâche technique, par exemple, motoriser la tâche ou/et automatiser le système (Figure 5.1).

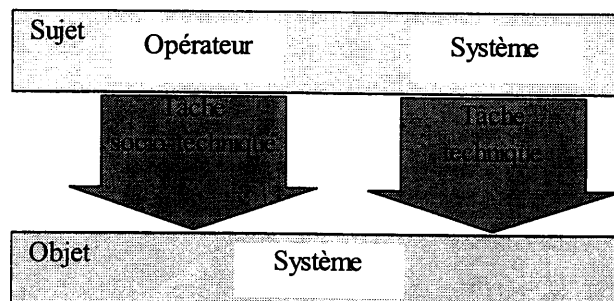


Figure 5.1 : Tâche technique et tâche socio-technique

La prise en compte de la sécurité de l'opérateur est considérée comme une contrainte pour le concepteur parce que coûteuse et pouvant conduire à une gêne au niveau de l'utilisation (en phase nominale, de réglage, de maintenance, etc.) voire à une réduction de la productivité. Ceci conduit à l'émergence de contradictions, par exemple le concepteur ajoutera des moyens

de protection pour satisfaire les exigences de sécurité au coût minimal et en limitant leur complexité. D'un autre côté, ces moyens de protection pourront diminuer la liberté d'action de l'opérateur en limitant l'espace nécessaire lors de la réalisation de son travail. La diversité disciplinaire des intervenants et points de vue associés peut créer également plusieurs contradictions : aux niveaux organisationnels, performances, coûts, métiers. Lors de la sélection d'une solution technique, le concepteur doit connaître et identifier les risques susceptibles d'être engendrés par les solutions retenues et lorsqu'elles existent, les alternatives ou compromis possibles [Hasan & al 2001a].

Cette prise en compte, au niveau de la conception comme de l'exploitation, met en évidence une gestion de contradictions comportant des aspects techniques, économiques ou humains : par exemple, choix d'une solution technique performante mais coûteuse au niveau de la conception, bénéfice immédiat ou risque potentiel au niveau de l'exploitation. Ces contradictions sont généralement résolues par des compromis.

5.2. Correspondance utilisation du modèle, normes, contradictions

L'utilisation de notre modèle n'exige pas obligatoirement de rechercher la référence aux normes mais nous allons montrer qu'il y a émergence des principes de solutions, énoncés par les normes, par l'exploitation des concepts du modèle (Figure 5.2). Ceci s'inscrit bien dans les principes d'émergence des systèmes connexionnistes [Garro 1999 ; Blanco 1998].

La stratégie de conception de machines sûres telles que préconisées par la norme européenne EN 292 (Partie 1 [Norme 1991] et partie 2 [Norme 1999]) se base sur trois notions fondamentales (cf. chapitre 1). Nous rappelons ces trois notions et la correspondance avec les concepts de notre modèle.

5.2.1. Prévention intrinsèque

La prévention intrinsèque est constituée par les deux actions suivantes, mises en oeuvre séparément ou conjointement. La première est d'éviter ou de réduire le plus grand nombre de phénomènes dangereux en choisissant convenablement les caractéristiques de conception (Solution technique, Phénomène dangereux). Et la deuxième est de limiter les expositions des personnes aux phénomènes dangereux en réduisant la nécessité d'intervenir dans des zones dangereuses (Tâche, Zone dangereuse, Système, Environnement, Événement dangereux).

L'exploitation de notre modèle dans les deux cas (la conception générale et le retour d'expérience) correspond bien à la stratégie des normes. Or, lors de la conception générale (cf. § 4.7.1) le concepteur, pour satisfaire la fonction demandée, fait son choix de conception (solution technique, tâche, etc.). Puis, il calcule les autres concepts (zones et phénomènes dangereux, système, etc.). Enfin, il évalue les risques engendrés par ces choix en calculant l'indice de risque lié à chaque risque estimé (Figure 3.16). Si l'indice de risque est acceptable, alors, la conception est jugée « bonne ». Sinon, le concepteur doit modifier ces choix afin de diminuer l'indice de risque (motoriser une tâche, changer le choix de la solution technique, modifier la tâche de l'opérateur, etc.).

L'utilisation de notre modèle correspondant à la première étape de la prévention intrinsèque, elle peut conduire à une contradiction physique [Savransky 1999b] : il se peut qu'une solution technique réponde au cahier des charges mais engendre un phénomène dangereux. On trouvera, dans ce cas, des moyens de lever cette contradiction. Par exemple, une séparation dans l'espace sera assurée par la motorisation des réglages et l'éloignement des opérateurs des zones dangereuses. On pourra retarder une opération par rapport à une autre pour résoudre la contradiction de simultanéité et opérer, dans ce cas, une séparation dans le temps. La

séparation des composants est réalisée par la répartition des fonctions techniques (cinématique, bâti, cartérisation). La modification de la géométrie par une meilleure accessibilité pour les opérateurs (fonctionnement nominal, maintenance, réglage, etc.) répond à l'objectif de séparation des caractéristiques.

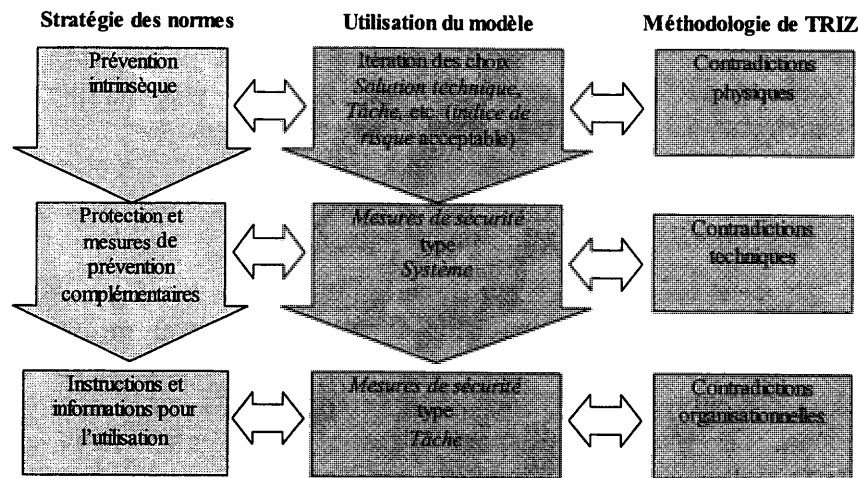


Figure 5.2 : La correspondance entre l'utilisation du modèle et la stratégie des normes.

5.2.2. Protection

La protection et les mesures de prévention complémentaires, qui sont des moyens de protection (protecteurs, dispositifs de protection) doivent être utilisés afin de protéger les personnes contre les risques que l'application des techniques de prévention intrinsèque ne permet raisonnablement ni d'éviter ni de limiter suffisamment ; des mesures de prévention complémentaires incluant d'autres équipements (équipement d'arrêt d'urgence, etc.) peuvent être nécessaires (Mesures de sécurité type Système). En premier lieu, ces mesures peuvent être des protecteurs, des capteurs, etc.. Mais, ces mesures de protection (protecteurs, barrières, capteurs, etc.) sont des parties ou des organes du système. Ceci est pris en compte dans le modèle par le concept Mesures de sécurité de type Système. Cette étape correspond bien à la protection et aux mesures de prévention complémentaires exigées par les normes.

Dans ce cas, ces mesures de sécurité créent une contradiction technique [Savransky 1999b] : le protecteur doit exister pour augmenter le niveau de sécurité mais l'accessibilité et/ou la visibilité s'en trouvent diminuées.

5.2.3. Instructions ou Informations

Les instructions ou les informations pour l'utilisation sont des messages pouvant consister en des textes, des mots, des signes, des signaux, des symboles ou des diagrammes, utilisés séparément ou conjointement pour informer l'utilisateur. Elles doivent comprendre toutes les instructions nécessaires pour que la machine soit utilisée correctement et en sécurité (Mesures de sécurité type Tâche).

S'il existe toujours des risques résiduels, à la fin de cette étape, des mesures de sécurité de type « Tâche » à réaliser par l'opérateur sont possibles (proposer des procédures, réaliser une certaine manipulation, lire une consigne, faire attention à un signe, etc.). A ce niveau aussi un problème subsiste lorsque l'opérateur néglige ces instructions pour chercher à réaliser sa tâche rapidement et facilement. Nous constatons un autre type de contradiction qui est cette fois organisationnel. L'augmentation de la sécurité exige des procédures et des tâches plus complexes afin d'éviter les risques mais diminue le champ d'action de l'opérateur au travail.

5.3. Théorie de la Résolution des Problèmes d'Invention (TRIZ)

Avant de présenter nos travaux concernant la résolution des contradictions liées à l'intégration de la sécurité comme nous venons de le montrer et ceci en s'appuyant sur l'approche TRIZ, nous allons présenter rapidement cette dernière. TRIZ, acronyme russe de « Théorie de la Résolution des Problèmes d'Invention », permet de guider le concepteur dans une approche systémique pour trouver les solutions des problèmes posés, en particulier, en conception et innovation de produits. TRIZ ne donne pas les solutions mais propose plutôt des pistes pour chercher celle-ci (Figure 5.3). Elle est basée sur cinq notions qui sont : le résultat idéal final, l'inertie psychologique, les niveaux d'inventivité, les lois d'évolution et la contradiction. Un de ces outils [Royzen 1993] est les lois d'évolution parmi lesquelles nous trouvons la loi d'évolution vers la diminution de la participation humaine.

TRIZ se base sur une idée fondamentale de pouvoir générer des idées utiles pour le développement d'un produit ou d'un procédé de nouvelle génération. Elle dispose d'outils différents pour formaliser les problèmes et permettre de les résoudre, comme les hommes miniatures, les opérateurs DTC (Dimension, Temps, Coût) et la méthode poly-écrans [Savransky 1999a]. De plus, elle dispose d'autres outils pour résoudre les problèmes formalisés comme l'algorithme de résolution des problèmes d'innovation ARIZ [Marconi 1998], les 76 Standards [Terninko & al 2000], l'analyse substances-champs (vépoles) [Terninko 2000], la matrice de résolution des contradictions techniques et les principes de séparation [Cavalucci 1999]. Sur le marché on trouve des outils d'innovation assistée par ordinateur basés sur l'approche TRIZ comme [Techoptimizer] et [Ideationtriz].

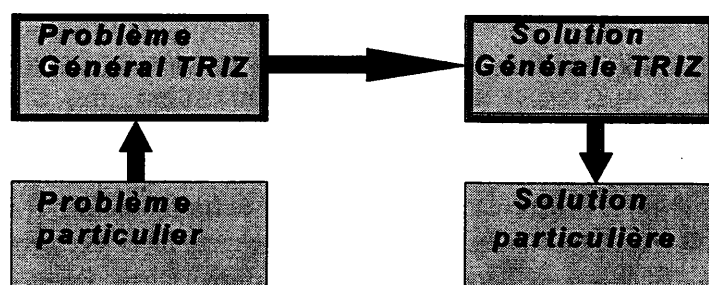


Figure 5.3 : Le principe de résolution de problème par TRIZ

Normalement, les applications principales de TRIZ sont limitées à la résolution des problèmes technologiques, à de nouvelles voies physiques ou techniques, à l'identification de scénarios de recherche et de développement optimal de système et, enfin, à l'analyse préliminaire de défaillance. Actuellement, la tendance est d'appliquer TRIZ pour des problèmes moins techniques [Zlotin & al 2001], pour les problèmes non-technique (éducation, médecine, biologie, etc.) [Bertolucci 2001], pour la gestion de production.

5.3.1. TRIZ une méthode de conception créative

Dans la littérature, la méthode TRIZ a été évaluée, appliquée et comparée aux méthodes de conception créatives. Cavallucci [Cavallucci 1999] positionne TRIZ par rapport à d'autres méthodes utilisées en conception pour permettre d'exprimer les besoins ou d'analyser des solutions. Zusman a comparé et classé des centaines de méthodes et techniques de résolution créatives suivant sept critères : techniques d'organisation et de motivation, techniques pointues, techniques systémiques, techniques de focalisation, techniques évolutionnistes, techniques qui utilisent les bases de connaissances et techniques stochastiques ; ces dernières étant le seul critère parmi les sept auquel TRIZ ne répond pas [Zusman & al 1999 ; Gogu 1999]. Ces travaux ont souvent traité des problèmes d'innovation technique et ont fait l'objet

de nombreuses applications industrielles [Triz-journal]. Au niveau de la sécurité, Marsot [Marsot 2001] a montré que la méthode TRIZ peut être un vecteur d'intégration des exigences de prévention des risques dans la conception des équipements de travail.

5.3.2. TRIZ une méthode de résolution des contradictions

Selon Savransky, la contradiction signifie littéralement « non » mais généralement elle indique les propositions qui soutiennent clairement l'incompatibilité et l'opposition des choses. Il a présenté l'origine et les types de ce concept « contradiction » [Savransky 1998, Savransky 1999b]. TRIZ identifie deux types de contradictions liées au produit (au sens large) : physique et technique.

- La contradiction physique : l'opposition directe de deux valeurs pour un paramètre formulé par un seul et même système, par exemple, un rouleau doit tourner à grande vitesse pour assurer la production et à vitesse lente pour assurer son nettoyage.
- La contradiction technique (ou d'ingénierie) est une situation dans laquelle l'amélioration d'un paramètre A conduit à la détérioration d'un paramètre B, par exemple, ajouter une protection matérielle pour augmenter la sécurité diminue l'accessibilité.
- On constate qu'il existe également dans l'exploitation des systèmes de production des contradictions organisationnelles qui sont des situations dans lesquelles l'amélioration d'une procédure augmente la charge de travail ou complexifie le système, par exemple, l'application de la procédure de nettoyage du blanchet exigée par le concepteur entraîne l'arrêt du système et des nouveaux réglages, elle augmente, ainsi, la charge de travail de l'opérateur. On constate que pour résoudre ces dernières contradictions on retombe sur des contradictions soit physiques soit techniques [Hasan & al 2001a].

Savransky a proposé une typologie de différentes contradictions [Savransky 1998]. Ces types sont les contradictions : naturelle, humain-typique, technique-typique (Figure 5.4).

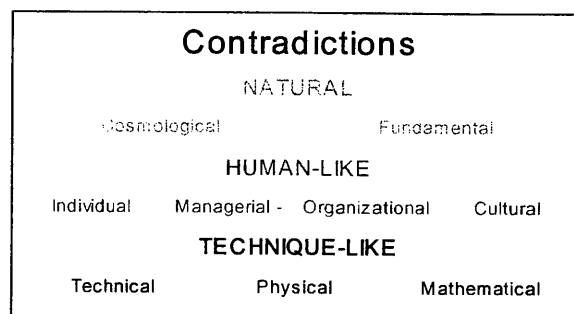


Figure 5.4 : Typologie des contradictions extrait de [Savransky 1998].

Chaque type est divisé en plusieurs sous-types. Les contradictions technique-typique sont de nature physique, technique ou nouvellement de nature mathématique. Les contradictions humain-typique sont de nature individuelle, manageriale, organisationnelle et culturelle. Enfin, les contradictions naturelles sont cosmologiques ou fondamentales. Savransky a présenté des exemples de chaque type de ces contradictions. Cet aspect est fondamental dans les méthodes d'innovation. TRIZ propose une démarche systématique et exhaustive de résolution de contradiction en utilisant la matrice de contradiction pour résoudre les problèmes de contradictions techniques [Matrix 1997 ; Royzen 1997], les principes de séparation (dans le temps, l'espace, en phase) et le changement vers un super ou sous-système pour résoudre les problèmes de contradictions physiques. Ces contradictions physiques sont normalement de nature technique (liées au système) mais des contradictions physiques de

nature organisationnelle ont été récemment traitées [Hipple 1999]. Dans son article, Hipple a illustré la possibilité d'appliquer les principes de séparation sur des problèmes d'organisation des acteurs de conception au niveau du processus d'innovation. Car l'organisation des acteurs dans le processus de conception peut créer plusieurs contradictions. La résolution des contradictions physiques nécessite l'application de la loi de séparation dans le temps et/ou dans l'espace. A cette loi correspond le principe de sécurité par éloignement de l'homme grâce à la motorisation des tâches ou par interdiction de pénétrer dans les zones dangereuses.

Dans nos travaux de recherche, nous nous sommes intéressés spécialement à ce point de l'approche TRIZ (résolution des problèmes de contradiction). En effet, l'intégration de la sécurité conduit souvent à des contradictions résolues par des compromis comme nous l'avons montré au paragraphe 5.1. Plus particulièrement nous nous intéressons à la matrice de contradiction afin de montrer la possibilité d'utiliser la méthodologie de TRIZ pour résoudre les contradictions liées à la sécurité.

5.3.3. La matrice de contradiction

Altshuller, créateur de la méthode, a identifié 39 paramètres standards (Tableau 5.1) synthétisant les facteurs permettant de modéliser les contradictions techniques.

1. <i>masse/poids d'un objet mobile</i>	21. <i>puissance</i>
2. <i>masse/poids d'un objet fixe</i>	22. <i>perte d'énergie</i>
3. <i>longueur d'un objet mobile</i>	23. <i>perte de substance</i>
4. <i>longueur d'un objet fixe</i>	24. <i>perte d'information</i>
5. <i>surface d'un objet mobile</i>	25. <i>perte de temps</i>
6. <i>surface d'un objet fixe</i>	26. <i>quantité de substance</i>
7. <i>volume d'un objet mobile</i>	27. <i>fiabilité</i>
8. <i>volume d'un objet fixe</i>	28. <i>précision de la mesure</i>
9. <i>vitesse</i>	29. <i>précision de l'usinage</i>
10. <i>force</i>	30. <i>facteurs néfastes agissant sur l'objet</i>
11. <i>contraintes ou pression</i>	31. <i>facteurs néfastes générés par l'objet</i>
12. <i>forme</i>	32. <i>fabricabilité</i>
13. <i>stabilité de la composition d'un objet</i>	33. <i>facilité d'utilisation</i>
14. <i>résistance</i>	34. <i>facilité de réparation</i>
15. <i>durée de l'action d'un objet mobile</i>	35. <i>adaptabilité</i>
16. <i>durée de l'action d'un objet fixe</i>	36. <i>complexité de l'appareil</i>
17. <i>température</i>	37. <i>difficulté de détection et de mesure</i>
18. <i>brillance</i>	38. <i>degré d'automatisation</i>
19. <i>utilisation d'énergie d'un objet mobile</i>	39. <i>productivité.</i>
20. <i>utilisation d'énergie d'un objet fixe</i>	

Tableau 5.1 : Les paramètres standards de la matrice de Altshuller

L'interaction entre ces paramètres standards est représentée par une matrice (matrice de contradiction) dans laquelle des principes de solutions (Altshuller en donne 40 présentés dans [Williams 1998], cf. Annexe 5) levant ces contradictions sont fournis [Royzen 1997 ; Williams 1998 ; Cavallucci & al 1998 ; Gogu 1999] (Les lignes représentent les paramètres à détériorer et les colonnes les paramètres à améliorer). L'inventivité du concepteur réside, alors, dans l'interprétation de ce principe générique à son problème particulier. La matrice complète est présentée dans [Domb 1998 ; Matrix 1997]. Par ailleurs [Marsot 2001] a présenté la façon d'utiliser cette matrice dans le domaine de la sécurité.

Cette matrice n'est pas stable et il en existe des versions qui déclinent plus de paramètres et de principes d'innovation [Savransky 1996].

5.4. Les contradictions et les concepts du modèle

L'analyse de notre modèle permet de montrer son intérêt pour faire apparaître différentes contradictions (physiques, techniques, organisationnelles) que nous allons préciser en analysant les concepts identifiés [Hasan & al 2001d] :

- Fonction : le développement d'une nouvelle fonction dans le système ou d'amélioration d'un élément de celui-ci est contraint par d'autres éléments existants définis par l'objectif global de fonctionnement du système et par le coût.
- Solution technique : séparation dans le temps ou dans l'espace généralement résolue par le concepteur par des compromis (contradiction physique).
- Système : contradiction technique à cause de la systématisation de deux ou plusieurs solutions techniques contradictoires entre elles (re-dimensionner les solutions et re-assembler différemment les composants).
- Tâche - attributs : durée, séquençage et composition (procédure) conduisent à une contradiction organisationnelle qui devient technique ou physique suivant le cas (séparation dans le temps ou l'espace), mais entraîne parfois une augmentation au niveau de la charge de travail (fonction néfaste) et améliore le niveau de sécurité (fonction utile).
- Auxiliaires (Outil et Consommable) : nécessité d'utilisation d'un auxiliaire (fonction utile) mais cet auxiliaire peut causer un risque (fonction néfaste).
- Zone dangereuse : le dimensionnement et la composition des zones dangereuses jouent un rôle fondamental dans la prévention intrinsèque lors de la systématisation de ces zones (cf. § 3.6.10).
- Mesures de sécurité : si ces mesures sont de type protection (barrières, porte, etc.) l'accessibilité et la visibilité diminuent et la sécurité augmente, ceci entraîne plus de contraintes techniques ou organisationnelles lors de l'utilisation du système. Si les mesures de sécurité sont des procédures de sécurité définies par le constructeur on revient sur le concept « Tâche ».

L'analyse des problèmes de sécurité des opérateurs dès la conception et les observations menées dans le cadre du projet pluridisciplinaire (Annexe 1) nous amène à approfondir la réflexion sur les contradictions liées à la sécurité en reprenant la démarche développée dans TRIZ. Cette dernière permet de prendre en compte la sécurité mais encore de façon incomplète. Nos analyses permettent néanmoins de montrer la possibilité d'utiliser de façon efficace la méthode TRIZ. Elles conduisent à proposer d'enrichir la base de données de TRIZ pour une application au domaine de la sécurité.

Dans la suite, nous présentons nos analyses relatives à un problème de sécurité de système de production automatisé complexe : une ligne d'imprimerie, support du travail de recherche du groupe (Annexe 1). Ce travail se focalise principalement sur les conditions limites d'utilisation (CLU) qui apparaissent parfois à cause des choix faits par le concepteur pour satisfaire certaines prescriptions normatives tout en répondant à sa vision de l'utilisation normale des équipements.

5.5. Le traitement du modèle et l'utilisation de TRIZ

Nous avons souligné que l'utilisation de notre modèle est en cohérence avec l'application de la stratégie de prévention des risques exigée par les normes. Celles-ci ne déclinent pas de méthode particulière d'application de cette stratégie. Par l'analyse des contradictions liées à

l'amélioration de la sécurité, nous avons effectué des constats à divers niveaux [Hasan & al 2001d] :

5.5.1. Au niveau de la prévention intrinsèque

A ce niveau les contradictions sont des contradictions physiques (cf. § 5.3.2), (Figure 5.2). La nécessité de satisfaire une fonction exigée dans le cahier des charges fonctionnel contraint l'acteur de conception à proposer une solution technique apte à remplir cette fonction (fonction utile). Mais, cette solution technique peut engendrer des phénomènes dangereux qui à leur tour définiront des zones dangereuses (fonction néfaste). C'est une contradiction physique parce que le même objet (solution technique) a deux contraintes opposées. A ce niveau il faut supprimer la fonction néfaste :

- Soit par l'utilisation des principes de séparation (dans le temps, l'espace et en phase). Dans notre problématique cela signifie l'éloignement de l'opérateur des phénomènes dangereux et des zones dangereuses. Ce point correspond bien aux exigences des normes.
- Soit par la satisfaction des conditions exigées (fonction remplie et risque acceptable) ce qui implique le ré-ajustement des concepts du modèle proposé (dimensionnement des zones dangereuses (cf. § 3.6.10), modification de la tâche, etc.) pour l'obtention d'un niveau de risque acceptable.
- Soit par le changement du niveau en passant vers le super/sous-système. C'est à dire en modifiant la fonction et en la réalisant à l'aide d'un super-système ou en la divisant pour la faire exécuter par plusieurs sous-systèmes. Ceci est également possible pour le concept Tâche.

5.5.2. Au niveau de la protection

Les contradictions, à ce niveau, sont des contradictions techniques (cf. § 5.3.2) parce que le concepteur n'est pas parvenu ni à diminuer l'indice de risque ni à éloigner l'opérateur (Figure 5.2). En premier lieu et en utilisant l'analyse substances-champs (vépoles) et les 76 standards de TRIZ [Terninko & al 2000], TRIZ nous propose des compromis. En fait, les 76 standards sont utiles pour améliorer le système après sa modélisation en utilisant l'analyse substances-champs. Ce qui explique la proposition de compromis comme des protecteurs, des grilles, etc. mais ces compromis, tout en augmentant la sécurité, diminuent l'accessibilité et la visibilité, ce qui conduit, alors, à diminuer la productivité. Ainsi, nous avons ici une contradiction entre deux paramètres.

Par exemple, la longueur et la surface d'un protecteur augmentent la sécurité mais diminuent parfois la productivité parce que cela diminue l'accessibilité nécessaire à l'opérateur pour réaliser correctement et au plus vite sa tâche. A ce niveau de problème, le concept Mesures de sécurité proposé dans le modèle générique de situation de travail permet de bien intégrer ces mesures par l'anticipation et la prise en compte de la contradiction productivité-sécurité.

En deuxième lieu, pour résoudre ces contradictions définitivement, nous pouvons utiliser la matrice de contradiction (cf. § 5.3.3). Mais, la question importante, à ce niveau, est de savoir si cette matrice permet, en utilisant ses 39 paramètres standards et 40 principes d'innovation, de résoudre les contradictions liées à l'intégration de la sécurité. En fait, nous ne trouvons pas, dans la matrice, des paramètres permettant de modéliser directement de tels problèmes. Pour cela, nous proposons une analyse permettant de confirmer la possibilité et l'utilité d'utiliser TRIZ pour résoudre les contradictions productivité-sécurité (cf. § 5.6).

En troisième lieu, si la protection est toujours nécessaire, il faut créer la fonction sécurité. C'est le point de vue fonctionnel et non technique ou opérationnel du principe de protection. Dans ce cas, les Mesures de sécurité de type système (protecteurs, capteurs etc.) doivent être considérées comme des systèmes qui remplissent la fonction de sécurité et être analysées assez tôt dans les phases de conception pour diminuer le plus possible les contraintes d'utilisation du système.

Nous présentons ici un exemple des contradictions résultant de l'ajout tardif de protecteurs pour augmenter la sécurité de l'opérateur. Les normes interdisent l'accès aux organes tournants, pour cela le concepteur ajoute des barrières fixes s'il n'y a pas de nécessité d'intervention humaine, dans le cas contraire, il ajoute des portes qui déclenchent l'arrêt du système lors de leur ouverture. Cependant, certains réglages dans la plieuse nécessitent la rotation de certains rouleaux pendant l'intervention, alors, le concepteur a ajouté un système permettant de les faire tourner en vitesse lente. Pour conduire et contrôler l'intervention, le même opérateur doit atteindre à la fois le pupitre de commande et l'organe. Ceci conduit à une contradiction physique : le pupitre de commande a été déplacé mais n'est plus accessible lors de l'ouverture de la porte de protection. Cette réalité pousse l'opérateur à démonter les portes de protection et à neutraliser les capteurs d'arrêt du système. Lors de l'analyse du problème et à partir de concepts identifiés par notre modèle, nous constatons que la prise en compte des modes d'intervention (réglage, maintenance, etc.) permet d'éviter une telle contradiction. Le traitement des attributs décomposition et interface du concept « Système » permet lors de l'assemblage des équipements de bien placer le pupitre de commande et l'ouverture de porte.

5.5.3. Au niveau de l'instruction ou de l'information pour l'utilisation

Les contradictions ici sont de type organisationnel. Or, les Mesures de sécurité sont de type tâche à appliquer et à réaliser par l'opérateur. Ces contradictions existent lorsque le concepteur n'arrive pas à diminuer/supprimer le phénomène dangereux avec la nécessité d'intervention humaine. Ceci exige que certaines procédures soient appliquées par l'opérateur pour éviter le phénomène dangereux. Or, pour résoudre ces contradictions, on tombe sur la résolution de contradictions physique et/ou technique. Comme exemple, nous citons le problème de nettoyage du blanchet présenté dans le paragraphe 5.7.

5.6. L'applicabilité de TRIZ sur les contradictions liées à la sécurité

Dans la littérature concernant TRIZ nous ne trouvons pas de paramètres permettant de représenter clairement la sécurité. Il existe des tentatives pour prendre en compte le point de vue ergonomie du travail mais pas la sécurité. En particulier lorsque l'intégration de la sécurité exige des procédures longues et difficiles qui diminuent le confort et l'ergonomie du travail. Dans des versions différentes de celles proposées par Altshuller nous trouvons un nouveau paramètre nommé « Sécurité » (effet indésirable) opposé au paramètre « Productivité » (paramètre à améliorer) [Savransky 1996 ; Savransky 1997]. D'une part, la sécurité n'a pas à notre sens et dans son acception la plus large influence d'effet négatif et D'autre part, il n'est pas facile d'exprimer l'intégration de la sécurité par un seul paramètre nommé « Sécurité ». La sécurité dépend comme nous l'avons montré des concepts techniques quantitatifs comme le Système, la Solution technique etc. et d'autres socio-techniques qualitatifs comme le phénomène dangereux, le risque à son tour dépendant de plusieurs facteurs (cf. § 2.7.3). Alors, se pose la question : est-il possible d'utiliser les mêmes paramètres standards existants dans la matrice de Altshuller pour résoudre ces problèmes de contradictions liées à l'intégration de la sécurité ?

La première idée est de vérifier la compatibilité des paramètres standards de la matrice de contradictions techniques et les paramètres liés à l'intégration de la sécurité. Pour cela, nous avons essayé de déterminer la validité des paramètres standards pour résoudre les problèmes de sécurité. La démarche suivie a été de lister tous les problèmes rencontrés sur un système dit certifié, on entend ici par « certifié » le fait que le système ait été jugé conforme aux règles techniques de sécurité en vigueur par le concepteur lui-même (procédure dite d'auto-certification) aidé en cela par un organisme de contrôle intervenant dans un cadre d'une certification volontaire. Puis, nous avons analysé ces problèmes pour savoir s'ils sont représentables et modélisables par l'utilisation des 39 paramètres standards. Puisque la contradiction de base est la sécurité contre la productivité, alors, les paramètres qui représentent la sécurité seront en contradiction avec la productivité. Lors de la détermination des paramètres qui appartiennent à la matrice et représentent les problèmes de sécurité, il sera logique et plus facile d'utiliser les 40 principes de résolution des contradictions proposés par Altshuller. Dans un premier temps nous avons identifié les problèmes rencontrés sur un système certifié. Puis, nous avons analysé ces problèmes afin de faire des liens avec les paramètres standards de TRIZ. Enfin, avons montré la possibilité d'utiliser la matrice de contradiction pour résoudre les contradictions liées à la sécurité.

5.6.1. Problèmes rencontrés sur un système conforme aux règles de sécurité

D'après nos observations sur le terrain et nos analyses (cf. Annexe 1) nous avons pu constater les problèmes suivants qui peuvent survenir sur un système pourtant réputé conforme aux règles en vigueur. Ceux-ci illustrent la difficulté pour le concepteur d'allier à la fois de bonnes mesures de sécurité (au sens d'une limitation du risque d'accident) et un strict respect des principes ergonomiques de conception (au sens d'une obtention d'excellentes conditions de travail et de confort) ; cette liste n'a pas de caractère exhaustif (Figure 5.5) :

- Augmentation du temps de réalisation d'une tâche à cause du respect de règles de sécurité qui exigent parfois l'arrêt du système et la mise en œuvre de procédures longues etc..
- Non-respect de règles et de procédures exigées par le concepteur afin de gagner du temps ou pour d'autres raisons quelconques.
- Contacts avec les auxiliaires (outil, consommable) pouvant causer un problème de sécurité lié à une mauvaise manipulation.
- Mauvais contact avec le système, ce problème concerne le contact direct possible entre le système et l'opérateur lorsque ce dernier réalise une tâche quelconque.
- Diminution de la possibilité d'évitement. Lors d'un incident ou d'un accident, l'opérateur devrait avoir la possibilité de reculer et de s'éloigner rapidement de la zone dangereuse. Les barrières et protecteurs, installés par le concepteur, peuvent limiter la liberté de mouvement et le recul de l'opérateur.
- Augmentation de la complexité du système à cause des mesures de sécurité ajoutées au système pour atteindre un indice de risque acceptable.
- Augmentation du coût du système et de l'activité de production (mise en place de mesures de protections individuelles (gants, bouchons d'oreille, lunettes), etc.).
- Diminution d'accessibilité de l'opérateur. Afin de protéger l'opérateur, le concepteur ajoute des protecteurs et des barrières qui diminuent la portée et l'accessibilité de

- l'opérateur à des organes qui doivent être accessibles afin de les nettoyer, régler, maintenir, etc..
- Diminution de la visibilité. Certaines tâches exigent un champ de vision important mais les mesures de sécurité diminuent ce champ, ce qui crée un problème.
 - Défaillance technique (de type panne, arrêt inopiné, etc.) ne mettant pas directement en cause la sécurité de l'opérateur (sinon, le système serait non conforme) mais augmentant le niveau de risque du fait de la nécessité de mettre en oeuvre des modes d'intervention particuliers.
 - Fatigue de l'opérateur. L'application des procédures exigées par le concepteur pour satisfaire les normes peuvent s'avérer fastidieuses et engendrer des problèmes de sécurité.
 - Qualifications de l'opérateur. Le niveau de connaissance et de qualification de l'opérateur joue un rôle important sur l'apparition des conditions de risque.
 - Interaction avec l'environnement, c'est à dire les risques inhérents aux machines et équipements tiers installés dans l'environnement du système.

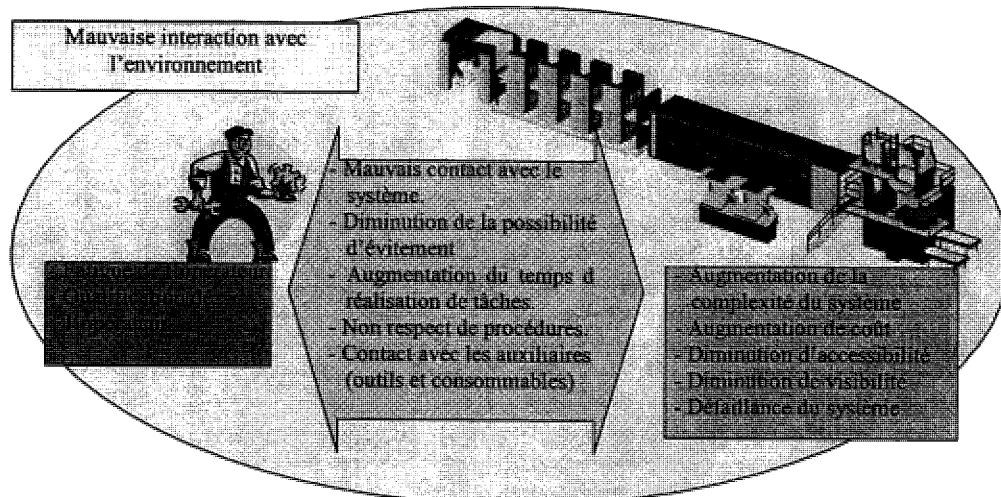


Figure 5.5 : Problèmes subsistant sur un système réputé conforme

5.6.2. La correspondance avec TRIZ

En fait, à chaque problème rencontré sur le système normalisé nous avons lié des paramètres standards qui ont une influence sur ce problème. Par exemple, l'application de normes de sécurité peut conduire à la mise en œuvre de procédures plus complexes et plus longues ce qui peut causer un problème d'augmentation de temps de réalisation d'une tâche. Ce problème peut être lié aux paramètres standards 9, 15, 16, 22, 25, 33, 34, 38 (cf. § 5.3.3) qui stipulent que pour changer le temps de réalisation d'une tâche il est possible de :

- Modifier la vitesse du système ou de réalisation de la tâche.
- Modifier la durée de l'action d'un objet mobile ou fixe (décomposer la tâche différemment, etc.).
- Diminuer la perte d'énergie du système ou de l'opérateur par l'utilisation d'énergie perdue pour réaliser d'autres tâches.
- Diminuer la perte de temps en réalisant des tâches en temps masqué, etc..

- Faciliter l'utilisation du système en simplifiant les procédures et les tâches d'utilisation et de réglage.
- Faciliter la réparation du système en simplifiant les procédures et les tâches de réparation et de maintenance.
- Augmenter le degré d'automatisation ce qui permet d'éloigner l'opérateur et de gagner du temps en automatisant des tâches.

Dans le Tableau 5.2, nous présentons les problèmes identifiés et les paramètres standards correspondants.

Paramètres standards	Augmentation du temps de tâche	Non-respect des procédures	Contacts avec les auxiliaires	Mauvais contact avec le système	Diminution de la possibilité d'évitement	Augmentation de la complexité	Augmentation du coût	Diminution de l'accessibilité	Diminution de la visibilité	Défaillance du système	Fatigue de l'opérateur	Qualification de l'opérateur	Interaction avec l'environnement
1			X	X									
2			X										
3				X	X								
4													
5				X	X			X	X				
6								X	X				
7				X	X			X					
8								X					
9	X			X	X								
10			X	X							X		
11													
12				X				X					
13			X	X						X			X
14										X	X		
15	X										X		
16	X												
17			X	X				X					X
18				X					X				X
19													
20													
21													
22	X										X		
23													
24		X										X	
25	X												
26							X						
27		X								X			
28													
29													
30											X		X
31		X					X				X		
32													
33	X											X	
34	X											X	
35												X	
36						X						X	
37													
38	X					X						X	
39													

Tableau 5.2 : Les relations entre les problèmes induits par une sécurité mal intégrée et les paramètres standards

5.6.3. Les résultats de nos analyses

L'analyse de ce tableau montre que la plupart des 39 paramètres standards de la matrice de contradiction est utilisable pour modéliser les contradictions inhérentes aux problèmes de sécurité. Les contradictions sont, alors, présentées entre chaque paramètre standard identifié et le paramètre standard « productivité » (paramètre standard 39). Ce qui permet de déduire que les principes de résolution des contradictions cités dans les cases de la ligne 39 et de la colonne 39 de la matrice de Altshuller sont utilisables pour résoudre les contradictions liées à l'intégration de la sécurité.

Parmi les 39 paramètres standards, nous avons trouvé 28 paramètres interprétables pour représenter les contradictions qui résultent de l'intégration de la sécurité. Les contradictions entre ces 28 paramètres standards et le paramètre standard « productivité » peuvent être résolues en utilisant les principes de résolution cités dans les cases de la dernière ligne de la matrice.

Par exemple, en ce qui concerne le problème de visibilité, les trois paramètres standards (5, 6, 18) que sont « la surface d'un objet mobile », « la surface d'un objet fixe » et la « luminosité et la brillance » peuvent influencer la visibilité. La résolution des contradictions entre ces trois paramètres standards et le paramètre standard « productivité » est possible en utilisant un ou plusieurs des 9 principes de résolution qui sont : le 1 (segmentation), le 7 (emboîtement), le 10 (action préliminaire), le 17 (changement de dimension), le 19 (action périodique), le 26 (copie), le 31 (matériaux poreux), le 34 (éliminer et récupérer), et le 35 (changement de paramètres), (Figure 5.6).

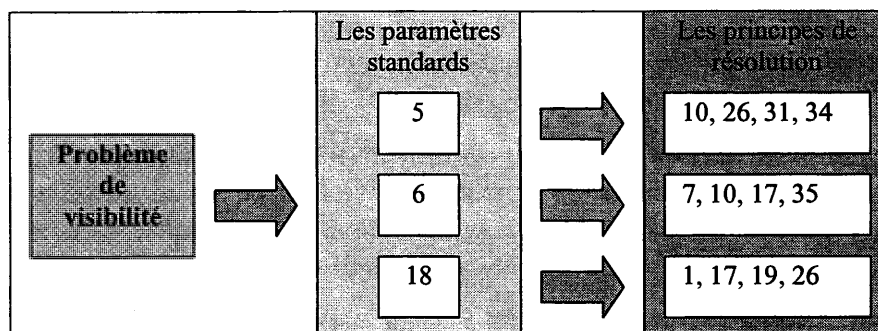


Figure 5.6 : L'applicabilité de la matrice de Altshuller sur les problèmes de visibilité

En fait, les principes proposés dans les cases d'interaction entre les paramètres sont remplis par des principes qui sont jugés utiles pour résoudre les problèmes techniques. Mais, est-ce le cas pour résoudre également les problèmes liés à la sécurité ? Nous avons pu interpréter quelques-uns de ces principes pour résoudre les contradictions liées à la sécurité. Par exemple, le principe de segmentation (1) permet de fragmenter (segmenter) la surface d'un objet (possibilité de plier, moins de brillance etc.) afin d'accroître la visibilité. Le principe du changement de dimension (17) permet de changer la dimension ou la position de la surface (tourner vers le côté le moins brillante ou le moins gênant). Le principe des matériaux poreux (31) permet de changer la surface solide en une surface poreuse ou même d'accroître la taille des pores. Le principe d'éliminer et récupérer (34) permet d'éliminer un élément (une surface) d'un objet lorsque celui-ci (l'objet) a assuré sa fonction. C'est-à-dire, si un protecteur diminue la visibilité, son élimination est possible lorsque sa fonction est assurée par le super-système. Le principe du changement de paramètres (35) permet de modifier l'état physique de l'objet (surface), etc.

D'autre part, on constate que les principes de résolution n'ont pas la même correspondance si l'on s'intéresse en priorité à la sécurité. La Figure 5.7 montre que d'autres principes peuvent,

ainsi, être utilisés pour résoudre les contradictions entre les paramètres standards. Par exemple, la contradiction avec le paramètre standard (6), qui est la surface d'un objet fixe, est résolue par quatre principes proposés dans la matrice de Altshuller. Par contre, nous avons montré que les principes de résolution 1, 31, 34 sont aussi utilisables pour résoudre les contradictions liées à la sécurité engendrées par la diminution de la visibilité.

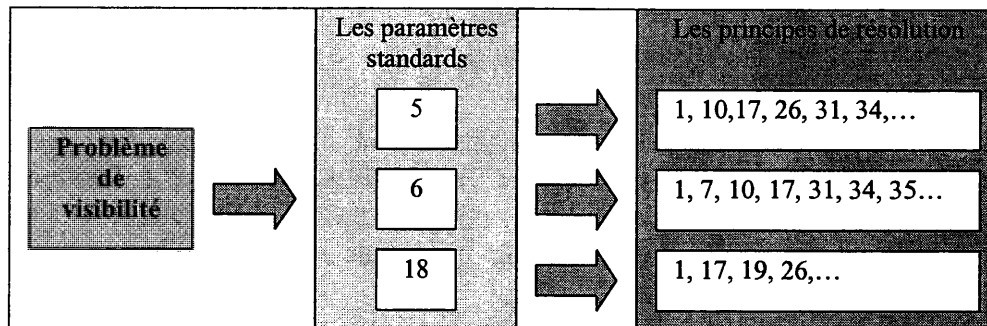


Figure 5.7 : Autre correspondance des principes de résolution pour les contradictions liées à la visibilité

La matrice de Altshuller contient des cases vides quand il n'y a pas de contradiction ou quand la contradiction n'a pas de sens. En fait, nous avons trouvé que les cases de croisement entre, d'une part, le paramètre standard « productivité » et d'autre part, les paramètres standards « vitesse » et « perte de temps » sont vides. Mais selon notre analyse, il peut arriver que la vitesse puisse influencer trois problèmes liés à la sécurité (cf. Tableau 5.1 et Tableau 5.2). Même chose pour le paramètre standard perte de temps qui a des effets sur l'augmentation du temps de tâche (cf. Tableau 5.1 et Tableau 5.2). Ces cases vides signifient que pour les problèmes techniques il n'y a pas de contradiction entre vitesse et productivité. Si la vitesse augmente la productivité augmente. Mais, si la perte de temps augmente la productivité diminue. Ceci exige l'analyse de 40 principes de résolution pour remplir ces deux cases vides.

Ces analyses ont permis de vérifier l'applicabilité de la méthodologie de TRIZ pour résoudre les problèmes de contradiction liés à l'intégration de la sécurité en application des normes. Ceci permet d'intégrer cette méthode dans les démarches de conception afin de lever les compromis proposés pour satisfaire les prescriptions des normes.

Il est également intéressant de noter la possibilité d'utiliser TRIZ pour les problèmes de retour d'expérience. A partir de la constatation d'un problème chez l'utilisateur, le modèle proposé permet de déterminer l'élément en conflit avec les autres. Ceci facilite la modélisation du problème puis l'utilisation de TRIZ pour trouver les pistes de solutions possibles. Dans la suite, nous présentons une application relevant d'un retour d'expérience constaté chez notre partenaire industriel.

5.7. Application à un cas de retour de terrain

Les problèmes de contradiction liés à la sécurité se révèlent être de deux natures. L'application de dispositifs de protection sur le système conduit à des contradictions techniques, la prévention intrinsèque et l'instruction pour l'utilisation présentent des contradictions physiques. Nous avons précisé ces deux points dans le cas des conditions limites d'utilisation et en nous appuyant sur le modèle de la situation de travail proposé. Nous avons utilisé l'analyse de substance-champ (vépoles) [Terninko 2000] pour étudier ce problème et résoudre la contradiction sécurité-productivité. Or, du fait de l'application dans les systèmes manufacturiers de procédures de sécurité impliquant leur mise en arrêt cela diminue la productivité [Hasan & al 2001a].

5.7.1. La procédure de nettoyage du blanchet

Au sein du groupe imprimant de la ligne d'imprimerie, un rouleau supporte le blanchet. Celui-ci est en contact direct avec le papier pour réaliser l'impression. Au cours du temps et à cause de l'engraissement de l'encre sur ce blanchet, la qualité d'impression se dégrade. L'opérateur est alors amené à nettoyer ce blanchet régulièrement. Pour respecter les règles de sécurité le concepteur a prescrit la procédure illustrée dans la Figure 5.8 en utilisant le formalisme SADT.

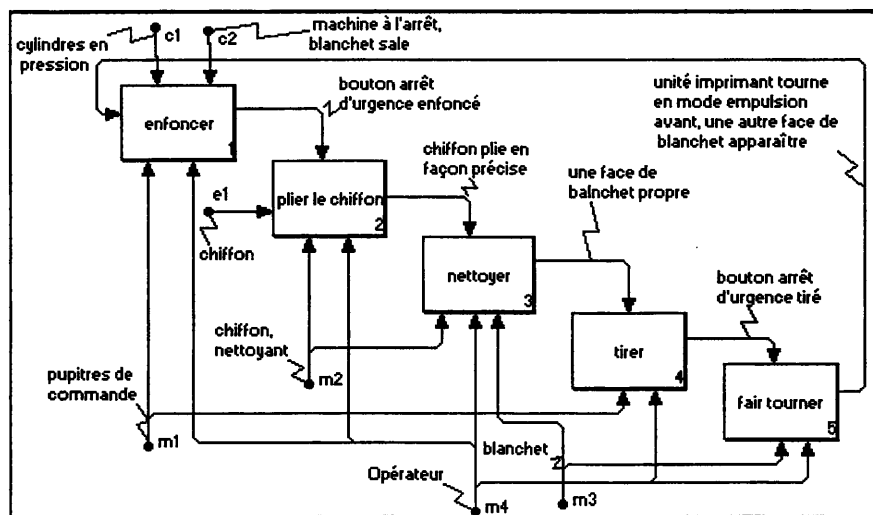


Figure 5.8: La procédure élaborée par le concepteur [Hasan & al 2001a]

Mais, cette procédure exige l'arrêt du système, de nouveaux réglages, de la gâche papier et augmente la charge physique de travail. Pour éviter cette perte de productivité induite, l'opérateur applique sa propre procédure schématisée Figure 5.9 et néglige les consignes de sécurité en intervenant sur le système en fonctionnement.

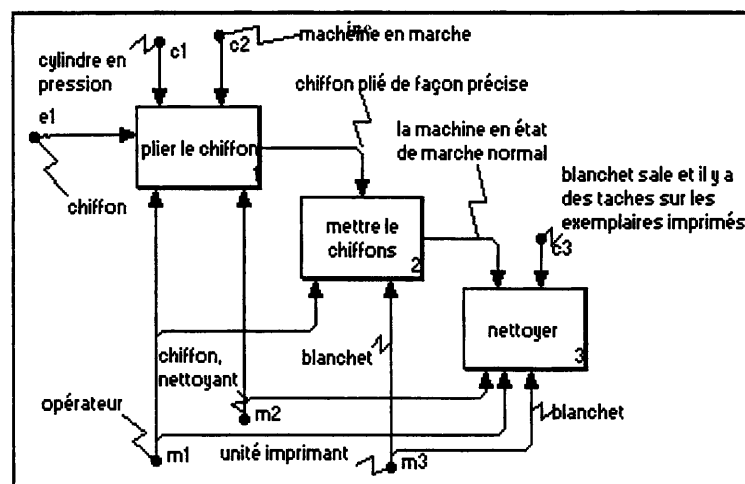


Figure 5.9 : La procédure réelle [Hasan & al 2001a]

Le problème de contradiction se résume ainsi : les consignes du concepteur augmentent la sécurité (fonction améliorée) mais la productivité diminue et la charge de travail augmente (fonctions néfastes). L'application des normes de sécurité liée à l'intervention humaine sur un organe dangereux a donc conduit à une contradiction organisationnelle. Nous proposons de reprendre le problème à la base et d'utiliser TRIZ pour trouver une meilleure solution technique.

5.7.2. Problème de base

Des logiciels d'application de la méthode TRIZ existent dans le marché. Parmi ceux-ci, nous avons utilisé le logiciel Techoptimizer pour réaliser cette analyse, (Figure 5.10).

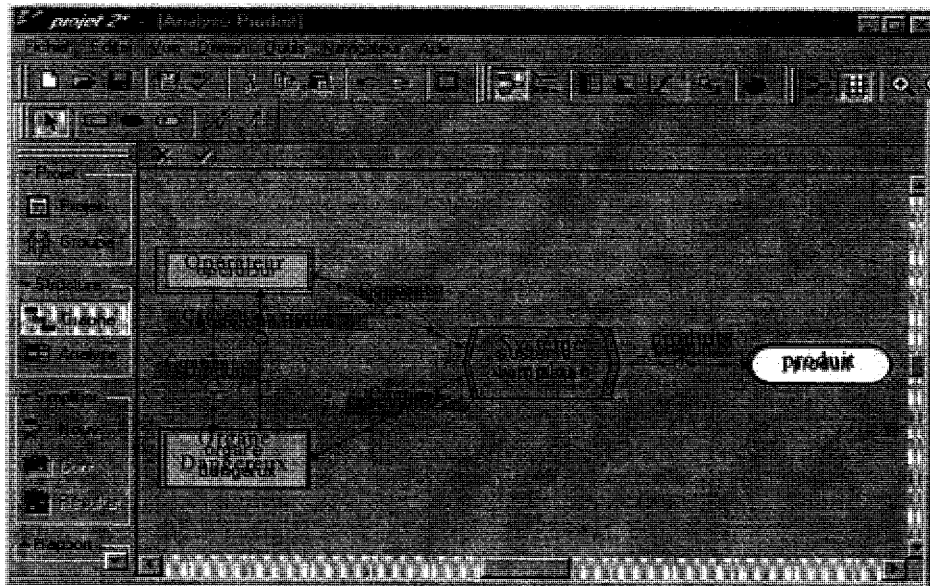


Figure 5.10 : La modélisation de problème avec l'outil Techoptimizer.

En utilisant l'analyse substances-champs (vépoles) [Terninko 2000], le problème est modélisé par la Figure 5.11, l'opérateur intervient sur un organe tournant qui peut engendrer un risque d'écrasement.

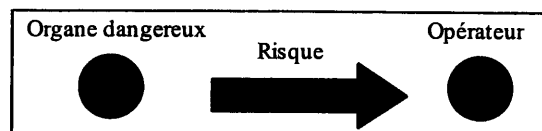


Figure 5.11 : Modélisation du problème

TRIZ nous propose les solutions suivantes :

1. Introduire une nouvelle substance entre les objets ou introduire une nouvelle substance sur ou autour de l'objet, solutions qui peuvent être traduites dans la réalité par l'intégration de protecteurs et de barrières sur le système (Figure 5.12 A et B). Mais, ces solutions diminuent l'accessibilité et la visibilité de l'opérateur nécessaires au nettoyage du blanchet monté sur le rouleau. Augmenter l'accessibilité en présence de portes implique d'arrêter la machine pour rester conforme aux règles de sécurité. D'où un problème non résolu.
2. Introduire une nouvelle substance sur ou autour du deuxième objet. C'est-à-dire protéger l'opérateur, ce qui conduit à l'utilisation de protecteurs individuels (gants, bouchon d'oreille, etc.) et, comme nous le remarquons dans la Figure 5.12 C, à laisser le risque subsister.
3. Changer la solution technique qui est la base de l'organe dangereux pour supprimer la fonction néfaste (risque). Ceci signifie que le concepteur des rotatives doit remplacer les rouleaux par une autre solution technique ; les voies de solution dans ce sens s'avèrent être encore trop onéreuses ou insuffisamment productives.

4. Simplifier le système en supprimant l'entité « Opérateur ». Cela peut se traduire par l'automatisation du nettoyage de blanchet. C'est à dire satisfaire la fonction de nettoyage par le super-système. Cette solution augmente la complexité du super-système parce qu'elle ajoute des problèmes liés au nouvel organe. Dans les conditions limites d'utilisation ou lorsque le système sera hors mode de fonctionnement normal de production, l'opérateur réalisera manuellement cette fonction et nous reviendrons au problème de départ.

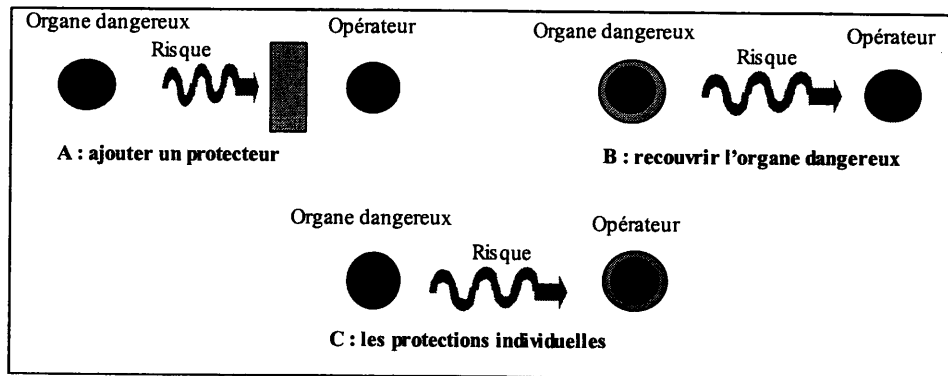


Figure 5.12 : Des solutions proposées par TRIZ

L'analyse de ces propositions de solutions montre qu'elles constituent des compromis, car les deux entités reliées par le champ devront toujours coexister. Or, TRIZ est supposé ne pas proposer de compromis ce qui nous pousse à reformuler le problème autrement.

5.7.3. Reformulation du problème

Nous cherchons à connaître les raisons de cette intervention humaine en reprenant les éléments de notre modèle produit. Pour éviter de nettoyer l'encre séchée sur le blanchet, nous cherchons à empêcher que ce phénomène se produise. TRIZ nous propose de modifier soit l'état physique de l'encre soit la surface du blanchet. C'est à dire ajouter des additifs pour améliorer les propriétés de l'encre ou traiter la surface du blanchet. En pratique, on constate que ces opérations coûtent cher et que l'utilisateur achète l'encre la moins chère ou répondant au meilleur rapport qualité-prix. Dans le meilleur des cas nous diminuons la quantité d'encre séchée sur le blanchet donc la fréquence de l'intervention humaine. Mais, dans tous les cas nous n'avons pas résolu complètement le problème même si la fréquence d'intervention est diminuée et la probabilité d'occurrence d'accident est moindre.

Nous postulons que l'intervention humaine est inévitable et reformulons à nouveau le problème. Le rouleau tourne et nécessite des interventions humaines. D'un côté sa vitesse doit être grande pour satisfaire les exigences de production et l'objectif économique de l'entreprise. D'un autre côté, cette vitesse doit être faible pour ne pas blesser l'opérateur et ne pas engendrer des risques d'écrasement. Le problème peut se ramener à un problème de contradiction physique qui peut être résolu en utilisant les principes de séparation dans TRIZ.

En utilisant le principe de séparation dans le temps, nous interdisons à l'opérateur d'intervenir lorsque le rouleau tourne à pleine vitesse. Pour intervenir, l'opérateur doit arrêter le système. En fait, le concepteur, pour réaliser une telle solution, a défini ce type de procédure présenté précédemment. Mais celle-ci n'est pas appliquée parce qu'elle est lourde et fait perdre du temps.

L'application du principe de séparation dans l'espace permet d'éloigner l'intervention humaine du rouleau tournant. Cela nécessite l'utilisation d'un outil spécial pour nettoyer le

blanchet lorsque le rouleau tourne. Celui-ci doit être associé au système tout en étant d'utilisation aisée. Ceci permet de gagner en temps et d'assurer la sécurité de l'opérateur.

Tout au long de l'analyse effectuée, notre modèle produit a constitué à la fois un support et un guide. Dans le paragraphe 5.7.2, les solutions 1, 2, 3 prennent en compte le concept « Mesures de sécurité », la solution 4 le concept « Solution technique » et la solution 5 les concepts « Fonction, Tâche et Système ». Dans le paragraphe 5.7.3 on prend en compte successivement les concepts « Auxiliaires » de type Consommable, puis « Tâche » et, enfin, « Auxiliaires » de type Outils.

La résolution de contradictions, liées à l'intégration de la sécurité en application des normes, est une nécessité fondamentale. TRIZ permet de résoudre des problèmes organisationnels en revenant au système technique origine du problème. La plupart des contradictions renvoient au niveau « prévention intrinsèque ». Au niveau « protection », TRIZ propose des solutions qui peuvent être interprétées en terme de compromis. Enfin, l'application de solutions proposées par TRIZ implique souvent des modifications coûteuses et non réalisables. Le concepteur utilise plus ou moins implicitement des principes de TRIZ. Une utilisation plus systématique devrait constituer une aide à l'élaboration ou à la validation des règles et mesures de sécurité.

5.8. Conclusion chapitre 5

L'analyse de terrain effectuée dans le cadre de notre projet pluridisciplinaire a montré que l'utilisation d'un système de production automatisée conçu en respectant les normes de sécurité peut conduire à des situations à risques compte tenu des conditions d'utilisation liées aux contraintes organisationnelles, humaines ou techniques dans l'ensemble des phases d'utilisation (réglage, maintenance, etc.). Un point de correspondance entre les normes, l'utilisation de notre modèle et la résolution de contradictions par TRIZ a été envisagée. Puis, nous avons développé le problème de contradiction lié à l'intégration de la sécurité en application des normes. Elle fait apparaître des contradictions entre un bénéfice immédiat (productivité, charge de travail etc.) et un risque potentiel.

L'exploitation de notre modèle en s'appuyant sur une démarche de résolution de contradiction, doit constituer une aide, pour la conception de système de production. Nous avons montré cette exploitation à partir d'exemples en prenant en compte le plus tôt possible les objectifs de sécurité et de productivité. Enfin, ce modèle a été conçu afin d'être utilisable à la fois par les personnes établissant les spécifications, les cahiers des charges ou par les projeteurs ou même les personnes en charge du suivi de la conception, et plus généralement par les équipes effectuant le suivi du système au cours de son exploitation. Ceci constitue le maillon de bouclage permettant à terme l'intégration des éléments de retour d'expérience en conception. Un état de l'art sur la méthode TRIZ a été présenté afin de supporter les concepts de TRIZ utilisés dans nos études. L'applicabilité de TRIZ pour résoudre les contradictions liées à la sécurité a été montrée et confirmée par les résultats de nos analyses. Ceci concerne à la fois l'approche de conception générale et le retour de terrain. Nous avons montré la possibilité d'utiliser les paramètres standards et les principes de résolution de contradiction pour résoudre notre problème concernant la sécurité.

Nous présentons au chapitre suivant la mise en place d'une maquette du modèle de situation de travail proposé, validée par l'entreprise industrielle. Cette maquette permet la communication entre les acteurs du projet pour faciliter l'intégration de la sécurité dans le processus de conception.

6. Chapitre 6

Application du modèle de « Situation de travail » à un cas industriel

Table des matières du chapitre 6

TABLE DES MATIERES DU CHAPITRE 6	161
6.1. INTRODUCTION	163
6.2. L'ENTREPRISE CONCEPTRICE DES LIGNES D'IMPRIMERIE.....	163
6.2.1. <i>Présentation du système de l'entreprise conceptrice</i>	163
6.2.2. <i>Présentation du fonctionnement de l'entreprise</i>	166
6.2.2.1. Le processus de conception.....	168
6.2.2.2. Le processus d'intégration de sécurité	168
6.2.2.1. Le processus de retour de terrain	169
6.3. PRESENTATION DES SYSTEMES D'INFORMATION DE L'ENTREPRISE	170
6.3.1. <i>Le système</i>	170
6.3.2. <i>Système de communication LOTUS</i>	170
6.3.3. <i>Base de données CIRT</i>	170
6.3.4. <i>Les normes homologuées</i>	171
6.3.5. <i>Le normalien</i>	171
6.4. LES INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES FOURNIES PAR LE MODELE CONCEPTUEL	171
6.4.1. <i>Les fonctions d'un système</i>	171
6.4.2. <i>Les interfaces & flux entre modules/organes</i>	172
6.4.3. <i>Les solutions techniques</i>	172
6.4.4. <i>Les tâches d'utilisation des machines</i>	172
6.4.5. <i>Les équipes de travail</i>	172
6.5. L'APPLICATION DU MODELE CONCEPTUEL (LA MAQUETTE INFORMATIQUE BAPTISEE « SITUATION DE TRAVAIL »)	173
6.5.1. <i>La présentation des concepts « Description et paramètre »</i>	174
6.5.2. <i>Présentation du concept « Points de vue »</i>	174
6.6. LES FONCTIONNALITES DE LA MAQUETTE INFORMATIQUE	176
6.6.1. <i>Fonctions d'instanciation</i>	176
6.6.2. <i>Fonctions d'exploitation</i>	176
6.6.3. <i>Fonctions de communication</i>	177
6.7. LA DYNAMIQUE DE L'UTILISATION DE LA MAQUETTE	178
6.7.1. <i>Génération d'actions de contrôle</i>	178
6.7.2. <i>Liaison avec l'outil de gestion de projet (MS Project)</i>	179
6.7.3. <i>Vérification de la cohérence des informations et des relations du modèle</i>	182
6.8. L'IMPLANTATION DE LA MAQUETTE	184
6.9. LES UTILISATEURS POTENTIELS DE LA MAQUETTE	184
6.9.1. <i>Le chef de projet</i>	184
6.9.2. <i>L'expert métier ou le chef de groupe</i>	185
6.9.3. <i>Le projeteur</i>	185
6.9.4. <i>Service sécurité, également appelé Engineering service</i>	185
6.10. CONCLUSION CHAPITRE 6.....	186

6.1. Introduction

A partir du modèle générique de « Situation de travail » (chapitre 3) et des propositions relatives à sa mise en œuvre et à son exploitation (chapitres 4 et 5), il s'agissait de mettre en place un démonstrateur informatique qui offre au concepteur un support d'information. Au-delà d'un simple support de données, il devait également constituer un système de communication et de capitalisation de savoir et de savoir-faire qui s'appuie sur la dynamique du processus de conception de l'industriel et qui fournisse, ainsi, une réponse aux attentes des concepteurs.

L'objectif principal pour l'entreprise partenaire est d'améliorer la sécurité des machines qu'elle conçoit, en terme de risques pour les futurs utilisateurs, pendant les phases d'exploitation au sein des imprimeries. Pour cela, l'industriel doit pouvoir s'appuyer à la fois sur la connaissance acquise par ses concepteurs, ainsi, que sur celle accumulée chez ses clients à travers les retours de terrain. Il s'agit donc de valider, grâce à une maquette à vertu démonstrative, les concepts théoriques proposés dans nos travaux et de montrer qu'en application, ils apportent réellement une meilleure intégration du processus de conception.

Les lignes d'imprimerie conçues, fabriquées, installées et maintenues par le partenaire industriel sont des systèmes extrêmement complexes dont la conception nécessite un processus également complexe au cours duquel de nombreux acteurs et de nombreux métiers interviennent.

L'un de ces métiers concerne la sécurité. Grâce à l'automatisation, les imprimeurs opèrent de moins en moins directement sur les parties mécaniques du système au profit de commandes à distance ou automatiques, pilotées depuis des pupitres de contrôle ou de commande. Cependant, l'intervention humaine sera toujours nécessaire, ne serait-ce que pour les tâches de maintenance, de réparation ou de fonctionnement dégradé. Les systèmes d'imprimerie se trouvent pour un temps non négligeable dans ces modes [Didelot & al 1999].

Dans la suite, nous présentons l'entreprise conceptrice des lignes d'imprimerie. Cette présentation complète la présentation faite dans le chapitre 1, nous rappelons ici leur processus de conception, leur processus d'intégration de la sécurité et développons leur processus de retour de terrain. Ensuite, nous présentons les systèmes d'information à disposition du concepteur au sein de l'entreprise. En troisième point nous illustrons les informations apportées par le modèle conceptuel proposé. L'application des concepts du modèle est, ensuite, présentée en déclinant les fonctionnalités attendues d'une maquette informatique. La dynamique de l'utilisation de cette maquette doit assurer les objectifs attendus pour les utilisateurs futurs. Ce chapitre reprend pour une large part les travaux réalisés conjointement avec un élève ingénieur stagiaire [Cherrier 2001] co-encadré par l'entreprise conceptrice des lignes d'imprimerie et notre équipe du CRAN.

6.2. L'entreprise conceptrice des lignes d'imprimerie

6.2.1. Présentation du système de l'entreprise conceptrice

L'entreprise partenaire compte parmi les leaders mondiaux de la fabrication et de l'intégration de lignes d'imprimerie. Elle ne propose pas seulement des produits « catalogues » mais aussi des solutions intégrées et adaptées aux travaux des imprimeurs. Elle présente également l'avantage de disposer de services après vente en lignes via Internet.

L'organisation de l'entreprise est centrée sur le client, comme le montre la Figure 6.1. Le client est celui qui exploite la machine. L'entreprise lui fournit, non seulement, un produit mais aussi un service. Pour les échanges avec l'entreprise, le client lors de l'achat d'un système, a un interlocuteur qui est le service marketing. Ce dernier prend en compte les informations fournies par la fabrication, le montage et les achats pour négocier avec le client puis il transmet au bureau d'étude les demandes et les besoins du client. Le bureau d'étude intervient également chez le client pour diagnostiquer un problème de performance en vue de proposer des améliorations techniques ou des aménagements pour favoriser les relations entre les imprimeurs et la ligne d'imprimerie.

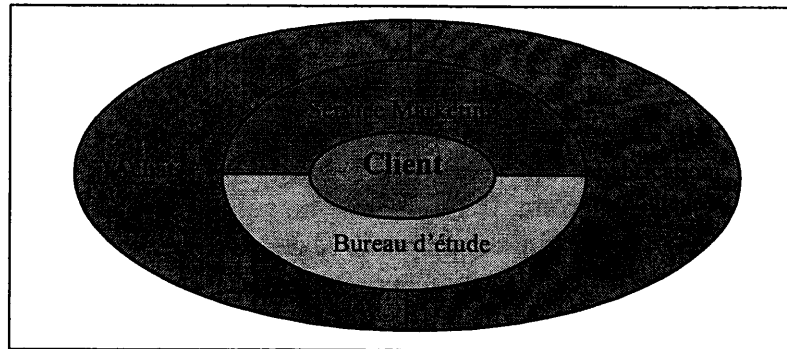


Figure 6.1 : L'organisation de l'entreprise concepteur de la ligne d'imprimerie

Les lignes d'imprimerie sont constituées de différents modules Figure 6.2, parmi lesquels :

- Le dérouleur assure l'alimentation de la bande de papier et permet le changement de bobine « en roulant » (sans arrêter la ligne).
- Le débiteur régule la tension et la vitesse de la bande pour réduire les risques de casse.
- Les quatre groupes imprimants déposent chacun sur le papier l'une des quatre couleurs primaires cyan, jaune, magenta et noir par le procédé OFFSET¹. Chaque groupe contient plusieurs cylindres pour réaliser l'impression recto/verso simultanément.
- Le sécheur qui constitue une unité auxiliaire pour l'entreprise. C'est-à-dire que l'entreprise achète cette unité prête à être installée dans la ligne. Elle est mécaniquement indépendante des unités amont (dérouleur) et aval (refroidisseur).
- Le refroidisseur contient plusieurs cylindres métalliques à l'intérieur desquels circule de l'eau froide.
- Le passage papier met en forme la bande de papier (division en plusieurs bandes, positionnement relatif de ces bandes...) pour la préparer à la transformation en cahiers.
- La plieuse coupe et plie les bandes pour générer des cahiers selon différents formats.
- Un pupitre de commande général et un pupitre de contrôle qualité.
- Des modules optionnels : repiquage, perforation, gommage, etc.

¹ Le procédé d'impression OFFSET exploite les propriétés hydrophiles (qui retient l'eau) et oléophiles (qui retient l'encre) des matériaux particuliers qui composent la plaque d'impression. On dépose finalement l'encre sur le papier par transfert, aux endroits souhaités.

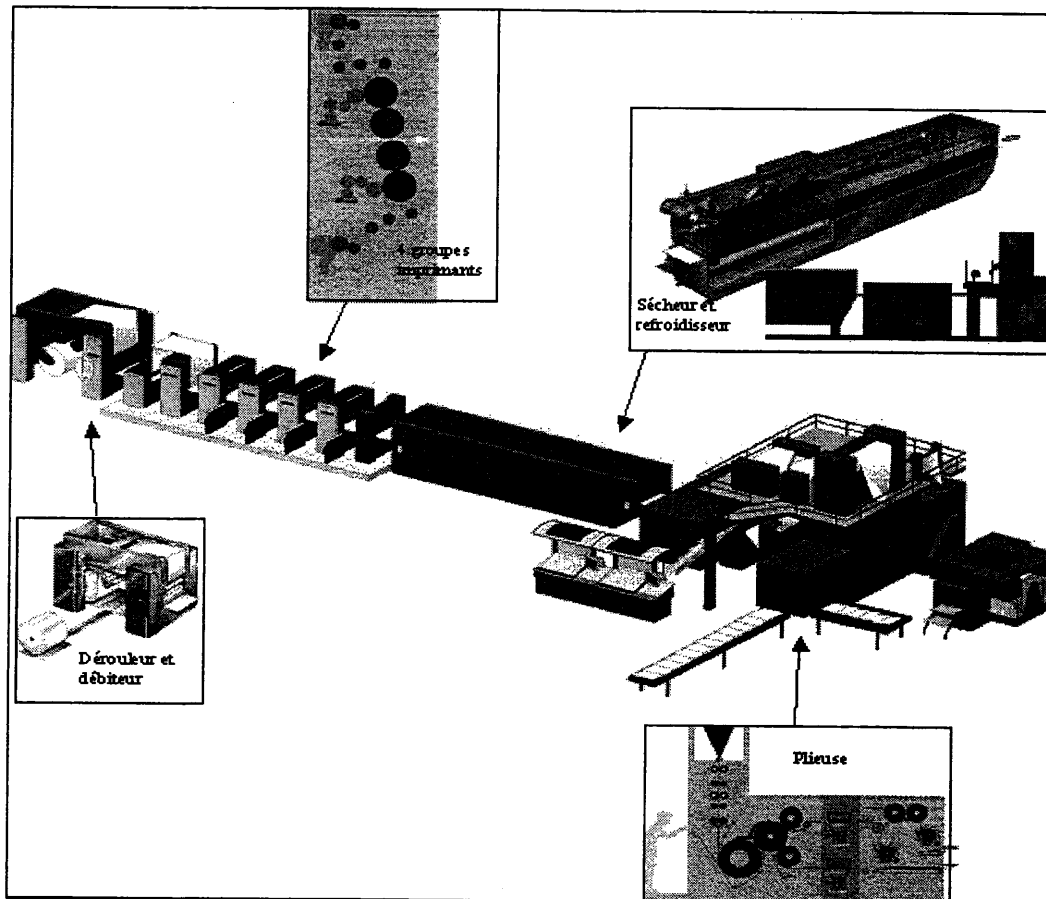


Figure 6.2 : Vue d'ensemble de la ligne d'imprimerie et ses principaux composants [Cherrier 2001]

Une ligne d'imprimerie est un système mécanique complexe à fort taux d'automatisation. La diversité des travaux possibles avec une telle machine la rend d'autant plus complexe. Le degré d'automatisation permet à une équipe de seulement 4 à 5 personnes de conduire une ligne d'imprimerie :

- Le premier conducteur, qui est le plus expérimenté, assure, avec le second, la production et le contrôle de la qualité des cahiers en sortie (recto).
- Le second conducteur qui assure aussi la production et le contrôle de la qualité des cahiers en sortie (verso).
- Le bobineur qui charge le papier en entrée du dérouleur.
- 1 ou 2 opérateurs supplémentaires, moins expérimentés, qui aident les conducteurs principaux et peuvent également assurer le post-traitement des cahiers en sortie de plieuse.

Cette automatisation tend à équilibrer l'importance relative des aspects mécaniques et électriques d'un produit initialement purement mécanique. En outre, la création de fonctions automatisées, en réduisant le nombre d'interventions de l'homme sur la machine, améliore à la fois la sécurité et la productivité. Cependant, des problèmes se posent lors d'un incident ou lorsqu'on tente de faire fonctionner la machine en mode dégradé, c'est-à-dire lorsque des fonctions ne sont plus opérationnelles. En effet, dans ces cas de figure, l'homme doit, à nouveau, intervenir sur des parties dangereuses, alors qu'il n'en a plus l'habitude. Dans l'objectif de comprendre comment l'entreprise prend en compte ces points, nous présentons le fonctionnement de cette entreprise.

6.2.2. Présentation du fonctionnement de l'entreprise

Pour assurer le réalisme de l'application du modèle, la maquette informatique doit s'appuyer et s'adapter à son environnement industriel, en particulier, selon deux points de vue : celui du processus de conception de l'entreprise et celui de leurs systèmes d'information déjà existants. C'est pourquoi nous présentons dans ce chapitre l'analyse qui a été réalisée sur le terrain suivant ces deux points de vue, à partir des documents ISO décrivant l'organisation de l'entreprise et de l'analyse fondée sur les interviews de personnes des différents bureaux d'études (Figure 6.3) (cf. chapitre 1).

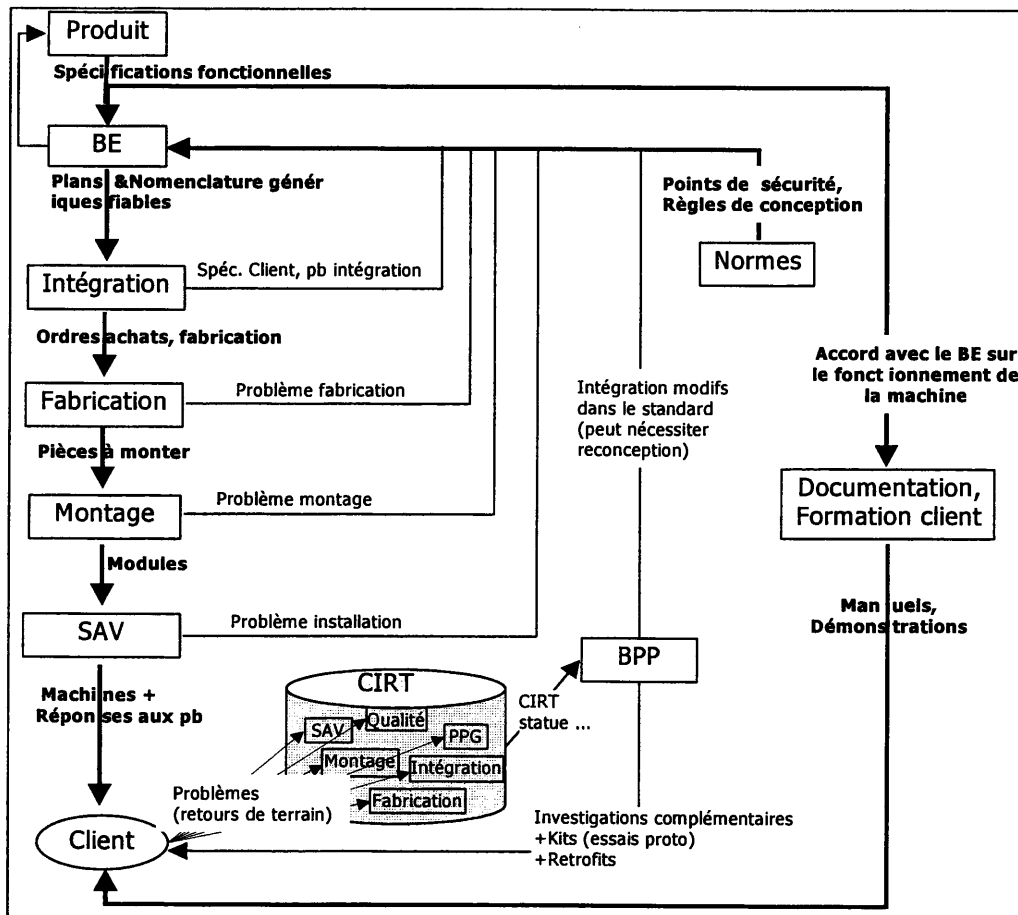


Figure 6.3 : Présentation du fonctionnement de l'entreprise [Cherrier 2001]

Le Marketing produit fournit au bureau d'étude des objectifs en termes de performance, de coût de la machine, etc. et en terme de coût et de délai de développement.

En réalité il n'y a pas un seul bureau d'étude mais plusieurs qui concernent chacun un métier particulier. Nous comptons ainsi :

- Le bureau des études mécaniques qui comprend deux spécialités :
 - groupes imprimants.
 - passages papier et plieuses.
- Le bureau des études électriques qui comprend aussi deux spécialités :
 - Développements « **hardware** » (automates, « drives » de moteurs, câblage, etc.).
 - Développements « **software** » (logiciels, écrans IHM¹, etc.).

¹ Interfaces Hommes-Machines

- Le bureau de performance du produit (BPP) qui traite les problèmes qui reviennent du client (principalement des problèmes de non-performance de la machine, mais aussi des problèmes de sécurité).
- Le bureau de service sécurité chargé d'assurer l'intégration de la sécurité et de suivre le processus de certification des machines jusqu'à l'obtention des autorisations de commercialisation.
- Enfin, un bureau d'intégration des modules développés par les autres bureaux adapte ces derniers aux spécificités de chaque client.

Une entrée particulière du bureau d'étude est appelée « Normes » sur la Figure 6.3. Elle représente, en fait, tous les supports à la conception qui guident le projeteur vers une meilleure solution sûre. Il s'agit à la fois des normes et réglementations internationales et d'autres documents internes qui fixent des règles de conception (« bonnes pratiques ») acquises dans l'expérience de l'entreprise.

La Figure 6.3 représente un organigramme constitué d'un développement linéaire depuis les spécifications du produit jusqu'à l'exploitation par le client. Sur ce modèle linéaire viennent se greffer des retours à différents niveaux : intégration, fabrication, montage, installation et enfin client. Ce dernier est le plus délicat puisque cela signifie que le produit ne satisfait pas aux exigences du client de façon plus ou moins grave. Ces problèmes qui reviennent du client sont traités par le Bureau de Performance du Produit (BPP). Cependant, même si ce bureau possède ses propres ressources de développement, il est intimement lié aux autres bureaux d'étude.

Si la Figure 6.3 renseigne sur l'organisation de la conception, elle ne donne pas l'activité des personnes des bureaux d'études. Cette activité va se répartir au cours du processus représenté sur la Figure 6.4 [Bernard & al 2002b].

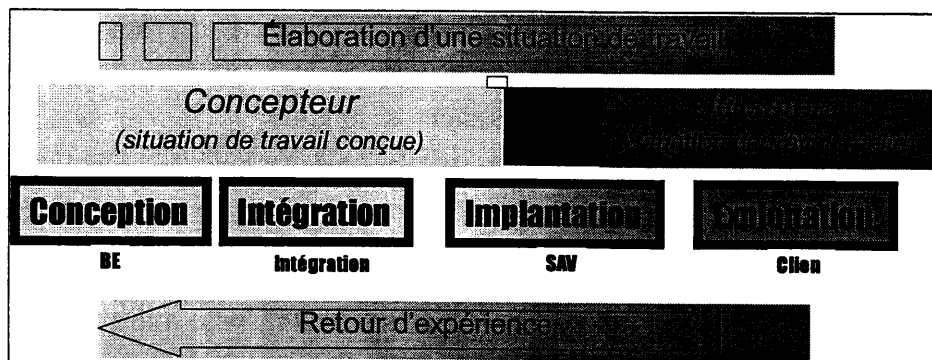


Figure 6.4 : Le processus ; du bureau d'étude au client

On peut identifier trois processus principaux au cours de cette activité. Ces trois processus sont le processus de conception, celui de l'intégration de la sécurité et, enfin, le processus de retour de terrain. Les deux premiers (conception et sécurité) sont très liés et se déroulent plus ou moins en parallèle. En effet, les questions de sécurité se posent (ou *doivent* se poser !) au fur et à mesure de la conception des produits et du développement des solutions techniques. Le dernier processus (retour de terrain) explique comment se déroule la boucle de re-conception. Ce processus va déclencher les deux premiers processus (« conception » et « sécurité ») puisque la re-conception pose la plupart des problèmes de la conception, en particulier, dans le domaine de la sécurité.

6.2.2.1. Le processus de conception

La conception débute par des spécifications fonctionnelles (cf. § 1.3). Il s'agit, donc, d'une analyse fonctionnelle pour laquelle les fonctions principales sont spécifiées en termes de performances techniques ou autres. Ensuite, la pré-étude permet de définir les solutions techniques les plus adaptées pour remplir les fonctions. Ce sont le plus souvent des calculs (éléments finis, dimensionnement...) qui permettent de choisir les solutions pertinentes. Ensuite, les solutions techniques sont développées en plans et nomenclatures. Ce développement s'appuie sur les normes^I et le normalien^{II} ainsi que sur des réunions d'industrialisation qui permettent de prendre l'avis de l'intégration, de la fabrication, du montage, pour statuer sur le développement de points délicats. Enfin, la fabrication d'un prototype va permettre les tests et la mise au point. Ce prototype peut être remplacé ou complété dans certains cas d'une machine commercialisée et implantée chez un client « pilote ».

Les différentes tâches exposées ci-dessus ne se succèdent pas strictement. En effet, les temps de cycle de fabrication de certaines pièces étant très longs, leur fabrication commence avant que le reste du système ne soit conçu.

6.2.2.2. Le processus d'intégration de sécurité

Ce processus se déroule en parallèle du processus précédent et à tous les moments de la conception. L'objectif est double : **vérifier** que les éléments développés sont bien conformes aux différentes directives et normes en application mais, surtout, intervenir avant que les systèmes ne soient développés pour anticiper sur les problèmes délicats de sécurité. Il s'agit donc de **prévenir** et sensibiliser le projeteur à des points de sécurité particuliers. Comme décrit ci-dessus, ce processus intervient tout au long du processus de conception :

- Dès que les spécifications fonctionnelles sont connues, on peut détecter des points de la norme concernés par un processus de conception donné. Il est donc important de les recenser le plus tôt possible pour prendre les mesures nécessaires.
- Lorsqu'on doit choisir entre deux solutions techniques, le facteur sécurité peut être déterminant. Et lorsque le choix est fait, il faut là encore identifier des points précis de sécurité liés à cette solution.
- Le développement et la mise en œuvre des solutions choisies peuvent engendrer de nouveaux risques. Une même solution technique, selon la façon dont elle est implantée dans le système (en particulier en terme d'accessibilité), peut avoir des conséquences différentes pour la sécurité des opérateurs.
- Lorsque le prototype est monté, de nouveaux problèmes, invisibles jusqu'alors, apparaissent.

C'est ce processus de sécurité qui permet d'arriver par la suite à une certification de la machine en vue de sa commercialisation. La politique de l'entreprise sur ce point est de faire contrôler ses modules de ligne d'imprimerie par un organisme indépendant qui réalise des vérifications sous forme de « check lists » de points à respecter. On notera que plus les problèmes de sécurité (c'est valable aussi pour les autres problèmes) sont détectés tard, plus ils sont coûteux et difficiles à supprimer. Le challenge consiste donc à identifier les risques le

^I Les normes, lorsqu'elles existent, sont plus un support qu'une contrainte, par le biais de propositions techniques ou méthodologiques qui aident à respecter les directives.

^{II} Le normalien est un document interne au bureau d'étude (orienté mécanique) et qui rassemble des « critères de dessin » (bonnes pratiques de conception) issus des expériences passées.

plus tôt possible dans le processus de conception. Pour cela, la meilleure « communication » entre les deux processus présentés précédemment doit être mise en place.

6.2.2.1. Le processus de retour de terrain

Le dernier processus relevé est celui du retour de terrain. L'origine d'un tel retour est une insatisfaction du client qui peut avoir plusieurs origines :

- Des pannes récurrentes qui bloquent la production.
- Des problèmes de sécurité détectés sur la machine (suite à une visite, un incident ou un accident).
- Des problèmes de non performance.
- Des problèmes de confort ou d'ergonomie lors de l'utilisation de la ligne.

Ce processus est présenté sur la Figure 6.5. Le client signale son problème au Service Après Vente qui, dans la plupart des cas, peut répondre au client avec un dépannage ou un réglage particulier que l'imprimeur ne maîtrise pas. Si le SAV ne peut pas répondre lui-même, il transmet le problème à l'équipe CIRT¹ qui va décider de donner suite ou non à la demande du client. Si cette demande est jugée pertinente, elle est transmise au bureau d'étude BPP qui va concevoir un Kit de rétrofit² destiné à corriger l'erreur sur la machine du client demandeur. Au cours de ce développement, on applique au BPP les processus de conception et de sécurité détaillés précédemment. Suite à cela, l'équipe CIRT statue sur le type de « rétrofit » à réaliser. Si la modification est trop spécifique au client demandeur, elle ne sera pas intégrée au standard. Dans ce cas, le SAV peut demander une application du « rétrofit » au cas par cas pour d'autres machines. Sinon, les bureaux d'étude de développement sont chargés d'industrialiser la modification pour l'intégrer dans les nomenclatures génériques utilisées dans le standard.

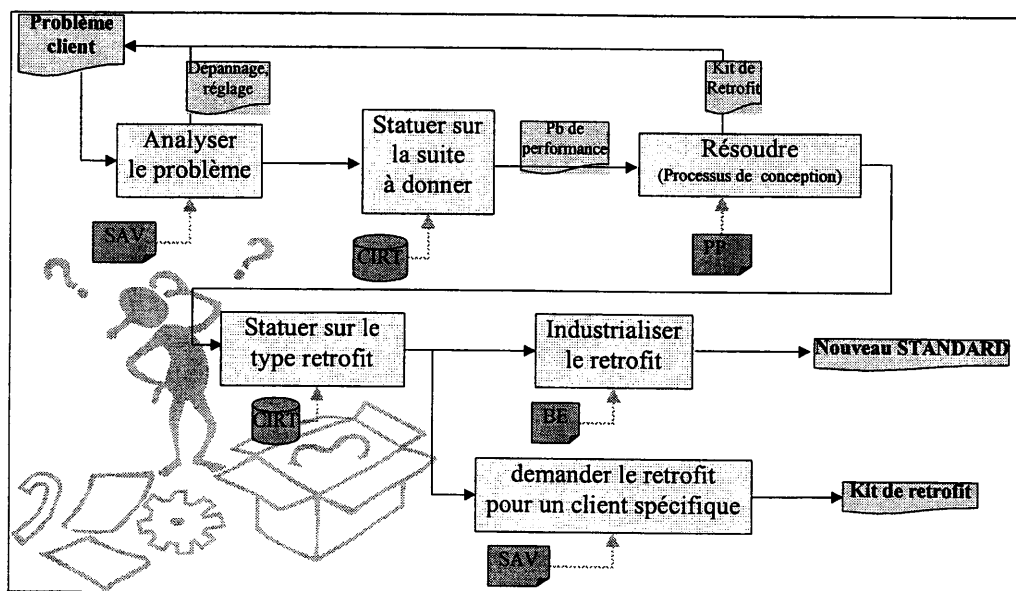


Figure 6.5 : Processus de retour de terrain

Ces trois processus utilisent plusieurs systèmes d'information disponibles au sein de l'entreprise. Dans la suite, nous présentons ces systèmes d'information. Pour autant,

¹ Customer Issues Resolution Team

² Le kit de rétrofit contient les pièces changées pour résoudre le problème ainsi que les pièces nécessaires au démontage et remontage pour réaliser la modification.

l'ensemble de ces données peut apporter un plus à l'intégration des risques dans la conception. L'objectif est donc d'intégrer dans le modèle toutes les données nécessaires et de les capitaliser au mieux. Toutefois la duplication des informations est proscrite ; elle génère des pertes de temps et des risques d'erreurs dans les données. L'idée est donc d'intégrer dans le modèle des liens vers ces informations déjà présentes sur le site.

6.3. Présentation des systèmes d'information de l'entreprise

L'entreprise possède déjà de nombreux supports d'information. Certains sont de véritables bases de données alors que d'autres se réduisent à de simples archives papier. Ainsi, les systèmes d'information sont très variés. Ils s'appuient sur une simple référence du document pour des données « papier » et sur des liens interactifs pour des informations numérisées.

6.3.1. Le système

Il s'agit, d'une part, de l'imagerie qui contient l'ensemble des plans CAO et d'autre part, des nomenclatures. Ces informations sont enregistrées dans une base de données (Métaphase). Ces informations ne sont pas strictement liées à la sécurité mais il est important de pouvoir visualiser rapidement un plan lorsqu'on discute de la sécurité d'un système donné. Les éléments électriques et logiciels devraient prochainement être inclus dans cette même base de données.

6.3.2. Système de communication LOTUS

LOTUS NOTES^I est utilisé, en particulier, pour toutes les demandes de corrections à destination du bureau d'étude qui proviennent de différents services annexes. Ces services annexes peuvent être la fabrication, le montage, le service après-vente, le bureau de performance du produit (BPP). Les demandes de corrections concernent soit des modifications à effectuer sur les plans et/ou dans la nomenclature parce que le service demandeur a identifié une erreur soit des demandes d'étude pour corriger un défaut constaté. Il ne s'agit pas proprement dit d'un système d'information mais l'enregistrement des différents retours qui interviennent après la conception constitue une base de données qui pourrait être intéressante. Toutefois, peu de ces retours concernent des problèmes de sécurité (dans de nombreux cas, il s'agit seulement d'erreurs de dessin, etc.).

Finalement, cette donnée ne sera pas présente dans les liens de la maquette informatique démonstrative car l'intérêt semble moindre par rapport au temps nécessaire pour réaliser une interface entre le modèle MS Access développé et la base de données Lotus Notes.

6.3.3. Base de données CIRT^{II}

Le CIRT intervient, comme on l'a vu, dans le processus de retour de terrain (cf. Figure 6.5). Sa base de données, implantée sous MS Access, contient les différents problèmes rencontrés chez les clients et qui ont nécessité une re-conception par le bureau de performance du produit. Les problèmes recensés ici sont des problèmes de confort d'utilisation de la machine, des problèmes de performance de la ligne d'imprimerie, des problèmes de pannes récurrentes et/ou des problèmes de sécurité. Ces derniers ne représentent pas une part importante de l'ensemble des problèmes recensés.

^I Une marque déposée par IBM

^{II} Customer Issues Resolution Team.

6.3.4. Les normes homologuées

Ces normes représentent un soutien important au travail de conception, surtout dans le domaine de la sécurité. En effet, la norme, en même temps qu'elle propose une stratégie d'identification des risques potentiels, propose aussi parfois des solutions pour éviter ces risques. Il était donc impératif que le modèle de situation de travail puisse associer à ses différents éléments des points de la norme. Il s'agit entre autres des normes EN 1010 (sécurité des lignes d'imprimerie) [Norme 1998], EN 292 [Norme 1991] et EN 294 [Norme 1992] (Distances de sécurité pour empêcher l'accès aux éléments dangereux par les différentes parties du corps).

6.3.5. Le normalien

Le normalien est un document interne à l'entreprise qui contient un ensemble de critères de dessin. Ces règles ont été acquises par expérience et fournissent des solutions aux questions que peuvent se poser les concepteurs. En outre, ce document permet une plus grande homogénéité dans la conception en évitant trop de liberté de dessin. Ce document complète donc la norme à un niveau plus fin et plus précis. Toutefois, il n'est pas particulièrement axé sur la sécurité des machines.

D'autres types d'informations sont capitalisés dans :

- Les compte-rendus de réunions. Il peut s'agir ici d'informations très diverses mais aussi très riches,
- Des rapports de visite. Lors de visite chez les clients, des rapports peuvent faire état de problèmes (de sécurité ou non) qui devront être corrigés,
- Des rapports de travaux. Ces travaux peuvent être des calculs, des essais sur un prototype ou chez un client, etc.,
- Les rapports d'accidents. Il s'agit d'accidents répertoriés sur les machines conçues et installées par l'entreprise, pour lesquels la responsabilité du concepteur, d'un point de vue légal, n'a d'ailleurs jamais été mise en cause. Toutefois, cette liste n'est pas exhaustive parce que les imprimeurs ne rapportent pas systématiquement les accidents qui surviennent chez eux (en particulier pour les machines installées à l'étranger).

Un certain nombre d'éléments du modèle de situation de travail que nous proposons ne se retrouvent pas dans les systèmes d'information existants. Pour cela, ils devront être ajoutés à la base de données. Ces différents objets sont décrits ci-dessous.

6.4. Les informations complémentaires fournies par le modèle conceptuel

6.4.1. Les fonctions d'un système

Les fonctions d'un système sont « plus ou moins » définies dans les spécifications fonctionnelles de la direction produit mais, d'une part, cela n'est pas réellement formalisé et capitalisé et d'autre part, ces spécifications fonctionnelles n'existent et ne sont utilisées que pour de gros projets. L'intérêt de capitaliser ces fonctions est qu'il s'agit d'une donnée relativement constante quelles que soient les machines ou situations de travail, aux spécifications et quantifications près (telles que le nombre d'exemplaires par heure, la coupe, la laize (largeur de la bande de papier), etc.) et ce sont les solutions techniques ou leur

dimensionnement (le système) qui changent pour satisfaire aux spécifications du cahier des charges.

D'autre part, le processus de conception s'appuie beaucoup sur une analyse fonctionnelle (quelles sont les fonctions à insérer ? modifier ? automatiser ? etc.).

6.4.2. Les interfaces & flux entre modules/organes

Ce sont des informations qui permettent de lier des objets qui sont relativement indépendants (modules groupes imprimants, plieuses, etc.). Ces informations peuvent être des vitesses de bande communes, les points d'entrée de la bande (hauteur, angle, etc.), des hauteurs de passerelles qui doivent être continues entre deux modules, etc. Ces flux ne sont pas nécessairement entre deux modules mais peuvent aussi être entre deux organes au sein d'un même module.

L'intérêt peut être de mieux maîtriser l'impact d'une modification sur le reste de la machine et de faciliter l'intégration des différents modules.

6.4.3. Les solutions techniques

Les solutions techniques sont les solutions mises en œuvre dans les systèmes pour remplir des fonctions. Ce sont aujourd'hui des objets intermédiaires de la conception qui ne sont pas capitalisés.

Du point de vue mécanique, cela correspond aux concepts utilisés. Il n'est pas indispensable de les capitaliser dans le sens où la lecture d'un plan renseigne immédiatement sur les solutions techniques utilisées. Cependant, il faut les formaliser pour réaliser un traitement informatique et systématique des analyses de risque pour pouvoir, par exemple, proposer à l'utilisateur une liste de points critiques à prendre en compte et à surveiller.

Du point de vue électrique, la solution technique est le type de mise en œuvre (automate, câblage, logiciel, etc.). La capitalisation de ces données est sans doute plutôt utile pour retrouver les données associées, les responsables, etc. Les « systèmes » électriques sont des câbles, des automates, des processeurs, etc., mais aussi des lignes de logiciels ou de programmation d'automates.

6.4.4. Les tâches d'utilisation des machines

Les tâches permettent d'animer le modèle. Elles renseignent sur la dynamique de la situation de travail (cf. §§ 3.6.5 & 4.4.2).

Là encore, nous pouvons distinguer un peu les informations lorsqu'il s'agit des points de vue mécaniques ou électriques. Les tâches « mécaniques » sont souvent des tâches manuelles ou semi-automatisées qui font agir l'opérateur sur le système. Les tâches « électriques » sont plutôt les descriptions des tâches automatisées (grafcet, logigramme, etc.).

6.4.5. Les équipes de travail

Comme on le voit dans le paragraphe précédent, les tâches décrivent entre autre les interventions humaines sur le système. Les équipes de travail peuvent être, en particulier, décrites en termes d'expérience et de qualification. Aujourd'hui, ces notions ne sont pas utilisées dans l'entreprise. Tout au plus on évoque « l'opérateur » dans les manuels

d'utilisation mais jamais les équipes de travail. Ici nous cherchons à déterminer qui fait quoi dans la situation de travail.

6.5. L'application du modèle conceptuel (la maquette informatique baptisée « Situation de travail »)

L'objectif initial du modèle est d'intégrer, pendant la conception, la prévention des risques liés à l'utilisation de la machine que l'on développe. Les systèmes d'information actuels permettent de modéliser correctement les aspects géométriques et structurels du système technique.

Ici, nous proposons une maquette informatique qui, s'appuyant sur cet existant, intègre la dimension liée à la présence et à l'activité humaines lors du fonctionnement du système. Le développement de la maquette informatique doit à la fois s'appuyer sur le modèle « théorique » de « Situation de travail » et sur les exigences industrielles de l'entreprise conceptrice des lignes d'imprimerie (respect des systèmes d'information et des processus actuels).

Toutefois, il ne s'agit que d'une maquette et non pas d'un système industriel directement exploitable par l'entreprise. Le but est avant tout démonstratif pour permettre à l'entreprise de décider de poursuivre ou non dans le développement d'une telle solution informatique en vue d'adopter la démarche de conception proposée.

Dans le modèle, les objets présents sur la Figure 3.22 sont décrits par les éléments suivants :

- Le **nom** de l'objet,
- La **date de création** dans la base et le **nom du créateur**,
- Une liste de **propriétés** qui décrivent l'objet (cf. § 6.5.1),
- Le **statut** de l'objet. Représenté sous forme d'un feu tricolore, il peut prendre trois valeurs : Objet validé ou annulé (feu VERT), Objet en cours de création (feu ORANGE), Objet en attente (feu ROUGE) (Figure 6.6),

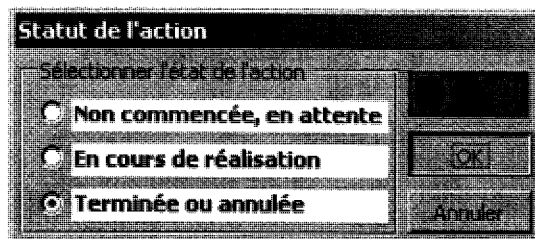


Figure 6.6 : Le statut d'une action

- Les **points de vue** concernés par la propriété (cf. § 6.5.2),
- Pour les objets SYSTEMES : **l'analyse structurelle** et les **flux** entrants et sortants du système,
- Pour les objets FONCTIONS : **l'analyse fonctionnelle**,
- Pour les objets TACHES D'UTILISATION : La **décomposition** et le **séquençement** des tâches.

6.5.1. La présentation des concepts « Description et paramètre »

C'est cette description des objets du modèle qui va constituer le cœur de la base de données. En effet, c'est seulement la qualification et la quantification de ces objets qui permettent de différencier réellement les objets.

Pour cela, trois types de **propriétés** sont prise en compte pour représenter les deux concepts « Paramètre » et « Description ». Les **paramètres** permettent de quantifier numériquement un objet (par exemple, une dimension fondamentale pour un système, une spécification fonctionnelle, une durée de tâche, un indice de risque, etc.). Les **commentaires** qui permettent de qualifier un objet de façon littérale sur un point quelconque et les **documents**, qui sont, en fait, des liens vers des documents externes variés (fichier WORD, PDF, feuille de calcul EXCEL pour justifier un choix de solution, un compte rendu de réunion, un élément de norme, etc.) (Figure 6.7).

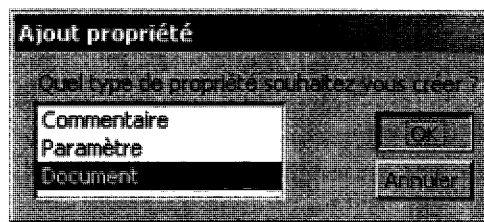


Figure 6.7 : Ajout de nouvelle propriété (quantitatif et/ ou qualitatif)

Toutes les propriétés contiennent les attributs suivants :

- Le **nom** de la propriété,
- La **date de création** dans la base et le **nom du créateur**,
- Une référence à l'**objet** décrit par la propriété,
- Le **statut** de la propriété (idem que pour les objets),
- Les **points de vue** concernés par la propriété (cf. § 6.5.2).

Les documents utilisent également :

- Le **type de document** (fichier WORD, PDF, image etc.),
- Le nom du **fichier** attaché.

Les paramètres contiennent :

- L'expression du paramètre qui peut faire appel à d'autres expressions à condition qu'il n'y ait pas de référence circulaire¹,
- L'unité dans laquelle s'exprime le paramètre.

6.5.2. Présentation du concept « Points de vue »

Chaque acteur du processus de conception possède un ou des rôles précis dans des métiers distincts. Pour gérer ces différences entre les utilisateurs du modèle, et pour fournir à chacun des informations plus pertinentes, nous mettons en place la notion de points de vue. Ces points de vue peuvent être, par exemple : mécanique, électrique, sécurité, logiciel, etc.. L'objectif de ces points de vue est de définir si un objet doit être affiché à l'écran pour un

¹ Une référence circulaire apparaît lorsque la valeur d'un paramètre est utilisée dans la propre expression de ce paramètre. La résolution de ce genre de conflits conduirait à des résolutions d'équations ou de systèmes d'équations. Ce n'est pas ici l'objectif de la maquette.

utilisateur donné. Ainsi, lors d'une recherche dans la base de données, l'utilisateur ne reçoit que les données qui correspondent aux points de vue qu'il a choisis.

Pour cela, à chaque objet (système, fonction, solution technique, risque, etc.), à chaque propriété d'objet (commentaire, paramètre, document attaché), à chaque action de l'historique de projet ou à chaque retour de terrain de l'historique de produit, on associe les points de vue concernés.

Nous présentons l'intérêt de mettre en place des points de vue pour les utilisateurs de la maquette et pour les différents éléments de la base de données afin de fournir des informations plus pertinentes (Figure 6.8).

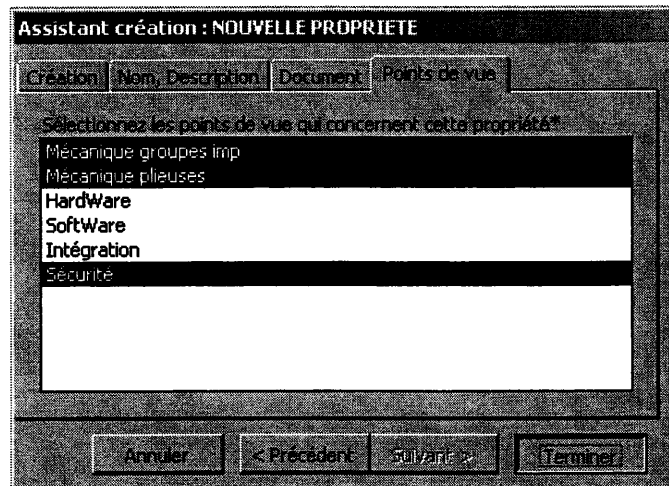


Figure 6.8 : La prise en compte du concept « Point de vue »

Pour cela, l'utilisateur a sélectionné dans une liste les points de vue qui le concernent pour définir son profil. De même, lors de la création d'un élément dans la base de données (un système, une fonction, un risque, une propriété d'objet, une action, un retour de terrain, etc.) le créateur doit sélectionner les points de vue qui concernent l'élément. Sur la Figure 6.9, on montre l'exemple du système « cylindre blanchet » qui concerne le bureau d'étude groupe imprimant et qui génère des problèmes de sécurité (les deux cases cochées dans la colonne de gauche). Pour chaque utilisateur (A & B) nous identifions dans la colonne résultat les points de vue qui coïncident (c'est-à-dire les lignes pour lesquelles à la fois les cases de l'objet et du profil de l'utilisateur sont cochées). Finalement, nous pouvons conclure pour *Afficher* ou *Ne pas afficher* l'objet selon que la colonne résultat contient ou ne contient pas de case cochée.

Système	Points de vue	Utilisateur A		Utilisateur B	
		Profil	Résultat	Profil	Résultat
Cylindre blanchet					
<input checked="" type="checkbox"/>	Mécanique groupes imprimants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Mécanique plieuses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Hardware	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Software	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Intégration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Sécurité	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CONCLUSION →	AFFICHER L'OBJET	NE PAS AFFICHER L'OBJET
--------------	------------------	-------------------------

Figure 6.9 : Quels objets afficher pour un utilisateur donné ?

Cette fonctionnalité de filtre d'information par point de vue permet de faciliter la manipulation des informations et assure une certaine confidentialité. D'autres fonctionnalités sont présentées dans la suite.

6.6. Les fonctionnalités de la maquette informatique

6.6.1. Fonctions d'instanciation

Ce sont ici toutes les fonctions qui permettent de **créer la base de données** en entrant de nouvelles informations. Par extension, ce sont également les fonctions qui permettent de modifier le contenu de la base de données, de classer des informations ou d'en supprimer. Nous trouvons entre autres :

- Création d'un nouvel objet et de ses propriétés (Figure 6.10),

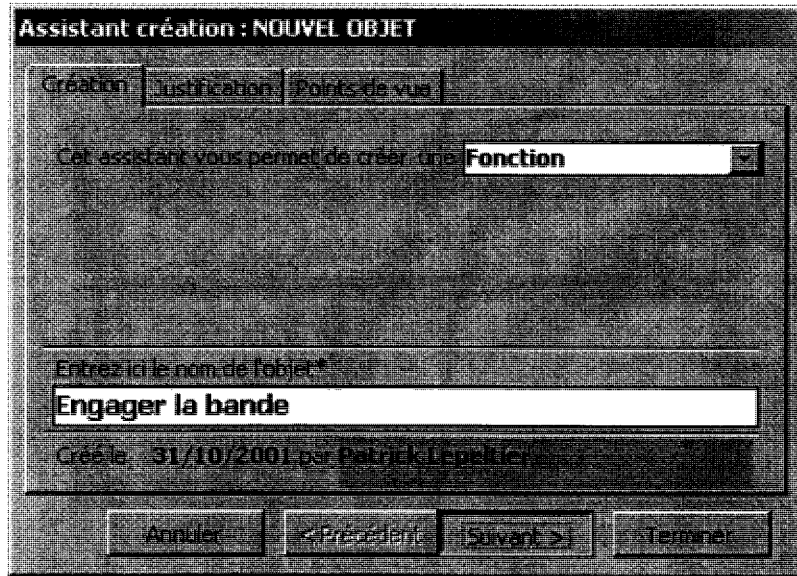


Figure 6.10 : Création d'un nouvel objet

- Création de liaisons entre objets (par exemple, quand on spécifie les solutions techniques utilisées par une fonction donnée, on crée un lien entre « Fonction » et « Solution technique »),
- Enregistrer un retour de terrain,
- Créer une action relative à un objet, un paramètre, un retour de terrain, une modification (pour vérifier et valider l'impact du changement),
- Etc.

6.6.2. Fonctions d'exploitation

Cette deuxième catégorie de fonctions doit permettre d'exploiter au mieux ce qui a été enregistré par les fonctions de la première catégorie. Il s'agit pour une part de fonctions de navigation dans la base de données et d'autre part, de fonctions de compilation des informations pour répondre au mieux à un besoin spécifique de l'utilisateur :

- Afficher les tâches d'utilisation, les fonctions, les solutions techniques, les zones dangereuses d'un système, les risques rencontrés au cours d'une tâche, etc.. Un exemple est présenté dans la Figure 6.11.

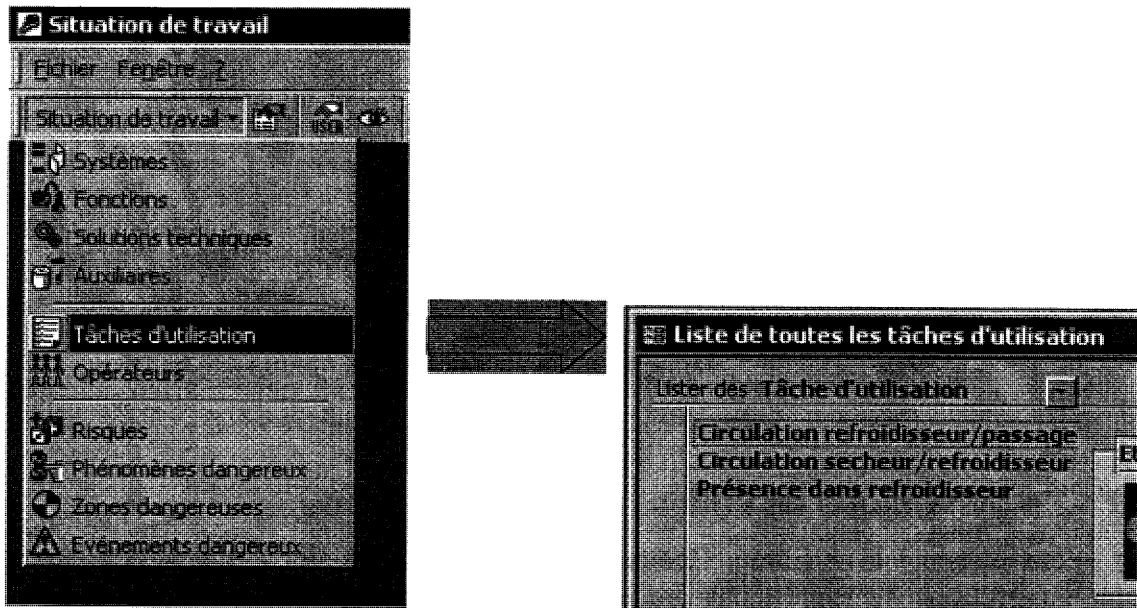


Figure 6.11 : Affichage des tâches d'utilisation

- Afficher les actions concernant un objet donné, les retours de terrain enregistrés pour une fonction donnée, etc.
- Proposer les zones dangereuses dans lesquelles une tâche risque de se dérouler.
- Générer les risques potentiels relatifs à un système (charge au concepteur de confirmer ou infirmer par la suite ces risques).
- Évaluer un risque en fonction des informations d'autres objets (durée et fréquence des tâches dans lesquelles ce risque existe, accessibilité d'une zone dangereuse, etc.).
- Générer des rapports sur l'état d'avancement d'une tâche (préciser ce qui est fait et ce qu'il reste à faire).
- Etc.

6.6.3. Fonctions de communication

Nous avons vu qu'au-delà d'un support d'information, la maquette doit être un système de communication. Or, lorsqu'un projeteur envisage une question ou un problème dont il ne connaît pas la réponse, il peut transmettre cette question vers un spécialiste dans le domaine de la question ou vers un autre projeteur (Figure 6.12) :

- Communiquer les actions devant être effectuées sous la responsabilité d'une personne donnée.
- Communiquer à un projeteur les points critiques à prendre en compte lors du développement.
- Avertir le responsable sécurité lorsqu'un choix de solution technique ou autre génère des risques potentiels.
- Etc.

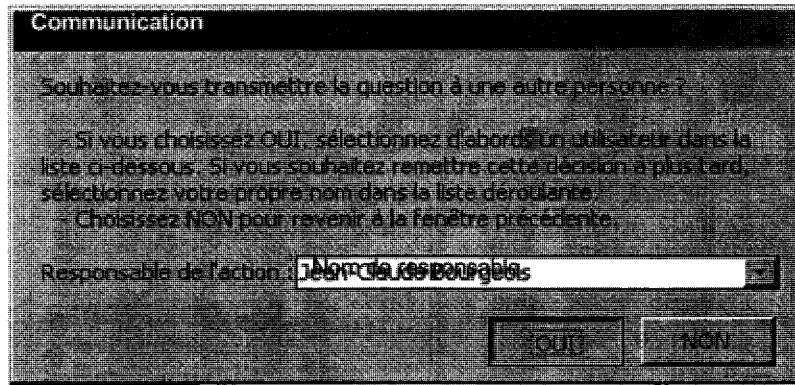


Figure 6.12 : La communication d'une question vers une autre personne

6.7. La dynamique de l'utilisation de la maquette

Nous avons présenté la dynamique comme la façon de réagir de la maquette quand nous ajoutons, modifions ou supprimons des informations à sa base de données. Nous pouvons identifier trois classes de « réactions » :

- Génération d'actions de contrôle.
- Liaison avec l'outil de gestion de projet (MS Project).
- Vérification de la cohérence des informations et des relations du modèle.

Nous détaillons ces trois classes dans la suite.

6.7.1. Génération d'actions de contrôle

Ces actions générées automatiquement par la maquette font suite à une opération de l'utilisateur sur la base de données. Cette génération d'actions aura deux rôles :

- Pour la **capitalisation des modifications** apportées aux éléments du modèle (Figure 6.13) ; dès leur création, ces actions seront marquées comme terminées (feu VERT puisque cette création d'action intervient ultérieurement à la modification) et serviront à enregistrer l'historique du processus de conception en conservant :

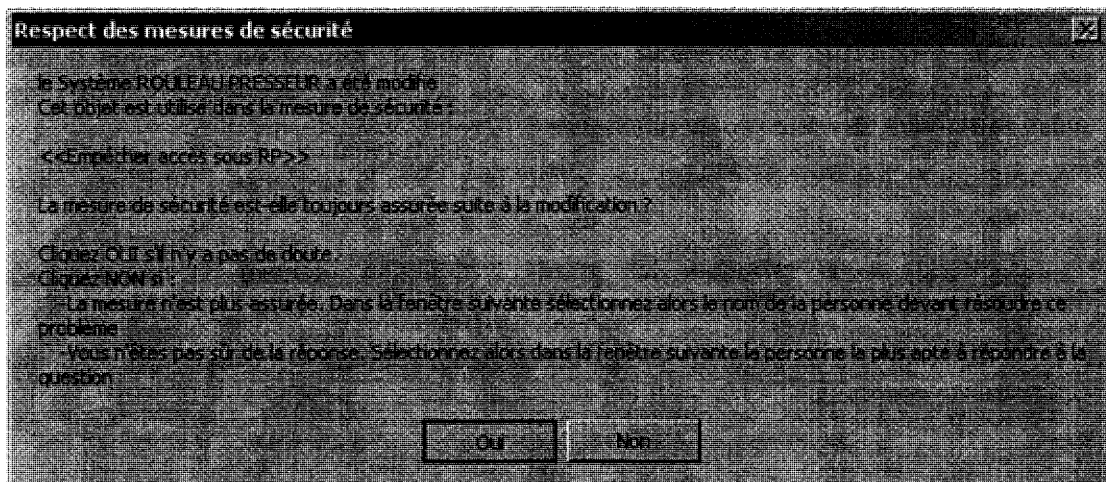


Figure 6.13 : La capitalisation des modifications suite à une modification

- La description des changements (création, édition, suppression) réalisés sur les systèmes, fonctions, tâches d'utilisation, etc..

- La description des changements réalisés sur les propriétés de ces objets.
 - La date et le responsable du changement.
- Pour **faciliter la communication** entre acteurs du processus et éviter des oublis ; lorsqu'un utilisateur du modèle réalise l'une des opérations décrites ci-dessous, cela peut générer des actions pour un autre utilisateur ou pour lui-même. Contrairement aux précédentes, ces actions sont ROUGES, c'est-à-dire qu'on ne pourra pas avancer dans le projet tant qu'elles n'auront pas été validées. Les opérations concernées peuvent être :
- Lors de la création d'un nouvel objet. Cet objet possède un certain nombre de relations potentielles avec d'autres objets du modèle. Certaines de ces relations ont un caractère sensible. Une action est donc générée sous la responsabilité de la personne la plus apte à répondre pour savoir si ces relations « sensibles » doivent être créées ou non, Figure 6.14.

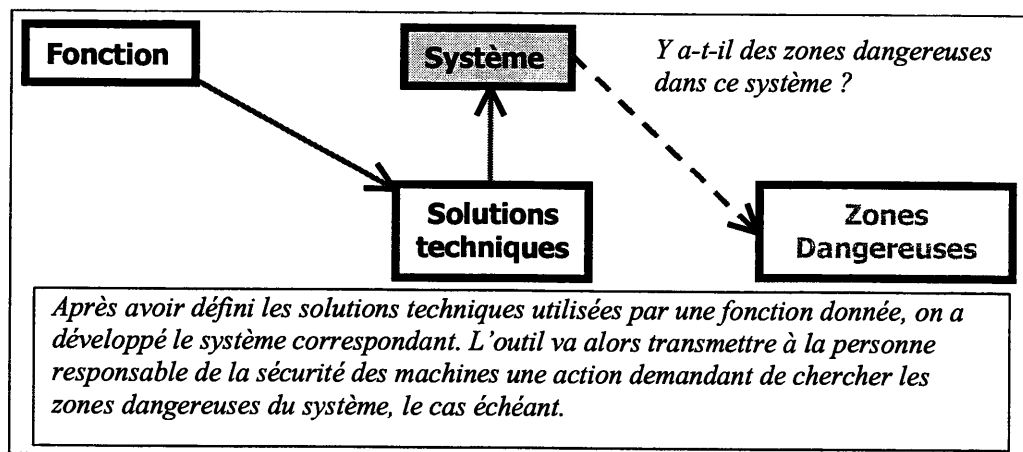


Figure 6.14 : Aide à la communication par la génération d'actions

- Lors de la création d'une liaison entre une « Tâche d'utilisation » et une « Zone Dangereuse », il faut créer une action demandant au responsable sécurité de générer éventuellement un objet risque qui provient du déroulement d'une tâche en zone dangereuse.
- Lors de la duplication d'un objet, il est nécessaire de vérifier que les liaisons sont toujours correctes. Des actions sont donc générées pour vérifier ces points.

Lorsque l'utilisateur réalise une opération qui peut générer des actions, il doit préciser dans le cadre de quel projet il travaille (un projet particulier nommé 'Hors projet' permet de gérer ce qui ne fait pas partie d'un projet). Ainsi, l'action correspondante sera rattachée à ce projet et le destinataire de l'action situera plus facilement le contexte. En outre, le destinataire peut connaître la personne qui est à l'origine de l'action.

6.7.2. Liaison avec l'outil de gestion de projet (MS Project)

L'historique de projet représente la **dynamique du processus de conception** en permettant de lier le modèle à la gestion de projet. Nous allons, ainsi, pouvoir rattacher les tâches de conception à des éléments du modèle (par exemple, une solution technique comme résultat d'une étape de pré-étude/recherche de solution et comme donnée d'entrée d'une étape de développement).

D'autre part, lors du lancement d'un projet, nous associons à ce projet les différents éléments du modèle qui sont susceptibles d'être modifiés (fonctions modifiées, parties de systèmes ou solutions techniques changées, etc.). Au fur et à mesure de l'évolution du projet, ces différents objets seront changés, supprimés, validés, etc. On pourra, ainsi, suivre l'impact d'un projet sur les données du modèle.

L'intégration de la gestion de projet doit permettre au modèle de **réagir** au processus de conception. En particulier, au lancement d'une tâche, le modèle peut fournir au responsable de l'action des informations utiles (par exemple, lorsqu'on commence une tâche de développement, il peut être utile d'être informé des points de la norme concernés par le système développé ou des risques potentiels de ce système, etc.). De même, lorsqu'une action est terminée, le modèle peut « réclamer » des informations qu'on aurait dû lui donner (par exemple, après une phase de pré-étude, on doit entrer dans la base de donnée les solutions techniques retenues).

L'historique projet est, en fait, constitué d'**actions**. Certaines de ces actions sont créées par l'utilisateur tandis que d'autres sont générées automatiquement (cf. § 6.7.1). Elles sont décrites par :

- La date de création dans la base et le nom du créateur,
- L'objet concerné par l'action (module, organe, fonction, risque, etc.),
- Le nom du responsable de l'action,
- Les dates de début et de fin de l'action, le statut de l'action (on retrouve le même principe que pour les objets ou les propriétés d'objet : VERT = action terminée, ORANGE = action en cours, ROUGE = action future),
- Les noms du fichier et de la tâche MS Project dans lesquels l'action s'intègre,
- Les points de vue concernés par la propriété (cf. § 6.5.2),
- Les données d'entrée nécessaires à la réalisation de l'action,
- Les résultats de l'action.

Pour les deux derniers points, il s'agit de références à des propriétés d'objets (un point de norme, un rapport de calculs, d'essais, de visite, un compte-rendu de réunion, la valeur d'un paramètre, etc.). Pour les résultats, il s'agit le plus souvent de propriétés de l'objet concerné par l'action mais ce n'est pas obligatoire car l'action peut avoir un impact sur d'autres éléments.

Deux types d'interactions sont à envisager :

- Des opérations dans la maquette « Situation de travail » qui ont un impact dans le planning MS Project.
- Des opérations dans l'outil MS Project qui ont un impact sur la base de données de la maquette « Situation de travail ».

Dans la maquette « Situation de travail », on peut visualiser la liste des projets en cours ainsi que leurs tâches ou encore les actions liées à un projet donné. Il est également possible d'ouvrir directement le planning MS Project à partir d'une action de la maquette « Situation de travail » (Figure 6.15).

Lorsqu'une action change de statut dans le modèle (une action passe '*en cours*' ou '*terminée*') on met à jour le statut de la tâche MS Project à travers son taux d'avancement. Si le statut est ROUGE ou VERT, c'est simple puisque le taux d'avancement vaut respectivement 0% et

100%. S'il est ORANGE, c'est au concepteur de renseigner le taux d'avancement. Éventuellement, la maquette peut proposer une estimation approximative calculée de la façon suivante :

- Compter 0% pour une action ROUGE,
- Compter 50% pour une action ORANGE,
- Compter 100% pour une action VERTE,
- Réaliser, ensuite, une moyenne sur les actions rattachées à la tâche MS Project pondérée par la durée des actions.

D'autre part, dans MS Project, on trouve des boutons supplémentaires qui permettent de visualiser les actions attachées à une tâche du projet ouvert ou d'ajouter une nouvelle action à cette tâche.

Et de la même façon que dans la maquette « Situation de travail », quand on change un taux d'avancement de tâche et que celui-ci passe à 100%, on ouvre dans « Situation de travail » les actions attachées à la tâche et qui n'ont pas un statut Vert. Le concepteur ou le chef de projet a donc la possibilité soit de valider une action qui est effectivement terminée mais qui n'avait pas été marquée comme telle, soit de relancer le responsable de l'action pour clore la tâche définitivement.

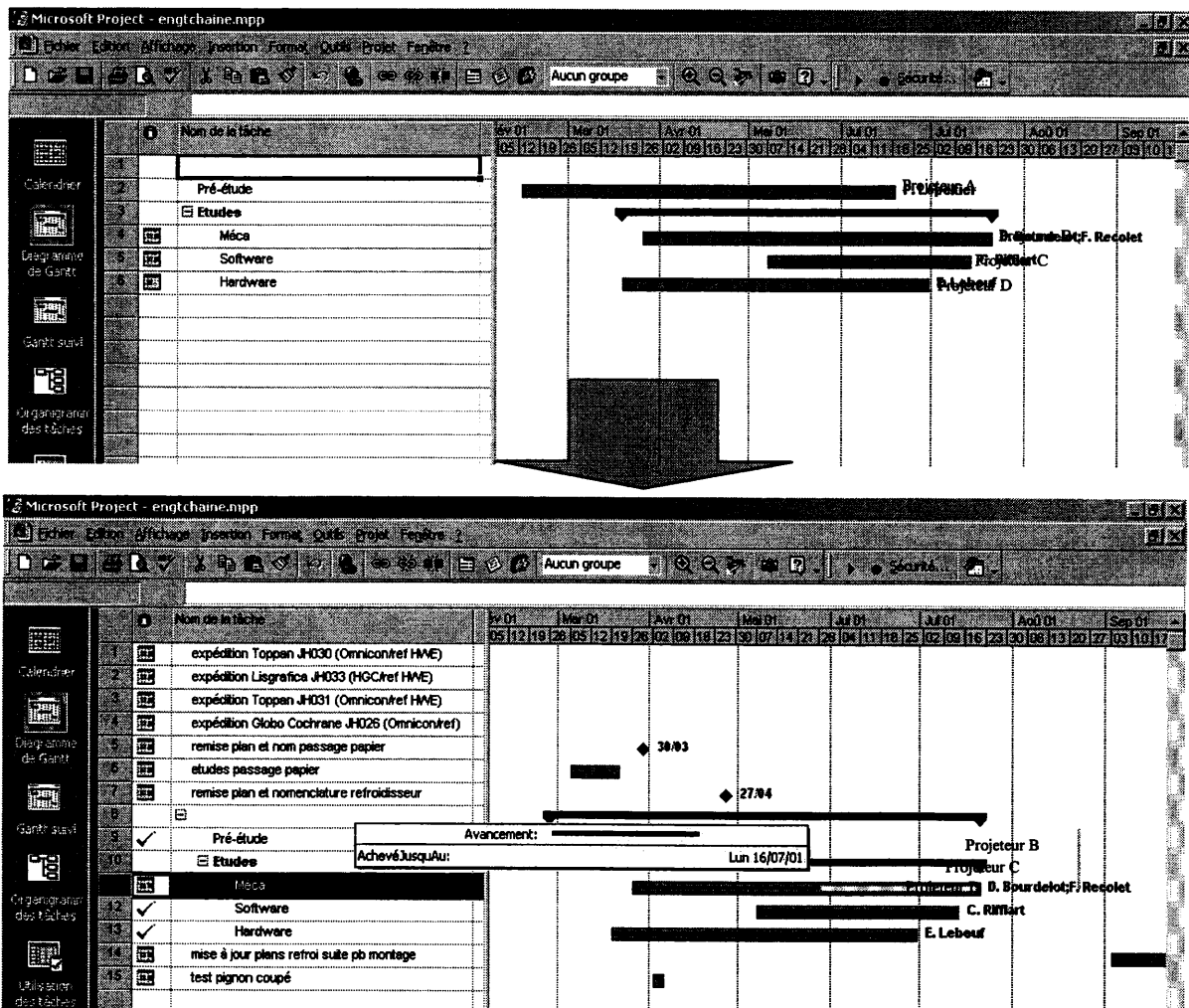


Figure 6.15 : La liaison avec MS Project

6.7.3. Vérification de la cohérence des informations et des relations du modèle

Les relations entre objets sont un élément clé pour l'exploitation des informations. Ce sont ces liaisons qui matérialisent le fait qu'une solution technique est utilisée par telles fonctions et mise en œuvre dans tels systèmes. Mais, des problèmes se posent même sur ce simple exemple. Comme nous le voyons sur la Figure 6.16, des « boucles » apparaissent dans les relations et on doit toujours s'assurer que « la boucle est bouclée » !

Pour assurer la cohérence du modèle, les relations doivent être mises à jour à chaque changement. L'ajout d'une liaison peut, suite à un oubli, créer des manques dans les relations et la suppression d'une liaison peut laisser des relations obsolètes. Sur la Figure 6.16, si une fonction F utilise une solution technique ST qui est implantée sur le système S, il y a de fortes chances (mais ce n'est pas obligatoire) que le système S remplisse la fonction F. Il est donc important de suggérer ces liens au concepteur mais aussi de lui laisser le choix de les valider ou non sans les imposer.

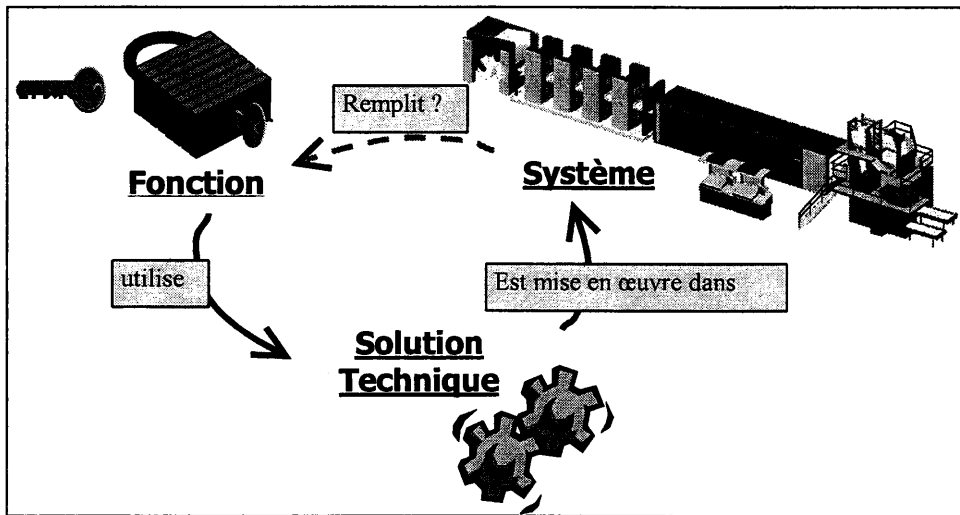


Figure 6.16 : La cohérence du modèle

On voit sur la Figure 6.17 comment se passe cette mise à jour lors de la création d'une liaison entre deux Objets 1 & 2. La maquette va demander s'il faut lier à Objet2 tous les objets déjà liés à Objet1 et qui peuvent, de par leur nature, être liés à Objet2. Une relation étant toujours symétrique, on repose les mêmes questions en inversant les rôles de Objet1 et Objet2.

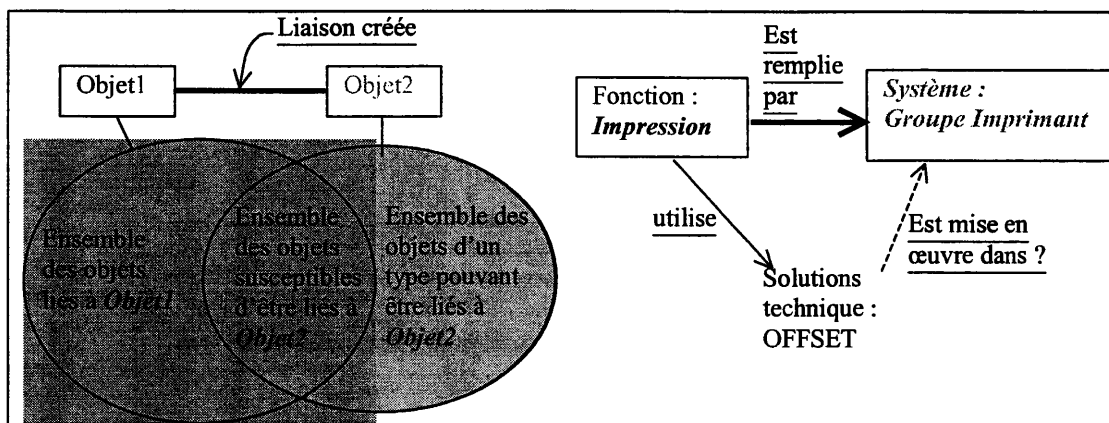


Figure 6.17 : Méthode de mise à jour des liaisons lors de la création d'une relation

Un travail similaire intervient lors de la suppression d'une liaison (Figure 6.18). Si on supprime une relation entre deux objets 1 & 2, on cherche la liste des objets liés à la fois à Objet1 et à Objet2. Ensuite, on propose au concepteur de supprimer ou conserver chacune des relations entre les objets de la liste et Objet1, ainsi qu'entre les objets de la liste et Objet2.

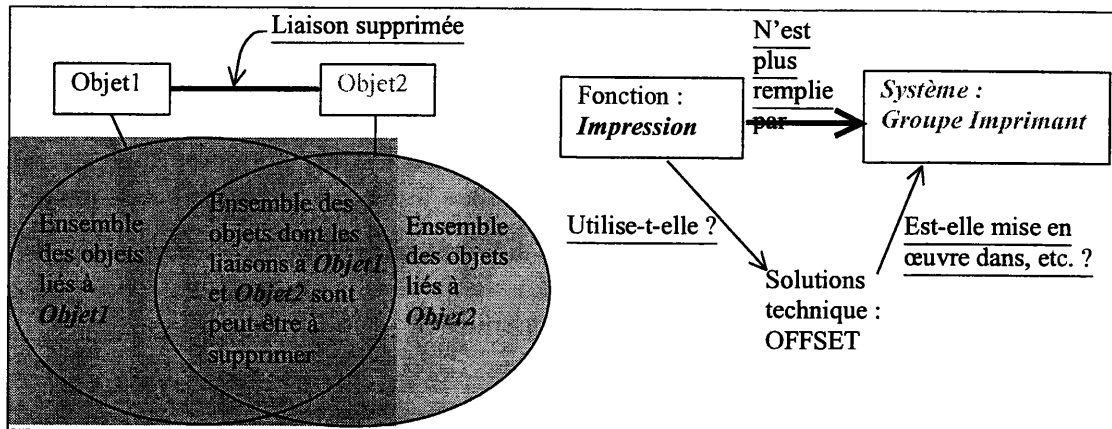


Figure 6.18 : Méthode de mise à jour des liaisons lors de la suppression d'une relation

Après avoir supprimé un certain nombre de relations, il peut être utile de vérifier que tous les objets en jeu sont toujours liés à quelque chose. Si ce n'est pas le cas, il faut peut-être supprimer l'objet. Si l'objectif est de supprimer un objet, il n'est pas nécessaire de supprimer les relations. Le fait de rendre l'objet « invalide » n'efface pas les relations mais les masque. Si bien que, sauf demande explicite du concepteur, l'objet n'est plus accessible (Figure 6.19).

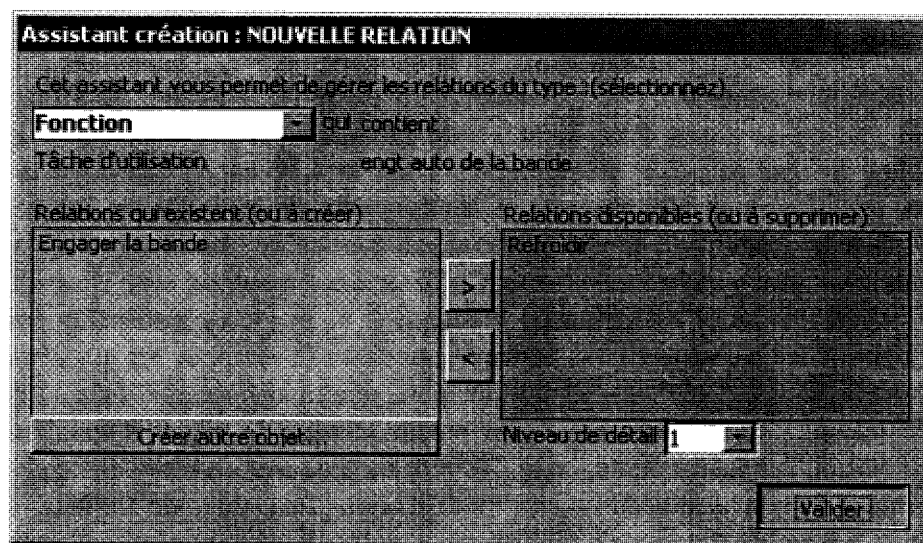


Figure 6.19 : La vérification des cohérences des informations et des relations

Dans ce chapitre, nous avons présenté jusqu'ici les principales fonctionnalités de base de la maquette « Situation de travail », nous illustrons plus particulièrement deux autres points.

Le premier concerne l'implantation de la maquette sous MS Access, environnement « grand public » qui est accessible à tout le monde. Ce choix a été effectué afin de respecter les contraintes du contexte industriel de l'entreprise et les outils informatiques qu'elle utilise.

Le deuxième point spécifie les utilisateurs potentiels de cet outil informatique. Il sera développé dans le paragraphe 6.9.

6.8. l'implantation de la maquette

La structure de la base de données implantée sous MS Access pour réaliser la maquette informatique supporte le modèle de situation de travail. Le modèle développé sous MS Access constitue en quelque sorte un méta-modèle pour le modèle de situation de travail. En effet, c'est l'instanciation de la base MS Access (en particulier des tables **Choix_TypeObjet** et **RELATION_Types**) qui met en place le modèle de situation de travail. Ce premier niveau d'instanciation a été réalisé par F. Cherrier au cours de son stage de fin d'études d'ingénieur [Cherrier 2001] et n'est pas accessible par l'utilisateur. Intervient, ensuite, l'instanciation à un second niveau (en particulier les tables **Objet** et **RELATION**) effectuée directement par l'utilisateur cette fois. Cette entrée de données décrit la « Situation de travail » elle-même.

La présentation des tables MS Access et des relations établies entre ces tables se décompose en plusieurs parties (cf. annexe 6). Nous présentons des tables et relations correspondantes sous forme de capture d'écran MS Access dans l'annexe 6.

6.9. Les utilisateurs potentiels de la maquette

Comme nous avons pu le voir dans la description des processus de l'entreprise (conception, sécurité, retour de terrain) présentés dans le paragraphe 6.2.2.1, de nombreuses personnes représentant des métiers différents et des contraintes spécifiques sont susceptibles d'utiliser cet outil. Nous allons dresser ici une liste non exhaustive de ces personnes et de la façon dont elles peuvent chacune utiliser le modèle. Une démonstration de l'utilisation de cette maquette informatique est présentée dans l'annexe 7.

6.9.1. Le chef de projet

On a vu dans le paragraphe 6.7.2 que la maquette « Situation de travail » devait permettre une liaison avec la gestion de projet. Pour autant, cette relation n'est pas entièrement automatisée. L'une des tâches du chef de projet sera donc d'assurer la cohérence entre la gestion de projet (en particulier les plannings MS Project) et les éléments de la maquette de « Situation de travail » relatifs à la gestion de projet (ce sont, en particulier, les *Actions* associées à des objets du modèle). Cette synchronisation va s'utiliser dans les deux sens : lorsqu'on précise dans MS Project qu'une tâche est terminée, la maquette va proposer automatiquement au chef de projet de valider les objets du modèle correspondants (c'est pour lui aussi un moyen de vérifier que tout a bien été réalisé). Et d'autre part, des modifications dans la maquette de « Situation de travail » vont avoir un impact sur la gestion de projet. Quand un ensemble d'actions a été validé sur la maquette, cette dernière va proposer de clore des tâches dans MS Project. Lorsque l'on souhaite réaliser une modification d'un objet du modèle, la maquette peut proposer un ensemble d'actions à réaliser qui sont une base pour réaliser le planning.

Ainsi, la maquette offre au chef de projet un moyen supplémentaire de visualiser l'état d'avancement d'un projet. Le chef de projet peut identifier rapidement les éléments sur lesquels du travail reste à faire.

Prenons, par exemple, le cas de l'optimisation d'une fonction de la machine. Dans un premier temps, la maquette va permettre de lister l'ensemble des éléments de la machine et des solutions techniques utilisées pour réaliser cette fonction. Après un premier tri, on peut établir un premier bilan des tâches à accomplir pour modifier la fonction. Pour réaliser la modification, on réalise, d'abord, une copie de la fonction d'origine. Si l'on souhaite changer une solution technique sur cette nouvelle fonction, le modèle va automatiquement proposer de supprimer également les liens vers le(s) système(s) qui utilise(ent) cette solution technique, etc. Chaque fois qu'une telle opération est réalisée, des actions « feu rouge » sont générées

qui indiquent, en particulier, au chef de projet qu'il reste des choses à vérifier avant de pouvoir valider un choix.

6.9.2. L'expert métier ou le chef de groupe

Chacun de ces deux acteurs va pouvoir utiliser la maquette à peu près de la même façon dans le cadre du soutien technique. Il peut utiliser la maquette pour réaliser des recherches de solutions déjà connues, etc. ou de manière plus générale pour analyser comment on est arrivé à un système tel qu'il existe à un instant (t), en vue de le modifier (pour résoudre un problème donné ou adapter le système à un nouveau cahier des charges) en toute connaissance de cause.

La maquette permet de retrouver plus facilement les systèmes ou sous-systèmes qui remplissent une fonction donnée ainsi que les solutions techniques mises en œuvres, les tâches d'utilisation, etc.

Elle permet également de connaître en temps réel les conséquences d'un changement de concept technique en terme de sécurité. Ces utilisations de la maquette peuvent se faire avec ou par le chef de projet qui a aussi un point de vue technique sur le projet. Il n'est pas expert mais possède une vue plus globale du produit conçu ou modifié dans le projet qu'il dirige.

6.9.3. Le projeteur

Le projeteur doit pouvoir accéder via la maquette à une liste d'éléments qui l'aide dans son travail de conception et de développement. Ces éléments sont des points de la norme à respecter avec les « idées » de solutions associées, des solutions anciennement testées pour une fonction donnée, l'historique des problèmes qui ont pu revenir au BE par rapport à une fonction ou une solution technique donnée, etc. Cela signifie que les problèmes sont associés non seulement à un système ou organe donné (comme c'est fait dans la base CIRT) mais surtout aux solutions techniques et fonctions, ce qui est plus parlant pendant la conception donc pour le projeteur.

La maquette informatique doit également offrir au projeteur une vision de la conception plus orientée vers la sécurité avec l'introduction d'outils d'appréciation du risque (analyse + évaluation) comme ils peuvent être décrits dans la norme EN 1050 [Norme 1997a].

6.9.4. Service sécurité, également appelé Engineering service

La maquette doit permettre la **formalisation** de la façon de travailler actuelle. C'est-à-dire, pour un projet ou un développement donné :

- Identification des points de sécurité à respecter,
- Communication aux concepteurs,
- Suivi de ces points en conception, comme décrit dans le processus de sécurité, au paragraphe 6.2.2.2.

L'intérêt de l'utilisation de la maquette est de trouver grâce au modèle de « Situation de travail » un **support pour les informations** relatives à la sécurité. La maquette offre également un **moyen de communication** plus formel et plus systématique entre les personnes qui conçoivent et celles qui ont à charge de valider les résultats de cette conception en terme de sécurité.

En pratique, quand un concepteur réalise un choix technique et qu'il le renseigne dans la base de données, la maquette peut, le cas échéant, générer une information pour Engineering Service si des risques potentiels apparaissent.

6.10. Conclusion chapitre 6

L'objectif de ce chapitre était principalement de montrer comment appliquer à un cas industriel les concepts proposés dans le modèle générique de Situation de travail pour présenter à travers une maquette informatique l'apport au processus de conception de l'entreprise. Pour cela, des contraintes relatives à l'existant de l'entreprise en termes d'organisation ou d'information ont dû être prises en compte (principalement pour les outils et environnements informatiques).

D'autre part, la complexité du modèle théorique a nécessité la mise en place d'assistants qui assurent la **cohérence des informations** fournies par les acteurs de la conception. Il a, ainsi, fallu définir la **dynamique de l'utilisation** de la maquette de Situation de travail dans un contexte pré-défini. Par dynamique, on entend « faire coller le modèle au déroulement d'un projet de conception », le modèle devant être en phase à tout moment avec le travail que réalisent les participants du projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

La conception des systèmes de production complexes est un processus au cours duquel les acteurs, de différents métiers, essaient de prendre en compte toutes les phases de son cycle de vie. Elle comprend aussi l'élaboration des manuels d'instruction relatifs à toutes les phases de sa vie.

La sécurité de l'opérateur humain est devenue une des raisons principales de mettre en application l'automatisation des systèmes de production, mais l'intervention humaine sur ces systèmes reste une nécessité dans les modes de fonctionnement dégradés ou de maintenance, lors de réglages, de dépannages, de changements de production, etc..

Dans ces travaux, nous avons proposé un modèle conceptuel qui permet d'intégrer les contextes d'utilisation et le comportement du système de production et de l'équipe de travail dès la conception afin d'améliorer leurs performances. Nous nous sommes, en particulier, intéressés à l'intégration de la sécurité des opérateurs par la prise en compte de l'environnement socio-technique de production grâce au modèle de situation de travail que nous proposons. Pour réaliser ces travaux, nous avons analysé les méthodes de conception existantes et leurs façons d'intégrer la sécurité au processus de conception.

En effet, cette analyse a fait émerger un manque de méthodes et d'outils pour la connaissance puis l'intégration des activités réelles de travail et de la prévention des risques associés.

Ainsi, nous avons été amenés à spécifier des modèles pertinents relatifs au système de production et à son processus de conception afin de permettre à terme une prise en compte des risques qui peuvent exister en phase d'exploitation sur site industriel.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté le contexte et la méthodologie de nos travaux. Ceci nous a permis d'extraire les typologies d'éléments influençant une situation de travail. Nos résultats d'analyse constituent la base de notre proposition de modèle générique de situation de travail. Ce modèle est sensé prendre en compte dès la conception aussi bien les aspects liés à la sécurité de l'opérateur que les aspects techniques.

Dans le deuxième chapitre, un état de l'art a porté sur trois points : la conception, la sécurité et l'intégration de la sécurité dans le processus de conception. Cet état de l'art nous a permis de positionner nos travaux.

Les résultats des analyses présentées dans les deux premiers chapitres nous ont permis de proposer la définition de la notion de Situation de travail. Cette notion est développée dans le chapitre 3 dans lequel nous avons détaillé et argumenté les fondements du modèle conceptuel de la situation de travail issus d'éléments conformes à la norme, des résultats de nos analyses et pour certains de la littérature.

Cette description structurelle du modèle ne permettant que partiellement de percevoir comment ce modèle peut être utilisé, nous avons présenté une approche de l'utilisation de ce modèle au quatrième chapitre. Pour cela, nous avons argumenté la prise en compte de différents niveaux de la dynamique de la situation de travail dans l'utilisation de notre modèle et dans une approche socio-technique. Nous avons, en particulier, proposé une approche de conception basée sur l'utilisation des concepts contenus dans le modèle de situation de travail. D'un autre point de vue, le classement des tâches d'utilisation du système par mode de fonctionnement et d'intervention facilite la génération et l'élaboration des manuels d'utilisation des systèmes. Nous avons illustré l'intérêt et la pertinence du modèle pour le processus de conception en y incluant le processus d'intégration de la sécurité des hommes et les retours de terrain. En effet, ce modèle a été conçu afin d'être utilisable à la fois par les personnes établissant les spécifications, les cahiers des charges ou par les projeteurs ou même

les personnes en charge du suivi de la conception, et plus généralement par les équipes effectuant le suivi du système au cours de son exploitation.

L'intégration et la dynamique de l'utilisation de ce modèle permettent de faciliter la communication entre les différents acteurs du projet afin d'éviter des modifications ultérieures coûteuses. Ces modifications nécessitent la recherche de moyens (méthodes, outils, etc.) pour résoudre des contradictions comme sécurité-productivité. Nous avons proposé de tels moyens au chapitre cinq.

L'exploitation de notre modèle en s'appuyant sur une démarche de résolution de contradiction, doit constituer une aide, comme nous l'avons montré à partir d'exemples, pour la conception de système prenant en compte le plus tôt possible les objectifs de sécurité et de productivité.

Dans le chapitre six nous avons proposé un support méthodologique et technique (maquette informatique démonstrative) permettant d'aider le concepteur à structurer le processus de conception dans un objectif de représenter et gérer l'ensemble des informations relatives au système socio-technique en phase d'utilisation sur site industriel. Un soin particulier a été apporté afin d'intégrer à la fois les aspects techniques, ceux liés à la sécurité et à l'interaction des opérateurs avec le système technique. Ainsi, le concepteur peut effectuer et évaluer du point de vue de la sécurité, les choix de solutions techniques effectués pour satisfaire les fonctions demandées et faire remonter les retours d'expérience de façon systématique et formalisée. Ce support méthodologique permet aussi de faciliter et systématiser la communication entre les différents projecteurs dans le projet. Cet outil et son utilisabilité ont été testés dans le cadre d'un projet industriel de conception.

Les résultats obtenus dans cette thèse ouvrent la porte à plusieurs perspectives importantes.

La dynamique de la situation de travail présentée dans le chapitre 4 fait l'objet d'une perspective forte. Or, les différents types de réalisation d'une tâche (individuellement, coopération, collectivité, etc.) peuvent être présentés dans un modèle plus complet. Ce modèle devrait permettre la simulation de la situation de travail dès la conception. Il devrait prendre en compte la dynamique de la situation de travail lors de la réalisation des tâches prescrites et les dérives possibles.

Dans nos travaux nous n'imposons pas au concepteur l'utilisation d'outils ou de méthodes particuliers (outils et méthodes d'évaluation et d'estimation des risques, de calcul, de modélisation, CdCF, AMDEC, CAO, IAO, MAFERGO, TRIZ, etc.). C'est au concepteur d'utiliser les outils les plus pertinents pour résoudre sa problématique. Une voie de recherche intéressante réside dans le développement d'une méthodologie intégrant les outils les plus complémentaires et qui permettent de compléter les composantes de l'approche de conception originale proposée.

Enfin, rappelons que ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet commun PROSPER soutenu par le CNRS et animé par l'INRS et regroupant des équipes pluri-disciplinaires. L'apport de chaque équipe constitue un élément qui devrait permettre d'enrichir les possibilités d'application et d'exploitation du modèle. En particulier, l'approche proposée devrait à terme être fédératrice entre ingénieurs et ergonomes grâce à la prise en compte de concepts référents communs reconnus par les deux communautés dans le cadre des résultats du projet.

Références bibliographiques

Références personnelles

- [Hasan & al 1999], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., Martin P., « *Prise en compte de la sécurité dans le processus de conception de systèmes de production* » deuxième rapport interne dans le cadre du projet PROSPER-GIPC, INRS, novembre 1999.
- [Hasan & al 2000a], Hasan R., Ciccotelli J., Bernard A., Martin P., « *Representation and evaluation of risks during the design phase of a complex system* », Proc. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, volume 1, p. 141-147, ISBN 90-5809-1414, 2000.
- [Hasan & al 2000b], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., Martin P., « *Intégration de la sécurité dès la conception de systèmes de Production : modélisation de l'interaction homme-machine dans le fonctionnement du produit lors du processus de conception* », Proc. of the 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Mascle, Fortin & Pegna (eds), Presses Int. Polytechnique, Montréal, Canada, 2^o trim. 2000, ISBN 2-553-00803-1.
- [Hasan & al 2000c], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., Martin P., « *Prise en compte de la sécurité dans le processus de conception de systèmes de production* », troisième rapport interne dans le cadre du projet PROSPER-GIPC, INRS, novembre 2000.
- [Hasan & al 2001a], Hasan R., Martin P., Ciccotelli J., Bernard A., « *Contribution à la résolution de problème de conflit dans la prise en compte de la sécurité dans le processus de conception : analyse d'une ligne de production automatisée* », 4^{ième} congrès international pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de fonctionnement (Qualita 2001). 22-23 mars 2001. <http://www.univ-savoie.fr/Qualita2001>.
- [Hasan & al 2001b], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., Martin P., « *Proposition d'une démarche de conception basée sur un modèle générique de situation de travail* », 7^{ème} Colloque national sur la conception mécanique intégrée PRIMECA'01, La Pagne, France 2-4 avril, 2001, <http://gilco.inpg.fr/primeca/plagne01>.
- [Hasan & al 2001c], Hasan R., Bernard A., Lombard M., « *Proposition d'un modèle de système pour l'intégration de la notion de situation de travail dans le processus de conception* » 3^{ème} conférence francophone de Modélisation et SIMulation (MOSIM'01), Troyes, 25-27 avril 2001. <http://www.univ-troyes.fr/mosim01>.
- [Hasan & al 2001d], Hasan R., Martin P., Bernard A., « *L'intégration de l'approche TRIZ dans le processus d'utilisation du modèle générique de la situation de travail : cas d'une ligne d'imprimerie* », 4^{ième} congrès International de Génie Industriel, Aix-Marseille – France, 12-15 juin, 2001.
- [Hasan & al 2002a], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., Martin P., « *Integrating safety into the design process: elements and concepts relative to the working situation* », Journal Safety Sciences, Numéro spécial "Safety by design", accepté, parution prévue 1^{er} sem. 2002.
- [Hasan & al 2002b], Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J., « *Proposition d'une nouvelle approche de conception par l'intégration du concept de Situation de travail* », 4^{ième} conférence internationale sur la conception et la fabrication intégrées en mécanique, 14-16 mai, Clermont-Ferrand, France, 2002, accepté pour présentation et publication dans les actes.
- [Bernard & al 2002a], Bernard A., Hasan R., « *"Working situation" model as the base of life-cycle modelling of socio-technical production systems* », CIRP Design Seminar, Honk-Kong, May 2002, accepté pour présentation et publication dans les proceedings.
- [Bernard & al 2002b], Bernard A., Hasan R., « *Working situation model for safety integration during design phase* », accepté pour présentation à l'AG du CIRP 2002 et publication dans Annals of the CIRP 15/1/2001

Références générales

- [Aghazadeh & al 1998], Aghazadeh F., Waly S.M., « *A design and selection guide for hand held tools* », dans le livre « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* » Edited by W. Karwowski, G. Salvendy Society of Manufacturing Engineers, USA, ISBN : 0-87263-485-X, 538 p., 1998.
- [Aldanondo & al 2000], Aldanondo M., Rougé S., Véron M., « *Expert configurator for concurrent engineering: caméléon software and model* », Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 11, p. 127-134, ISSN : 0956-5515, April, 2000.
- [Aoussat & al 1998], Aoussat A., Le Coq M., « *Méthode globale de conception de produit* », dans le livre collectif « *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils* », sous la responsabilité de M. Tollenaere, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p. 52-67, 1998.
- [Ayache & al 1996], Ayache M., Flory A., « *Approche Orientée Objet : Concepts et utilisation* », ISBN : 2-7178-3153-3, Paris, Éditions. ECONOMICA, 112 p., 1996.
- [Belloy 1994], Belloy Ph., « *Intégration des connaissances métier dans la conception : un modèle pour les pièces mécaniques. Application à l'usinage et à l'estampage* », Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, France, 1994.
- [Benoit & al 1999], Benoit R., Gauthier F., « *Intégration méthodologique des aspects de sécurité du travail au processus de conception des systèmes automatisés utilisés dans les papetières québécoises* », Safety of Industrial Automated System, International Conférence, Montréal, Canada, p. 11 – 15, octobre 1999.
- [Bernard 1999], Bernard A., « *Modèles de produit et de processus* », PRIMECA, Université d'Automne, Nancy, 20-22 octobre, 1999.
- [Berg & al 2000], Berg H. P., Hashmi J. A., « *A self assessment programme to enhance safety and reliability of nuclear installation* », Proc. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, volume 1, p. 785-788, ISBN 90-5809-1414, 2000.
- [Bertoluci 2001], Bertoluci G., « *Proposition d'une méthode d'amélioration de la cohérence des processus industriels* », Thèse de Doctorat, ENSAM, 2001
- [Blaise & al 1999], Blaise J. C., Lhoste P., Ciccotelli J., « *Safety of machinery : integration of engineering, technical and normative views* », European Safety and Reliability Conference, Schuëller & Kafka (eds), Rotterdam, p. 1411-1416, ISBN 90-5809-109-0, 1999.
- [Blaise 2000], Blaise J. C., « *Apport d'une modélisation de l'information normative à l'intégration des règles de Sécurité des machines en conception* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, 2000
- [Blanco 1998], Blanco E., « *L'émergence du produit dans la conception distribuée vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de Systèmes mécaniques* », Thèse de Doctorat, Laboratoire Sols, Solides, Structures (3S) et CRISTO, Grenoble I, 1998.
- [Bocquet 1998], Bocquet J. C., « *Ingénierie simultanée, conception intégrée* », dans le livre collectif « *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils* », sous la responsabilité de M. Tollenaere, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p. 27-52, 1998.
- [Bocquet 1999], Bocquet J. C., « *La capitalisation intégrée du produit, du processus et de l'organisation : modèle global et outils* », 6^{ième} colloque sur la conception mécanique intégrée, PRIMECA, la Plagne, France, p. 123-131, 1999.
- [Bonnevie & al 1998], Bonnevie L., Ciccotelli J., Marsot J., « *Ingénierie de conception et ergonomie : méthodes, outils et proposition d'action pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de développement des outils à main* », rapport interne INRS, n° 467.616/JCI, 1998.
- [Booch & al 2000], Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., « *Le guide de l'utilisateur UML* », traduit de l'anglais par la société Alinter, ISBN : 2-212-09103-6, Éditions EYROLLES, 543 p., 2000
- [Bougy & al 1999], Bougy J. J., Wachenheim P., « *Evaluation des performances d'un système de production par réseaux de Petri Stochastiques colorés* », 3^{ème} Congrès International Pluridisciplinaire, Qualité et Sécurité de fonctionnement, Paris, France, 25-26 mars, Éditions MAPE, résidence Palatine, ISBN : 2-900-781-43-4, p. 495-504, 1999.

- [Brissaud & al 1998], Brissaud D., Garro O., « *Conception distribuée, émergence* », dans le livre collectif « *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèle et outils* », sous la responsabilité de M. Tollenaere, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p. 105-114, 1998.
- [Bullinger & al 1998], Bullinger H. J., Braun M., Schopp R., « *Corporate ergonomic efforts in Germany* », dans le livre « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* » Edited by W. Karwowski, G. Salvendy Society of Manufacturing Engineers, USA, ISBN : 0-87263-485-X, 538 p., 1998.
- [Calvez 1992], Calvez J.P., « *Spécification et conception des systèmes, une méthodologie* », ISBN : 225821070, Paris, Éditions MASSON, 614 p., 1992.
- [Cantzler & al 1995], Cantzler O., Mekhilef M., Bocquet J.C., « *Une mémoire technique pour une gestion des connaissances en conception : contribution à la modélisation des décisions* », Colloque PRIMECA, 3-4-5 avril 1995.
- [Cavallucci & al 1998], Cavallucci D., Lutz P., « *TRIZ, Une nouvelle approche de résolution des problèmes d'innovation* », International Journal of Innovation Research. Vol.1 n°1, p : 13-20, juin 1998.
- [Cavallucci 1999], Cavallucci D., « *Contribution à la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique* », Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, décembre 1999.
- [Chanchevier 1993], Chanchevier M., « *L'ingénierie simultanée, un nouveau mode de management de projets* », conférences AFITEP, Paris, 4-5 novembre 1993.
- [Chanchevier 1999], Chanchevier N., « *NOEMIE : Méthodologie et outils pour le retour d'expérience industriel* », 3^{ème} Congrès International Pluridisciplinaire, Qualité et Sécurité de fonctionnement, Paris, France, 25-26 mars, Éditions MAPE, ISBN : 2-900-781-43-4, p. 299-307, 1999.
- [Charpentier & al 1992], Charpentier P., Garro O., Martin P., Divoux T., « *Méthodologie de conception du Contrôle-Commande d'une Cellule Flexible d'Usinage dans l'industrie de l'ameublement bois massif* », Instrument Society of America, (ISA), Conférence et Exposition sur l'Automatisation Industrielle. ED Guy Bogdadi, ISBN 2-9802946-0-8, Montréal, Canada, 1-3 juin 1992.
- [Charpentier & al 1995], Charpentier P., Garro O., Toniolo A. M., Brissaud D., « *Vers l'émergence d'un produit en conception distribuée* », PRIMECA, 4^{ème} colloque sur la conception Mécanique Intégrée, La Plagne, France, 3 au 5 avril 1995.
- [Cherrier 2001], Cherrier F., « *Prise en compte de la sécurité en phases de conception par l'intégration conjointe de l'homme et de la machine dans une Situation de travail* », Rapport de fin d'études, École Centrale Nantes, septembre 2001.
- [Choi & al 2000], Choi B. K., Kim B. H., « *A Human-centered Virtual Manufacturing System architecture For Next Generation Manufacturing* », Proceedings International CIRP Design Seminar, 16-18 mai, Haifa, 2000.
- [Ciccotelli 1999a], Ciccotelli J., « *Sécurité intégrée à la conception des systèmes de production* », PRIMECA Université d'Automne, Nancy, 20-22 octobre 1999.
- [Ciccotelli 1999b], Ciccotelli J., « *Des systèmes compliqués aux systèmes complexes* », INRS, Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité de travail – N° 177, p. 125-133, 4^e trimestre, 1999, ISBN 2-7389-0843-8.
- [Collinge & al 1999], Collinge C., Gauthier F., « *Conception des systèmes automatisés dans les papetières québécoises : apport de l'ergonomie dans le travail des ingénieurs-concepteurs* », Safety of Industrial Automated System, International Conférence, Montréal, Canada, p. 11–15, octobre 1999.
- [Constant 1996], Constant D., « *Contribution à la spécification d'un modèle fonctionnel de produits pour la conception intégrée des systèmes mécaniques* », Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, 1996.
- [Courtois 1995], Courtois A., Martin-Bonnefous C., Pillet M., « *Gestion de production* », ISBN : 708118455, Paris, Éditions d'Organisation, 375 p., 1995.
- [Das 1998], Das B., « *Manufacturing workstation design* », dans le livre « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* » Edited by W. Karwowski, G. Salvendy Society of Manufacturing Engineers, United States of America, ISBN : 0-87263-485-X, 538 p., 1998.
- [Day 1998], Day D., « *Participatory ergonomics – a practical guide for the plant manager* », dans le livre « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* » Edited by W.

- Karwowski, G. Salvendy Society of Manufacturing Engineers, USA, ISBN : 0-87263-485-X, 538 p., 1998.
- [David & al 1997], David R., Alla H., « *Du Grafset aux réseaux de Petri* », ISBN : 2866013255, Paris, Éditions HERMES, 500 p. 1997.
- [Dequaire & al 1999], Dequaire E., Theureau J., Limmios N., Sidahmed M., Chotard M., « *Prévention des risques (Santé/sécurité) de la conception à l'exploitation et articulation de la modélisation cognitive des activités de travail et des méthodes probabilistes de la fiabilité humaine* », deuxième rapport d'état d'avancement interne dans le cadre du projet PROSPER-GIPC, INRS, octobre 1999.
- [Dequaire & al 2000], Dequaire E., Theureau J., Limmios N., Sidahmed M., Chotard M., « *Prévention des risques (Santé/sécurité) de la conception à l'exploitation et articulation de la modélisation cognitive des activités de travail et des méthodes probabilistes de la fiabilité humaine* », troisième rapport d'état d'avancement interne dans le cadre du projet PROSPER-GIPC, INRS, octobre 2000.
- [De Kleer & al 1984], De Kleer, J., Brown, J.S., « *A qualitative physics based on confluences* », Artificial Intelligence, Volume 24, Issue 1-3, p. 7-83, 1984.
- [Delcuvellerie 1989], Delcuvellerie J. L., « *Ingénierie des systèmes d'automatisation de production ; connaissances en conception des architectures de systèmes informatisés d'automatisation et outil d'analyse de la robustesse aux défaillances d'architectures réparties* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, 1989.
- [Didelot & al 1999], Didelot A., Fadier E., De La Garza C., Attensen C., « *Analyse d'une situation de travail dans l'imprimerie et application de MAFERGO* », deuxième rapport d'état d'avancement interne dans le cadre du projet PROSPER-GIPC, INRS, novembre 1999.
- [Didelot & al 2000], Didelot A., Fadier E., Ciccotelli J., « *Contributions and limitations of standardization with respect to automated system design* », Proc. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, volume 1, p. 127-131, ISBN 90-5809-1414, 2000.
- [Didelot 2001], Didelot A., « *Contribution à l'identification et au contrôle des risques dans le processus de conception* », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Génie des Systèmes Industriels, 2001.
- [Domb 1998], Domb, A., « *The 39 Features of Altshuller's contradiction matrix* », TRIZ Journal, novembre 1998, <http://www.triz-journal.com>.
- [Eynard 1999], Eynard B., « *Modélisation du produit et des activités de conception ; contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie* », Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, École Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, 1999.
- [Fadier 1996], Fadier E., « *L'intégration des facteurs humains dans la sûreté de fonctionnement : une nécessité pour la maîtrise de risque* », Revue de l'Électricité et de l'Électronique, N° 8, septembre 1996.
- [Fadier 1998], Fadier, E., « *L'intégration des facteurs humains à la conception* », Phoebus, la revue de la sûreté de fonctionnement – numéro spécial, p. 59 – 78, 1998.
- [Fadier & al 1998], Fadier, E., Ciccotelli J., « *Safety integration in industrial system design : general overview* », 9^{ème} IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing, Nancy, France, juin 24-26, p. 233-239. 1998.
- [Favet & al 1997], Favet E., Gaudier F., Malberg F., « *Conforming and Improving Workplaces. A Method for the Woodworking Industry* », rapport de coopération entre ENSTIB Épinal, France et Linköpings University Sweden, 1997.
- [Fowlkes & al 1998], Fowlkes W. Y., Creveling C. M., « *L'ingénierie Robuste : méthodes Taguchi en conception* », ISBN : 2 10 005333 7, Paris, Éditions DUNOD, 1998.
- [Garin 1994], Garin H., « *AMDEC / AMDE / AEEL l'essentiel de la méthode* », La série QUALITE, AFNOR, ISBN : 2-12-475013-5, 39 p. 1994.
- [Garon 1999], Garon, M., « *Une expérience de conception coopérative et simultanée via l'outil informatique : Le jeu des Cmaoistes* », Mémoire présenté en vue d'obtenir le Diplôme d'ingénieur C.N.A.M., CONSERVATOIRE NATIONAL des ARTS et METIERS, 1999.
- [Garro 1997], Garro O., « *Contribution à la modélisation de la conception des systèmes mécaniques* », Habilitation à diriger des recherches, Université Joseph Fourier Grenoble I, 1997.
- [Garro 1999], Garro O., « *Conception distribuée et émergence* », PRIMECA Université d'Automne, Nancy, 20 au 22 octobre 1999.

- [Gauthier 1995], Gauthier F., « *Les méthodes de conception sécuritaire* », Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Département de génie mécanique, Sherbrooke, JIK 2R1 Canada, 1995.
- [Gayretli & al 1999], Gayretli A., Abdalla H. S., « *An object-oriented constraints-based system for concurrent product development* », Robotics and Computer Integrated Manufacturing, published by Elsevier Science Ltd. PII : S0736-5845 (99) 00007-1 1999.
- [Giard 1988], Giard V., « *Gestion de la production* », ISBN: 717815279, Paris, Éditions ECONOMICA, 1068 p., 1988.
- [Girard 1999], Girard P., « *Étude de la conduite de la conception des produits manufacturés ; contribution à l'ingénierie des systèmes de conception* », Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, École Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, 1999.
- [Gogu 1999], Gogu, G. « *Méthodologie d'innovation : la résolution des problèmes créatifs* », PRIMECA, Université d'Automne, Nancy, 20 au 22 octobre 1999.
- [Harani 1997a], Harani Y., « *Modèle générique de représentation de l'activité de conception* », XV INFORSID, Toulouse, 10 – 13 juin, 1997.
- [Harani 1997b], Harani Y., « *Une approche Multi-Modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception* », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1997.
- [Hatchuel 1996], Hatchuel A., « *Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription* », in G. de Tersac & E. Friedberg (eds.), *Coopération et conception*, Éditions OCTARES, Toulouse, France, p.101 - 121, 1996.
- [Henderson-Seller & al 1990], Henderson-Seller B., Edouards J. M., « *The Object-oriented life cycle* », communication of the ACM, Vol 33 (9), p. 142-159, septembre, 1990.
- [Hennet 1997], Hennet J. C., « *Concepts et outils pour les systèmes de production* », ISBN : 2 85428 437 2, Toulouse, Éditions CEPADUES, 325 p., 1997.
- [Hipple 1999], Hipple J., « *The Use of TRIZ Separation Principles to Resolve the Contradictions of Innovation Practices in Organizations* », TRIZ Journal, août 1999, <http://www.triz-journal.com>.
- [IDMME 1998], Acte de conférences, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering'98, Kluwer Academic Publishers, edited by J. L. Batoz, P. Chedmail, G. Cognet, C. Fortin, ISBN : 0-7923-6024-9, 1998.
- [I.G.L. 1989], I.G.L. Technology, « *SADT un langage pour communiquer* », Éditions EYROLLES, 1989.
- [Ikonov & al 2000], Ikonov P., Fukuda G. S., Kanou Y., « *Virtual Reality Assembly Process Simulation* », Proc. of the Advances in Concurrent Engineering CE2000, Edited by P. Ghodous, D. Vanderpe, ISBN : 1-58716-033-1, p. 411 – 418, 2000.
- [ISDF 1994], Collection Institut de Sécurité De Fonctionnement (ISDF), « *L'état de l'art dans le domaine de la fiabilité humaine* », ouvrage réalisé par l'Institut de Sécurité De Fonctionnement, Toulouse, Ed. OCTARES, 1994.
- [Jaulent 1994], Jaulent P., « *Génie logiciel : les méthodes SADT, SA, E-A, SA-RT, SYS-P-O, OOD, HOOD...* », Editions ARMAND COLIN, 1994.
- [Jeantet & al 1998], Jeantet A., Boujut J. F., « *Conception de produits mécaniques* » dans le livre collectif « *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils* », sous la direction de M. Tollenaere, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p. 115 – 138, 1998.
- [Joliff 2000], Joliff J. P., « *MAN3D dans le concept ergonomie et solutions* », Journée spécialisée, Les modèles numériques de l'homme pour la conception de produit, Lyon, 16 mars, 2000.
- [Jouffroy 1999], Jouffroy D., « *Vers une démarche d'intégration de la sécurité à la conception des machines à bois semi-automatisées. Application au développement d'un système de captage des poussières pour défonceuse à commande numérique* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, 1999.
- [Karwowski & al 1998], Karwowski W., Salvendy G., « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* ». Society of Manufacturing Engineers, USA, ISBN : 0-87263-485-X, 1998.
- [Laprie 2000], Laprie J. C., « *Sûreté de fonctionnement informatique : concepts de base et terminologie* », séminaire « *Le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations* », première séance, Gif - sur - Yvette 30 et 31 décembre 2000.

- [Le Moigne 1994], Le Moigne J. L., « *La théorie du système général, théorie de la modélisation* », PUF, 4^{ème} Édition, Paris, ISBN 2613-046515-3, 338 p., 1994.
- [Lhote & al 1995], Lhote F., Jacqmart S., Gosset P., Vallet G., Pertuiset R., Bontemps J. P., Valancogne J., « *Repaires pour l'ingénierie des systèmes* », Colloque bilan A2RP, MESR, Paris, Actes p. 373-383, 7-8 novembre 1995.
- [Litaudon & al 1988], Litaudon M., Refabert A., « *La dynamique de l'analyse de la valeur* », Paris, Édition d'Organisation, ISBN : 708109642, 35 p, 1988.
- [Lossent 1997], Lossent L., « *Contribution à la conduite d'étude de faisabilité de systèmes de fabrication* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, 1997.
- [Männistö & al 2001], Männistö T., Peltonen H., Soininen T., Sulonen R., « *Multiple abstraction levels in modelling product structures* », Data & Knowledge Engineering Vol. 36, p. 55 – 78, 2001, www.elsevier.com/locate/datak.
- [Marconi 1998], Marconi, J. « *ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving* », TRIZ Journal, avril 1998, <http://www.triz-journal.com>.
- [Maret & al 1996], Maret P., Poulet L., Pinon J. M., « *Des modèles conceptuels pour capitaliser la connaissance au sein d'une organisation* », ISI, Volume 4, N° 4, p. 491 –540, 1996
- [Marion & al 1999], Marion J., Legros N., Nicolet J.L., « *Retour d'expérience avec facteur humain* », 3^{ème} Congrès International Pluridisciplinaire, Qualité et Sécurité de fonctionnement, Paris, France, 25-26 mars, Ed. MAPE, ISBN : 2-900-781-43-4, p. 653-662, 1999.
- [Markku & al 1998], Markku A., Markkus M., « *Computer-aided design for ergonomics and safety* », dans le livre « *Ergonomics in manufacturing raising productivity through workplace unprovement* » Edited by W. Karwowski, G. Salvendy Society of Manufacturing Engineers, United States of America, ISBN : 0-87263-485-X, 538 p., 1998.
- [Marsot 2001], Marsot J., « *Prévention et innovation : perspectives d'application de TRIZ* », cahier de notes documentaires, Hygiène et Sécurité du travail, 2^{ème} trimestre, 2001.
- [Matrix 1997], *Contradiction Matrix*, juillet 1997, <http://www.triz-journal.com>.
- [Mazzeranghi & al 2000], Mazzeranghi A., Citti P., « *The estimate and the risk evaluation of the machines : the state of the art and a methodology for a semi – objective risk analysis of the machines* », Proc. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, volume 2, p. 1293-1299, ISBN 90-5809-1422, 2000.
- [Millot 1999], Millot P., « *Système Homme – Machine et Automatique* », Journées Doctorales d'Automatique JDA '99, 21-23 septembre 1999.
- [Mony 1992], Mony C., « *Un modèle d'intégration des fonctions conception - fabrication dans l'ingénierie de produit* », Thèse de Doctorat, École Centrale Paris, 1992.
- [Muller & al 2000], Muller P.A., Gaertner N., « *Modélisation objet avec UML* », Éditions EYROLLES, Paris, ISBN 2212091222, 520 P., 2000.
- [Neboit & al 1993], Neboit M., Fadier E., Poyet C., « *Analyse systématique et analyse ergonomique : application conjointe à la re-conception d'une cellule robotisée d'usinage* », NST 100 de l'INRS, Vandoeuvre les Nancy, juillet, 1993.
- [Oldham 2000], Oldham K., « *Modelling knowledge used in the Design of Hosiery Machines* », Proceeding 33rd International MATADOR Conference, D. R. Hayhurst (ed.) Springer – Verlag p 93-98, July 2000.
- [Ortiz Hernandez 1995], Ortiz Hernandez J., « *Les Systèmes de Production Automatisés : une approche socio-technique* », Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, U.F.R. des Sciences et des Techniques, Automatique et Informatique, 1995.
- [Ouazzani & al 1996], Ouazzani-Touhami A., Bernard A., Bocquet J.-C., « *Ensuring competitive advantage with semantic design process management* », Integrated Design and Process Technology, IDPT-Vol. 3, p.116-121, décembre 1996.
- [Ouazzani & al 1997], Ouazzani A., Bernard A., Bocquet J.-C., « *Design Process Management System* », International Conference on Engineering Design, ICED 97 Tampere, August 19-21,1997.
- [Ouazzani 1999], Ouazzani-Touhami A., « *Présentation dynamique du processus de conception : une perspective de capitalisation des historiques de conception, la méthode SAGEP* », Thèse de Doctorat, École Centrale de Paris, 1999.

- [Pahl & al 1984], Pahl G., Beitz W, « *Engineering design – A systematic approach* », Springer Verlag, Londres 1984.
- [Pomian & al 1997], Pomian J.-L., Pradere T., Gaillard I., « "Ingénierie et Ergonomie" ...éléments d'ergonomie à l'usage des objets industriels », Éditions CEPADUES, Toulouse, 259 p., 1997.
- [Rasmussen 1997], Rasmussen J, « *Risk management in a dynamic society : a modelling problem* », Safety Science, Vol.27, number 2/3, p.183-213, November, 1997.
- [Ris 1998], Ris G., « *Etude de cas : le jeu des CMAOISTES* », dans le livre collectif « Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils », sous la responsabilité de M. Tollenaere, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p 537, 550, 1998.
- [Rosenman & al 1996], Rosenman, M. A., Gero J. S., « *Modelling multiple views of design objects in a collaborative CAD environment* », Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 3, p. 193 – 205, 1996.
- [Roussel 1996], Roussel, B., « *Ergonomie en conception de produits : proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solution ergonomique dans le processus de conception de produit* », Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, Génie industriel, 1996.
- [Royzen 1993], Royzen Z., « *Application of Triz In Value Management And Quality Improvement* », <http://www.trizconsulting.com/> -TRIZ papers. Presented at the 1993 International Conference of Society of American Value Engineers, Fort Lauderdale, Florida, 1993.
- [Royzen 1997], Royzen Z., « *Solving contradictions in development of new generation products using TRIZ* », TRIZ Journal, feb. 1997, <http://www.triz-journal.com>.
- [Rumbaugh & al 1995], Rumbaugh J., trad. par A. B. Fontaine, G. P. Reich, V. Zaïm, « *OMT. la modélisation et conception orientées objet* », Paris : Masson, London : Prentice-Hall, ISBN : 225846847, 515 p., 1995.
- [Salau 1995], Salau I., « *La Conception Distribuée : Théorie et Méthodologie* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy I, DFD Automatique et Production Automatisée, 1995.
- [Saucier 1997], Saucier A. « *Un modèle multi-vue du produit pour le développement et l'utilisation de système d'aide à la conception en ingénierie mécanique* », Thèse de Doctorat, École Normale Supérieure de Cachan, France, 1997.
- [Savransky 1996], Savransky, S. D., « *Short notes about Altshuller's matrix* », www.trizexperts.net:/sds0martix.
- [Savransky 1997], Savransky, S. D., « *A few words about the Altshuller's contradiction matrix* », TRIZ Journal, août 1997, www.triz-journal.com/archives/97aug/article2.
- [Savransky 1998], Savransky, S. D., « *Human and Technique – like contradictions in TRIZ* », TRIZ Journal, mars 1998, www.triz-journal.com/archives/98mar/98mar-article5.
- [Savransky 1999a], Savransky, S. D., « *Application of TRIZ for the search of new materials features* », TRIZ Journal, février 1999, <http://www.triz-journal.com>.
- [Savransky 1999b], Savransky, S. D., « *lesson 4 Contradictions* », TRIZ Journal, février 1999, <http://www.triz-journal.com/archives/99nov/99nov-article2>.
- [Sellini 1999], Sellini F., « *Contribution à la représentation et à la vérification de modèle de connaissance produit en ingénierie d'ensembles mécaniques* », Thèse de Doctorat, École Centrale Paris, 1999.
- [Sohlenius 1992], Sohlenius G., « *Concurrent Engineering* », Annals of the CIRP, Vol. 41 No. 2, p. 645-655, 1992.
- [Spur & al 2000], Spur G., Uhlmann E., Ising M., « *Integrated process and product design of machine tools* », Proceedings International CIRP Design Seminar, 16-18 may, Haifa, 2000.
- [Stal-Le Cardinal 2000], Stal-Le Cardinal J., « *Étude de dysfonctionnements dans la prise de décision, application au choix d'acteur* », Thèse de Doctorat, École Centrale Paris, 2000.
- [Tollenaere & al 1998], Tollenaere M. (Sous la direction de), « *Conception de produits mécaniques, modèles et outils* », Éditions HERMES. ISBN2-86601-694-7, 1998.
- [Terninko 2000], Terninko, J. « *Su-Field Analysis* », <http://www.triz-journal.com/archives/2000/02/d/index.htm>
- [Terninko & al 2000], Terninko, J., Domb E., Miller J., « *The Seventy-six Standard Solutions, with Examples* », 2000, TRIZ Journal, <http://www.triz-journal.com>.
- [Thevenot 1999], Thevenot D., « *Le retour d'expérience* », 3^{ème} Congrès International Pluridisciplinaire, Qualité et Sécurité de fonctionnement, Paris, France, 25-26 mars, Ed. MAPE, ISBN : 2-900-781-43-4, p. 699-707, 1999.

- [Tichkiewitch 1996], Tichkiewitch S., « *Specifications on integrated design methodology using a multiview product model* », Engineering system design and analysis conference, ASME'96, Montpellier, France, 1996.
- [Vanderagen & al 2000], Vanderhaegen F., Polet P., Millot P., et Amalberti R. « *Modélisation duale des risques associés aux conditions limites tolérées par l'usage* », troisième rapport d'avancement, Projet PROSPER-INRS, novembre 2000.
- [Vannas & al 1994], Vannas V., Perälä M., Mattila M., « *Experiences of safety and human factors design in FMS implementations* », proceedings of the 10th ISPE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future CARs & FOF'94, Information Technology for Modern Manufacturing, ISBN : 1-895634-06-7, Attawa, Canada, August 21 – 24, 1994.
- [Vargas 1995], Vargas C., « *Un environnement pour la réalisation d'un système d'aide à la conception d'organes mécaniques* », Revue Internationale de CFAO & d'Informatique Graphique, Vol 10, N°1&2, 1995, p 113.
- [Westerberg & al 1997], Westerberg A.W., Subrahmanian E., Reich Y., « *Designing the process design processus* », proc. of the 7th joint conf. PSE'97-ESCAPE, Computer chem. Engng, Vol 21, Suppl., p. S1 – S9, 1997.
- [Williams 1998], Williams T., « *Reversibility of the 40 principles of problem solving* », TRIZ journal, mai 1998, <http://www.triz-journal.com>.
- [Worsell & al 2000], Worsell N., Wilday J., « *Proposed risk assessment methodology for designing safe machinery* », In Proc. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, volume 1 p. 1441-1448, ISBN 90-5809-1414, 2000.
- [Yannou 1998], Yannou, B., « *Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur* », dans le livre collectif « *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils* », sous la responsabilité de M. Tollenare, ISBN : 2-86601-694-7, Éditions HERMES, p. 77-104, 1998.
- [Zlotin & al 2001], Zlotin, B., Zusman A., Kaplan L., Visnepolschi S., Proseanic V., Malkin S., « *TRIZ beyond technology: the theory and practice of applying TRIZ to non-technical areas* », janvier 2001, <http://www.triz-journal.com>.
- [Zusman & al 1999], Zusman, A., Zlotin B., « *Overview of Creative Methods* », TRIZ Journal, juillet 1999, <http://www.triz-journal.com>.

Références techniques

- [AFNOR 1982], AFNOR, « *Termes et définitions des éléments constitutifs et de leurs approvisionnements pour les biens durables* », rapport n° NF X 60-012, 1982.
- [AFNOR 1988], AFNOR, « *Recommandations pour obtenir et assurer la qualité en conception* », NF X 50-127, Paris 1988.
- [Cramif 2000], CRAMIF, « *Sécurité des équipements de travail : Guide pour l'analyse des risques et le choix de mesures de prévention* », Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile de France, Service Prévention des risques professionnels, Paris, 20 p., septembre 2000.
- [Dassault système], <http://www.dsdvf.com/logiciel/index.htm>
- [Delmia], <http://www.delmia.com/>
- [Dictionnaire], le grand dictionnaire terminologie, http://www.granddictionnaire.com/_fs_global_01.htm
- [Etude 1997], Etude, « *l'Ingénierie centrée sur l'homme* », Ministère de l'Industrie de la Poste et des Télécommunications, Direction Générale des Stratégies Industrielles, 1997.
- [Ideationtriz], <http://www.ideationtriz.com/>.
- [IEEE 1220 1998], IEEE 1220, standard for application and management of the systems engineering, IEEE, New York, ISBN : 0-7381-1543-6, 76 p., 1998.
- [INRS 1994], INRS, « *Concevoir une machine sûre* », Enseigner la prévention des risques professionnels, Brochure ED 1520, Institut National de Recherche et de Sécurité INRS, ISBN : 2-7389-0329-0, 59 p., 1994.

- [**Lacore 1993**], Lacore M., « *Le principe d'intégration de la sécurité de la Norme 292* », Congrès sur la sécurité des équipements de travail, les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français, CETIM Senlis, p. 85-97, 14-15 décembre 1993.
- [**Norme 1990**], Norme Européenne, NF ENV 26385, ISO 6385, « *Principes ergonomiques de la conception des système de production* », Comité Européen de Normalisation, décembre 1990.
- [**Norme 1991**], Norme Européenne, NF EN 292-1, sécurité des machines, « *Notions fondamentales, principes généraux de conception* », Comité Européen de Normalisation, décembre 1991.
- [**Norme 1992**], Norme Européenne, NF EN 294, sécurité des machines, « *Distance de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs* », Comité Européen de Normalisation, septembre 1992.
- [**Norme 1993**], Norme Européenne, E 09-003, ENV 1070, sécurité des machines, « *Terminologie* », Comité Européen de Normalisation, septembre 1993.
- [**Norme 1995**], Norme Européenne, NF EN 614-1, Principes ergonomiques de conception, « *Terminologie et principes généraux* ». Comité Européen de Normalisation, septembre 1995.
- [**Norme 1997a**], Norme Européenne, NF EN 1050, « *Principes pour l'appréciation du risque* », Comité Européen de Normalisation, janvier 1997.
- [**Norme 1997b**], Norme Européenne, NF EN 953, sécurité des machines, « *Protecteurs : Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles* », Comité Européen de Normalisation, décembre 1997.
- [**Norme 1998**], Norme Européenne, Pr EN 1010, « *Prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier - Partie 1 : prescriptions communes* », PROJET DEFINITIF, Comité Européen de Normalisation, juillet 1998.
- [**Norme 1999**], Norme Européenne, Pr EN 292-2, sécurité des machines, « *Notions fondamentales, principes généraux de conception* », Partie 2 : Principes techniques, Comité Européen de Normalisation, octobre 1999.
- [**Robcad**], <http://www.roptimaxes.com/robcad.html> & <http://www.idestyle-tech.com/iscad/formation10.htm>
- [**Sourisse & al 1996**], Sourisse C., Boudillon L., « *La sécurité des machines automatisées* », Tome 1, 2, Groupe Schneider, juillet 1996.
- [**Techoptimiser**], <http://www.invention-machine.fr/techoptimizer.htm>
- [**Triz-journal**], <http://www.triz-journal.com>

Annexe 1

Projet GIPC – PROSPER

septembre 1998 - novembre 2001

Intégration des conditions limites d'utilisation des équipements de travail, pour la prévention des risques associés, dans la conception des systèmes de production

Résumé

La problématique de ce projet pluridisciplinaire, financé par l'INRS et co-financé par le CNRS dans le cadre de son programme "PROSPER" vise une meilleure intégration des exigences d'usage des équipements de travail, dès la conception, pour une meilleure prévention des risques du travail.

Deux objectifs étaient poursuivis dans ce projet :

- fournir des données, des méthodes (s'appuyant sur des concepts et des modèles) qui permettent de prendre en compte dès la conception des équipements de travail, les exigences de prévention des risques (santé / sécurité).
- développer un cadre théorique et des règles méthodologiques d'observation et de caractérisation, pour envisager la prise en compte, lors de la conception, de certains "déterminants de l'activité future probable" appelés "Conditions Limites tolérées par l'Usage" (CLU), concept inspiré par la notion d'écart travail prescrit - travail réel.

Dans ce cadre l'atteinte de ces objectifs a été possible par :

- l'analyse de la phase de conception (processus, méthodes et mode de fonctionnement de l'équipe de conception),
- l'analyse de l'activité réelle durant les premières phases d'exploitation, en mettant en évidence les adaptations et régulations qui forment l'essence même du travail d'exploitation et qui ne sont pas suffisamment connues par le concepteur (comme génératrices de risques).

Fondement de la recherche

L'analyse des situations industrielles met souvent en évidence un écart important entre la fiabilité théorique prévue et la fiabilité opérationnelle observée (FADIER, 1996). Cet écart entre le fonctionnement attendu et le fonctionnement réel (intégrant la gestion des aléas, les contraintes d'exploitation, l'extension de l'utilisabilité de l'équipement, l'évolution du système de production...) est considéré comme une des sources les plus importantes de "prise de risque", puisqu'il s'agit pour l'opérateur/utilisateur de parer soit à une situation non prévue lors de la phase de conception (NEBOIT et al., 1993, DEMOR, 1996) soit à une situation induite par la phase de conception (FADIER, 1998).

On peut, alors, expliquer la permanence de "risques résiduels" ou l'apparition de nouveaux risques, par l'absence de prise en compte, au moment de la conception, des "activités futures

probables" des opérateurs (DANIELLOU, 1997), génératrice de dysfonctionnements de l'interaction Homme x système, mais aussi par le déplacement de "seuils de risque acceptés".

La sécurité repose autant sur le maintien du fonctionnement normal que sur la récupération du fonctionnement anormal. Or ce fonctionnement normal ne correspond jamais au suivi strict de la "procédure". Il correspond à une exécution dynamique du travail au sein d'une enveloppe de contraintes (RASMUSSEN, 1997) que sont : les objectifs de production, les procédures en vigueur, les synchronisations à respecter, etc.. C'est l'interaction dynamique entre opérateurs humains et système technique qui crée la situation de travail. C'est dans cette situation de travail que les risques, mais aussi la sûreté (et la sécurité) sont co-produits par cette interaction Hommes-Machines.

L'ensemble des situations de travail considérées comme acceptables est contenu dans une zone de tolérance à au moins trois dimensions (AMALBERTI, 1996) : productivité (au sens économique), santé/sécurité/confort (pour les hommes) et fiabilité (pour les systèmes techniques). Les limites de cette enveloppe de l'acceptable sont les seuils acceptés, pour la production, pour la sécurité et pour les conditions de travail et pour la fiabilité. Ces seuils ne sont pas des valeurs nécessairement mesurables, mais représentent des frontières "négociées", même implicitement. L'extension au cycle de vie de l'installation, permet de vérifier l'hypothèse selon laquelle les limites, définies (partiellement et d'une certaine manière à la conception, vont varier, évoluer dès que l'on passe de la conception à l'implantation, puis de l'implantation à l'exploitation et ceci sous l'influence de divers facteurs d'ordre technique, organisationnel ou socio-technique.

Cette prise en compte des «Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)» et de la dimension diachronique de leur évolution, ainsi que la recherche des possibilités de leur prise en compte dès la conception est la base même du projet.

Démarche méthodologique

Le partenaire industriel du projet ainsi que le terrain d'investigation choisi ont permis de prendre en compte l'ensemble du "processus de conception" : conception - implantation – exploitation /utilisation (Figure 1).

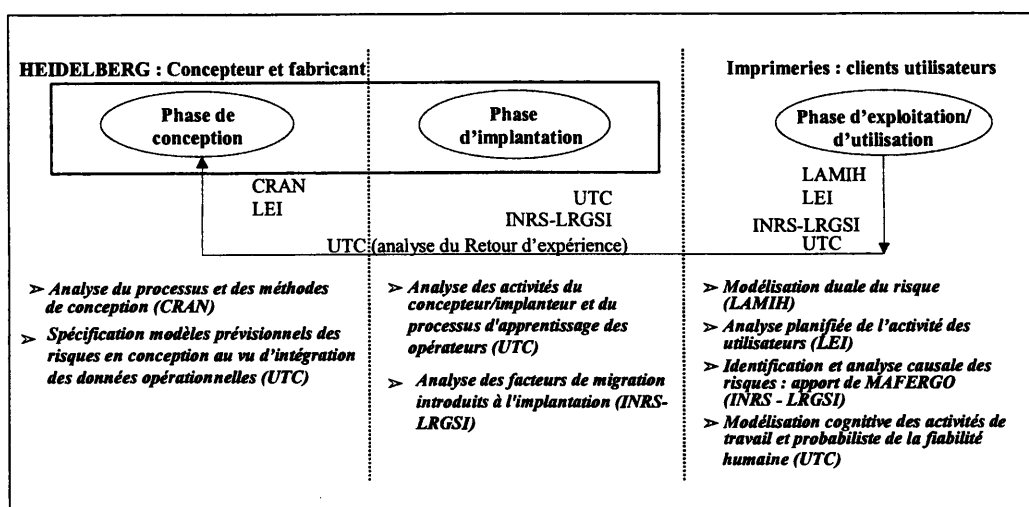


Figure 1 : Répartition des tâches et des interventions des différentes équipes projet

La société HEIDELBERG (concepteur et intégrateur de lignes d'imprimerie) nous a offert un terrain d'étude idéal ; en plus de ses structures propres, elle a favorisé les investigations au

sein des imprimeries (exploitants) dans lesquelles sont utilisées les lignes qu'elle conçoit et fabrique.

Les terrains de la recherche sont donc des situations industrielles de travail (pour les analyses des risques associés aux conditions limites tolérées par l'usage), des situations de conception d'équipements (pour l'analyse des modèles de la représentation des risques utilisés en conception), ainsi que des situations intermédiaires d'intégration (construction de lignes, d'ateliers).

Les équipes du groupe ont donc été affectées aux différents points de vue de la chaîne. L'accent a été mis sur l'interdisciplinarité (ingénierie, ergonomie, psychologie...) et donc sur l'échange d'expertise et la construction commune de concepts, modèles et méthodes, et sur le recueil de données, en utilisant les expertises spécifiques des disciplines engagées dans la recherche. De même, l'articulation et la coopération entre métiers (chercheurs, concepteurs, industriels, préventeurs...) a été l'objet d'attentions particulières.

Les partenaires

Le Groupe Intégration de la Prévention dès la Conception (GIPC), comprend des spécialistes de l'ingénierie et des psycho-ergonomes. Ce consortium comporte :

- L'INRS, financeur principal, assurera la gestion scientifique globale du projet. A terme, il aura un rôle dans le transfert des résultats vers les milieux de la Prévention.
- Le CETIM, co-financeur, assurera un rôle de coordination avec les milieux industriels, et de transfert des résultats vers l'industrie.
- La société HEIDELBERG, co-financeur, aura le rôle de concepteur, intégrateur, et facilitera le contact direct avec les entreprises utilisatrices.
- Le Laboratoire de Recherche en Génie des Systèmes Industriels de l'INPL, représenté par Armelle Didelot, doctorante, dont le sujet de thèse concerne entre autre l'étude de la complétude des analyses prévisionnelles des risques à la conception.
- L'équipe HEUDIASYC de l'UTC de Compiègne, représentera à la fois les SHS (Jacques THEUREAU) dans le domaine de la conception ergonomique et l'anthropologie cognitive et les SPI (Menad SIDAHMED, Nicolas LIMNIOS) dans les activités de conception informatique et les études probabilistes de sûreté.
- L'équipe du Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielle et Humaine (LAMIH) de l'Université de Valenciennes a été choisie pour ses compétences en Ingénierie des Interfaces homme x machine (Pr Patrick MILLOT et Frédéric VANDERHAEGEN du CNRS, côté SPI) et en Psychologie cognitive appliquée à l'Interaction homme x systèmes complexes à risques (Pr René AMALBERTI, de l'IMASSA, professeur associé à l'équipe PERCOTEC du LAMIH, côté SDV).
- Le Laboratoire d'Ergonomie Informatique (LEI) (Pr. Jean-Claude SPERANDIO, Cécilia DE LA GARZA) pour ses compétences en Interface homme x ordinateur et Modélisation cognitive du travail, ainsi qu'en Ergonomie Cognitive appliquée à la Sécurité du Travail.
- Le Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) pour son expérience en Ingénierie de la conception (Pr Alain BERNARD, Pr Patrick MARTIN), et en particulier sur la prise en compte de la sécurité dans la conception et l'exploitation des machines à bois.

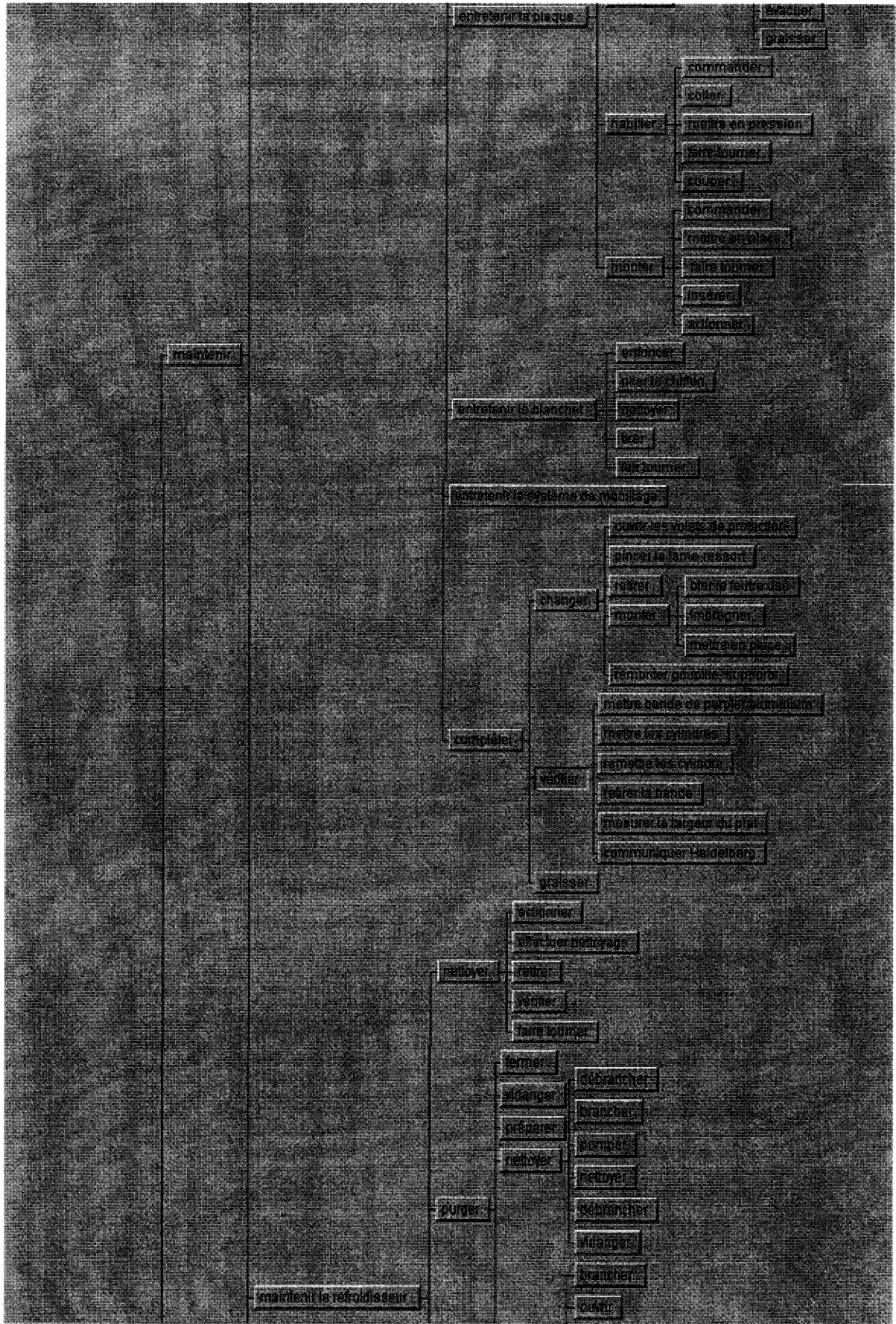
Outre les nombreuses publications et communications déjà issues et en cours, 4 thèses, 1 DEA et 1 DESS sont intégrés au projet:

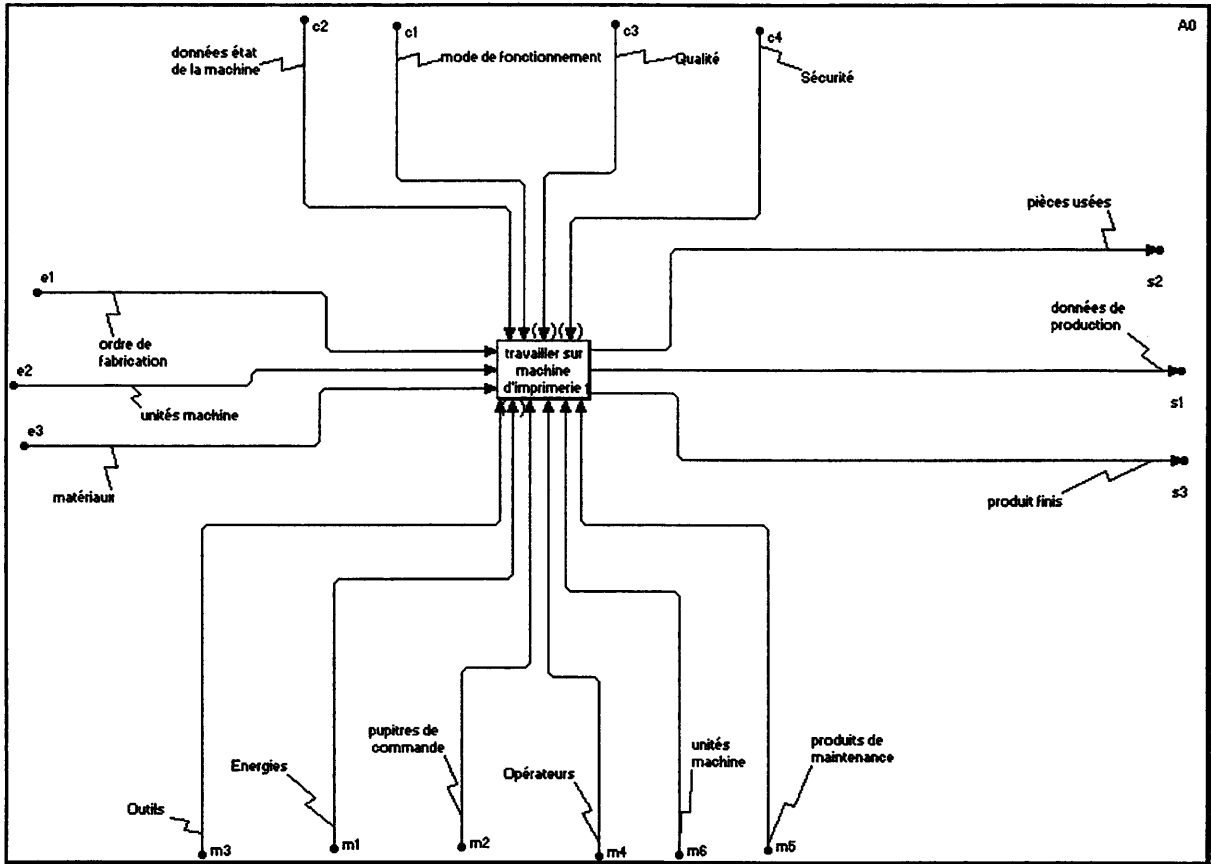
- DEQUAIRE Elodie. "Prévention des risques (santé/sécurité) : de la conception à l'exploitation et articulation de la modélisation cognitive des activités de travail et des méthodes probabilistes de la fiabilité humaine" [THEUREAU J., UTC, Compiègne],
- POLET Philippe. "Modélisation duale des risques pour l'analyse des conditions limites d'usage de machines" [B. VANDERHAEGEN, LAMIH, Valenciennes],
- DIDELOT Armelle. "Contribution à l'identification et au contrôle des risques dans le processus de conception" [FADIER E., INRS, Vandœuvre-Les-Nancy],
- HASAN Raïd. "Prise en compte de la sécurité dans le processus de conception des systèmes de fabrication" [A. BERNARD, CRAN, Vandœuvre ; J. CICCOTELLI, INRS, Vandœuvre ; P. MARTIN, ENSAM, Metz],
- FEVRIER Thierry "Analyses cognitives des représentations mentales d'opérateurs de bureaux d'études quant à la future utilisation d'équipements qu'ils contribuent à concevoir"; DEA d'Ergonomie Université Paris V. [C. De La GARZA],
- OTTENSEN Caroline "Analyse d'une situation de travail dans l'imprimerie et application de MAFERGO: le cas de la rotative M3000. Mémoire DESS d'Ergonomie soutenu en 1999 à l'Université de Paris V. [C. De La GARZA].

Bibliographie

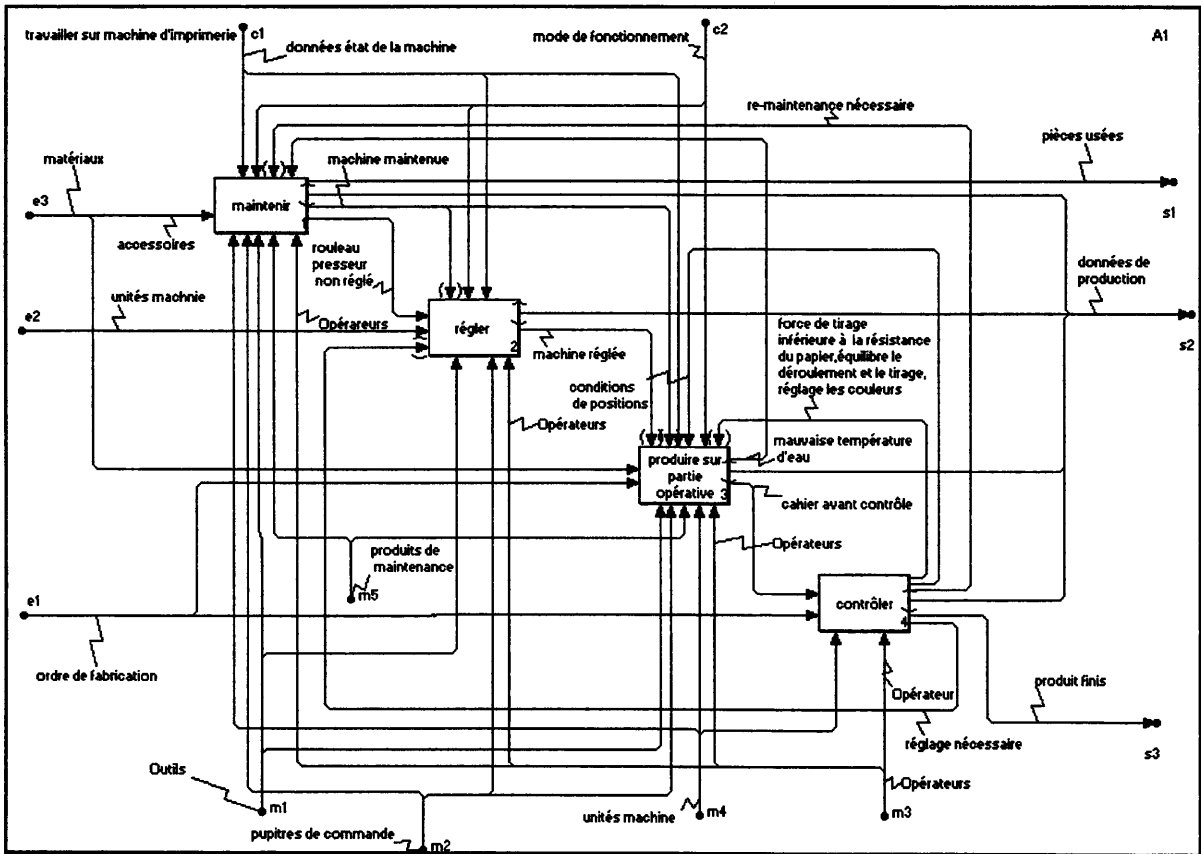
- AMALBERTI, R. - 1996 - La conduite des systèmes à risques, Le travail humain, PUF, 1996, pp.54-55
- DANIELLOU F., 1997 - Les enjeux des projets. *Préventique-Sécurité*, n° 34, juillet-août 1997, 31-35.
- DEMOR S., 1996 - *Les risques et leur gestion au cours des activités de récupérations dans un système automatisé de production séquentielle*. Mémoire de D.E.A. d'Ergonomie EPHE-CNAM-Toulouse Le Mirail, Note Scientifique et Technique de l'INRS, n°151, octobre 1996, 63 p.
- FADIER, E. - 1996 - L'intégration des facteurs humains dans la sûreté de fonctionnement : une nécessité pour la maîtrise des risques, *Revue REE* n°8 septembre 1996 pp.18-24
- FADIER, E., 1998 - L'intégration des facteurs humains à la conception – Travaux actuels et perspectives, *Phoebus – La revue de la sûreté de fonctionnement*, n° spécial, 1998 p.59
- NEBOIT M., FADIER E., POYET, C., 1993 - Analyse systémique et analyse ergonomique : application conjointe à la reconception d'une cellule robotisée d'usinage. NST 100 de l'INRS, juillet 1993, 175 pages.

Pour plus d'information contacter Elie.Fadier@inrs.fr

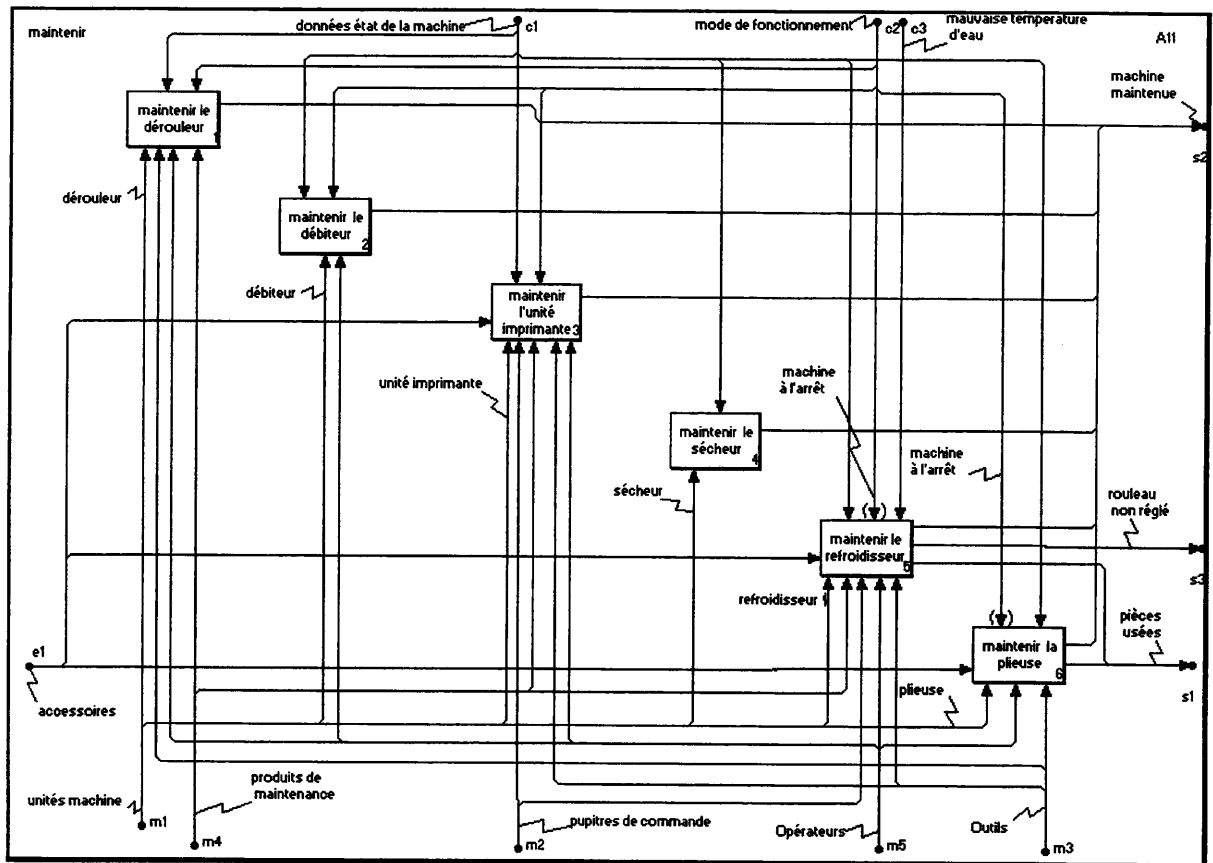




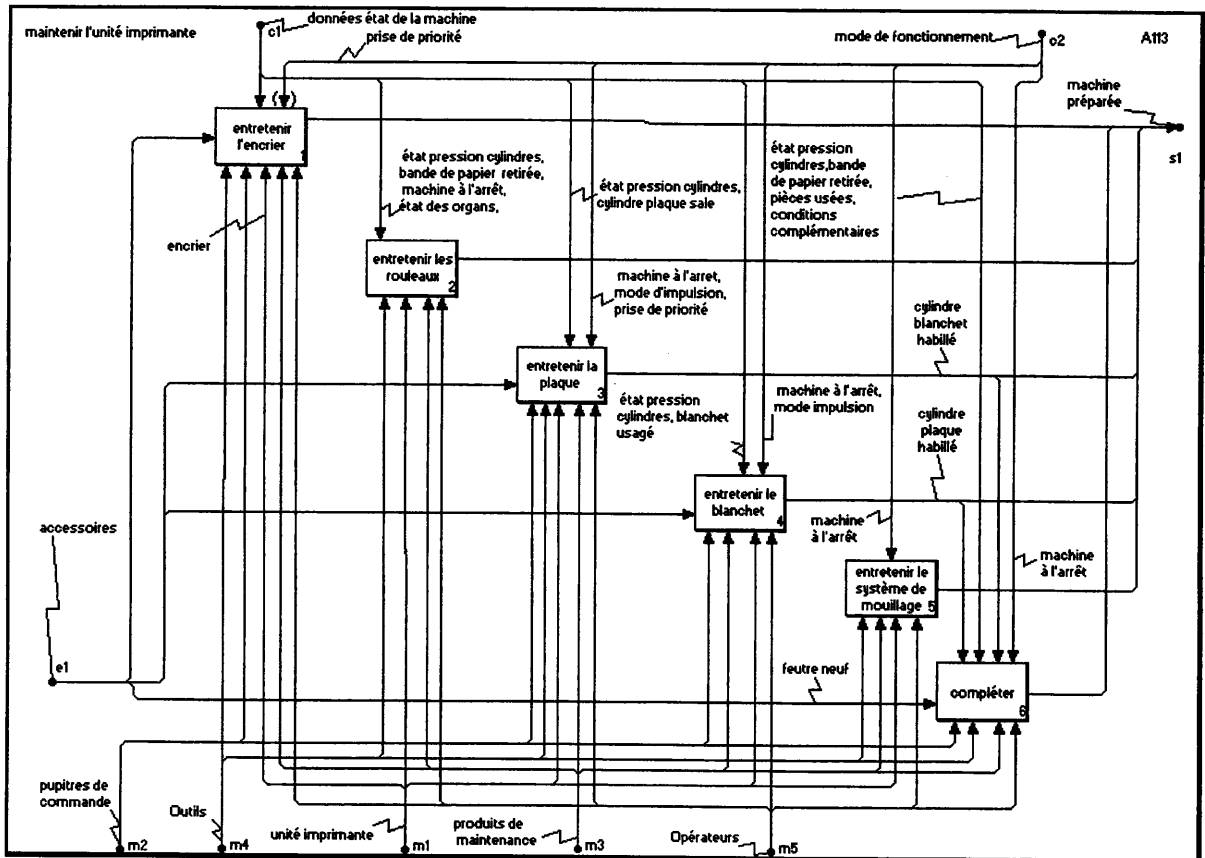
Niveau A0



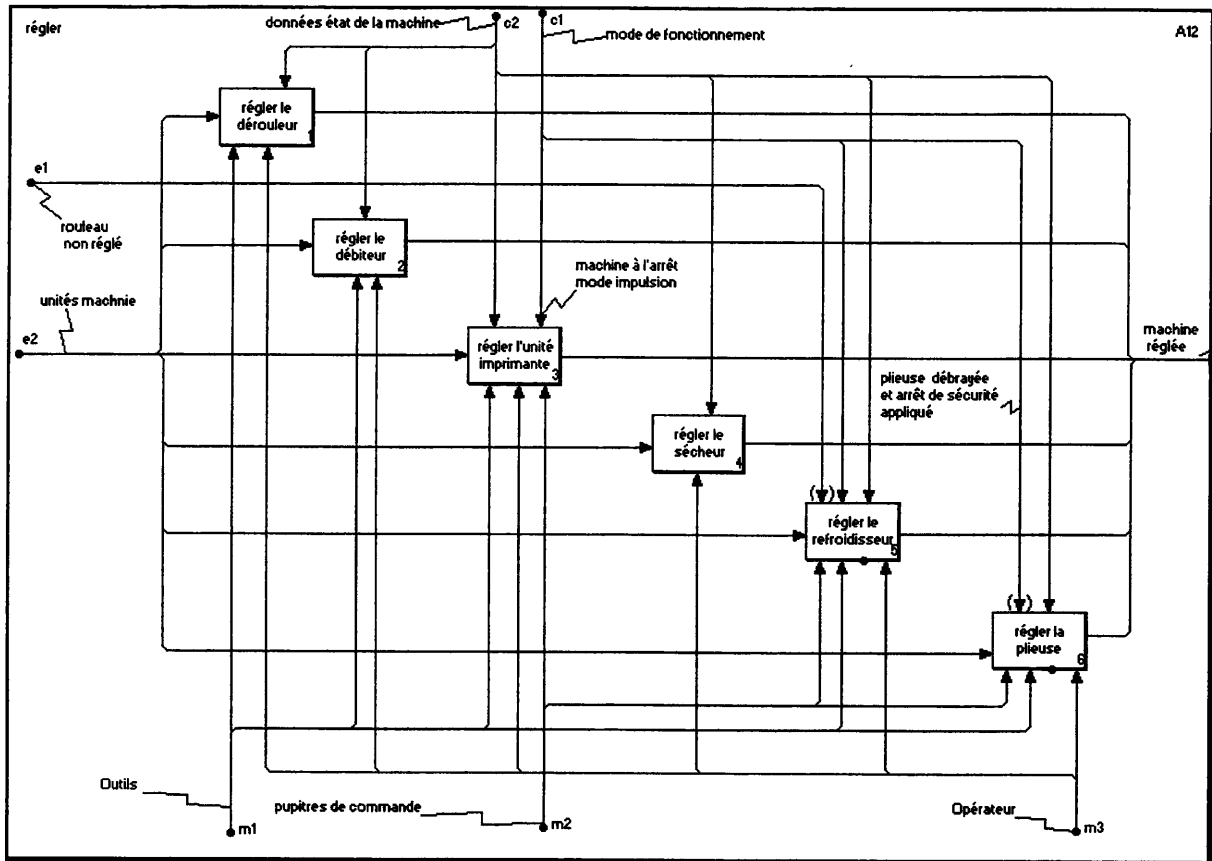
niveau A1



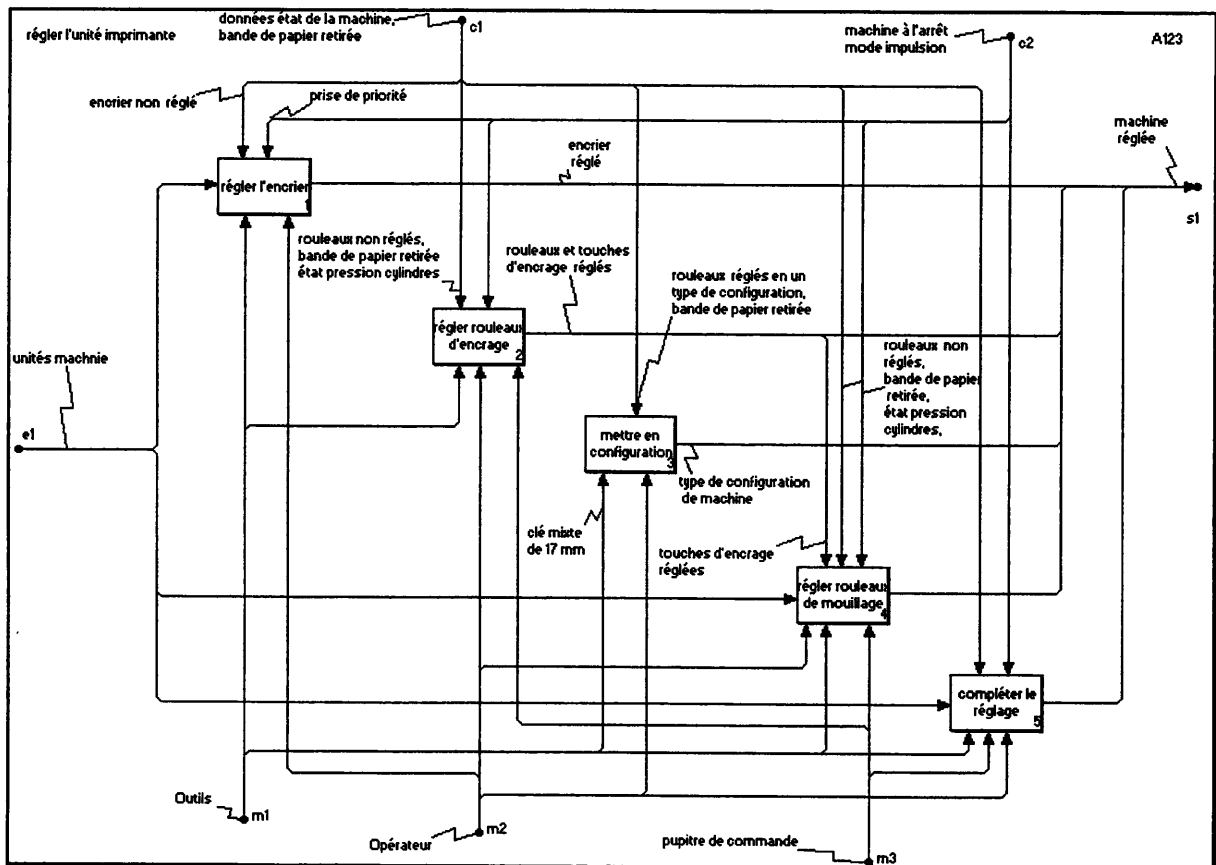
Niveau A11



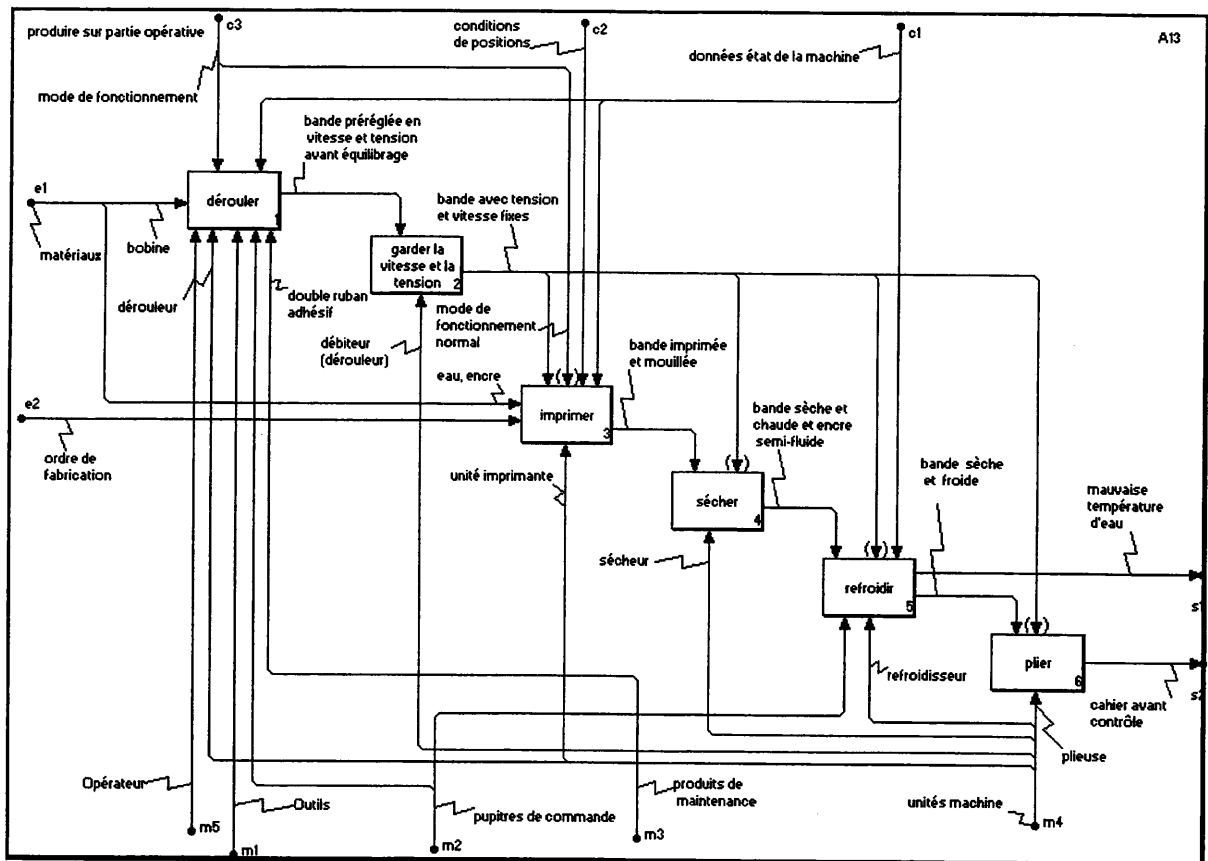
Niveau A113



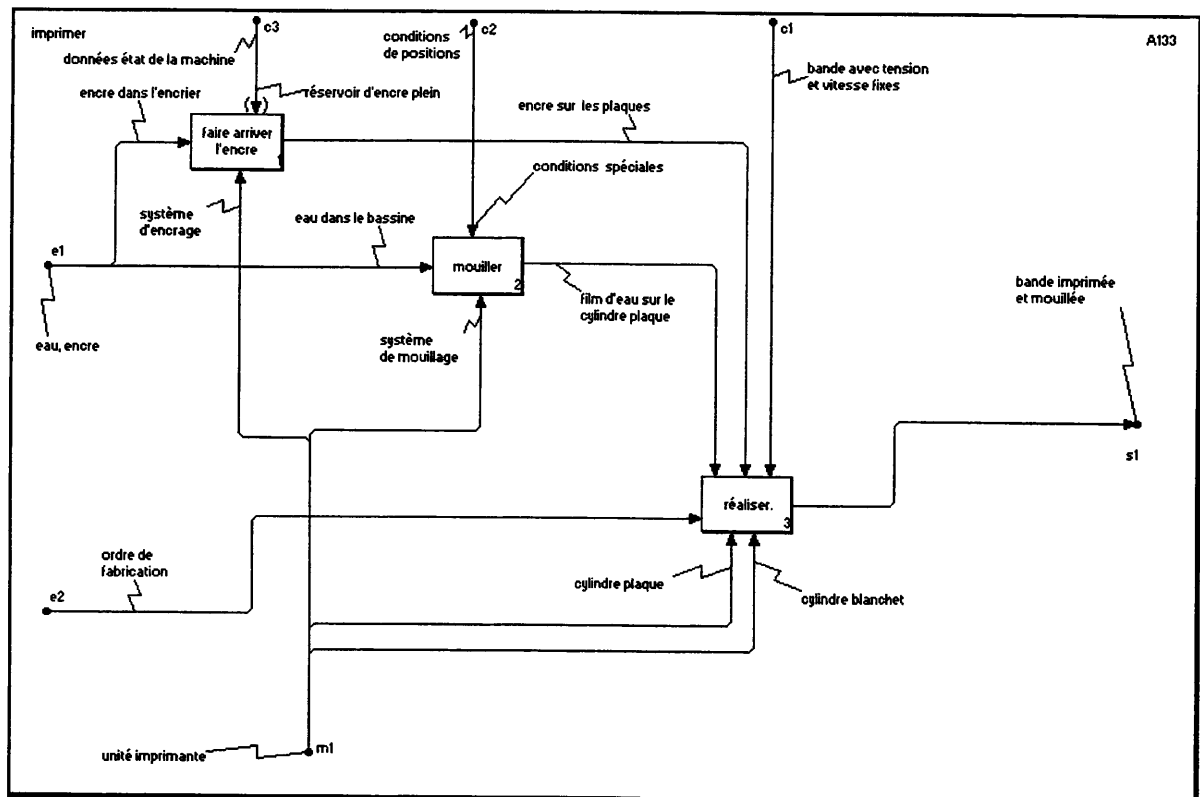
Niveau A12



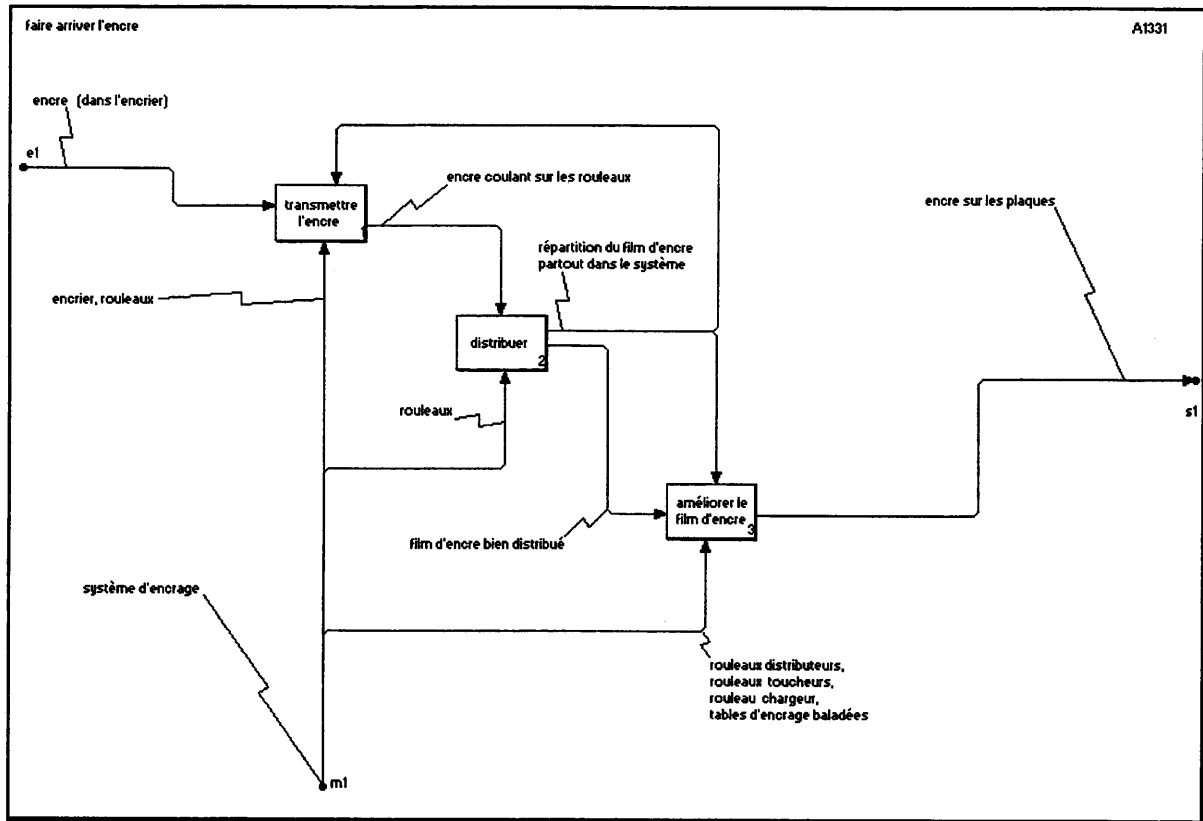
Niveau A123



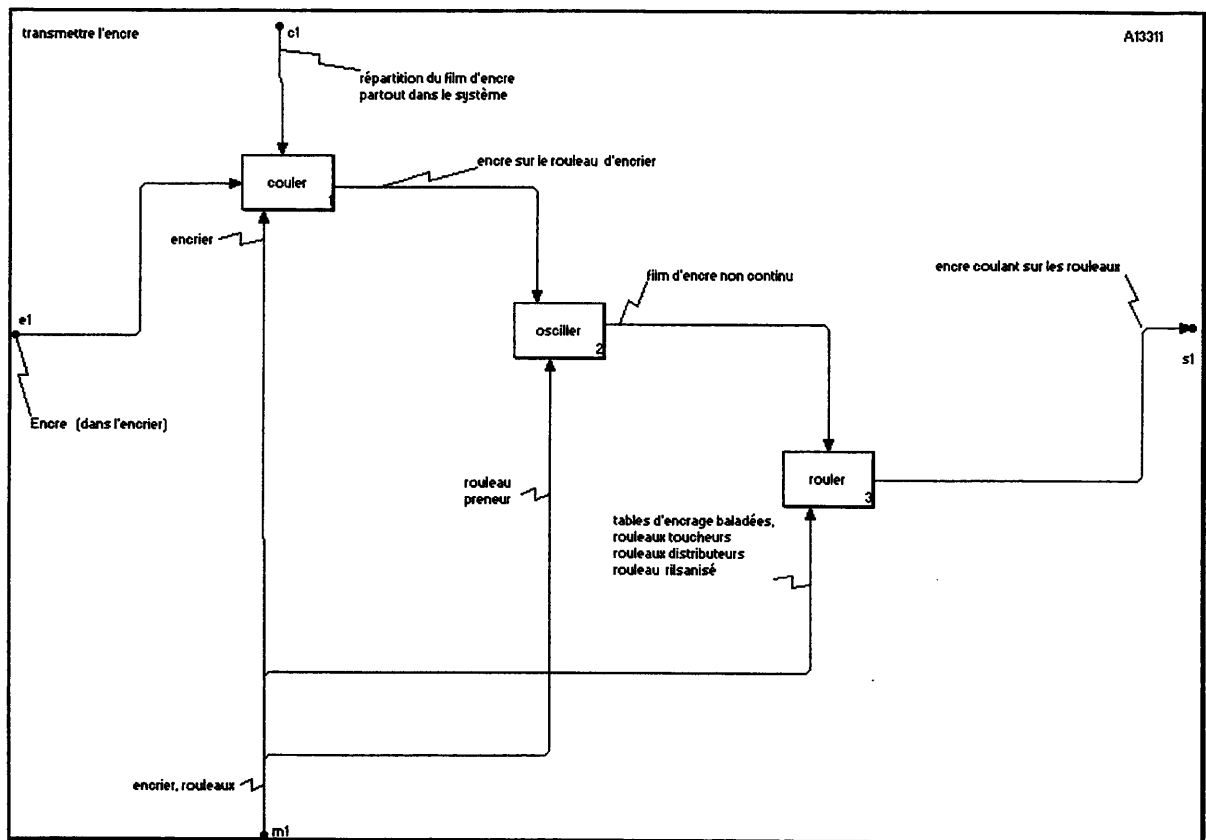
Niveau A13



Niveau A13



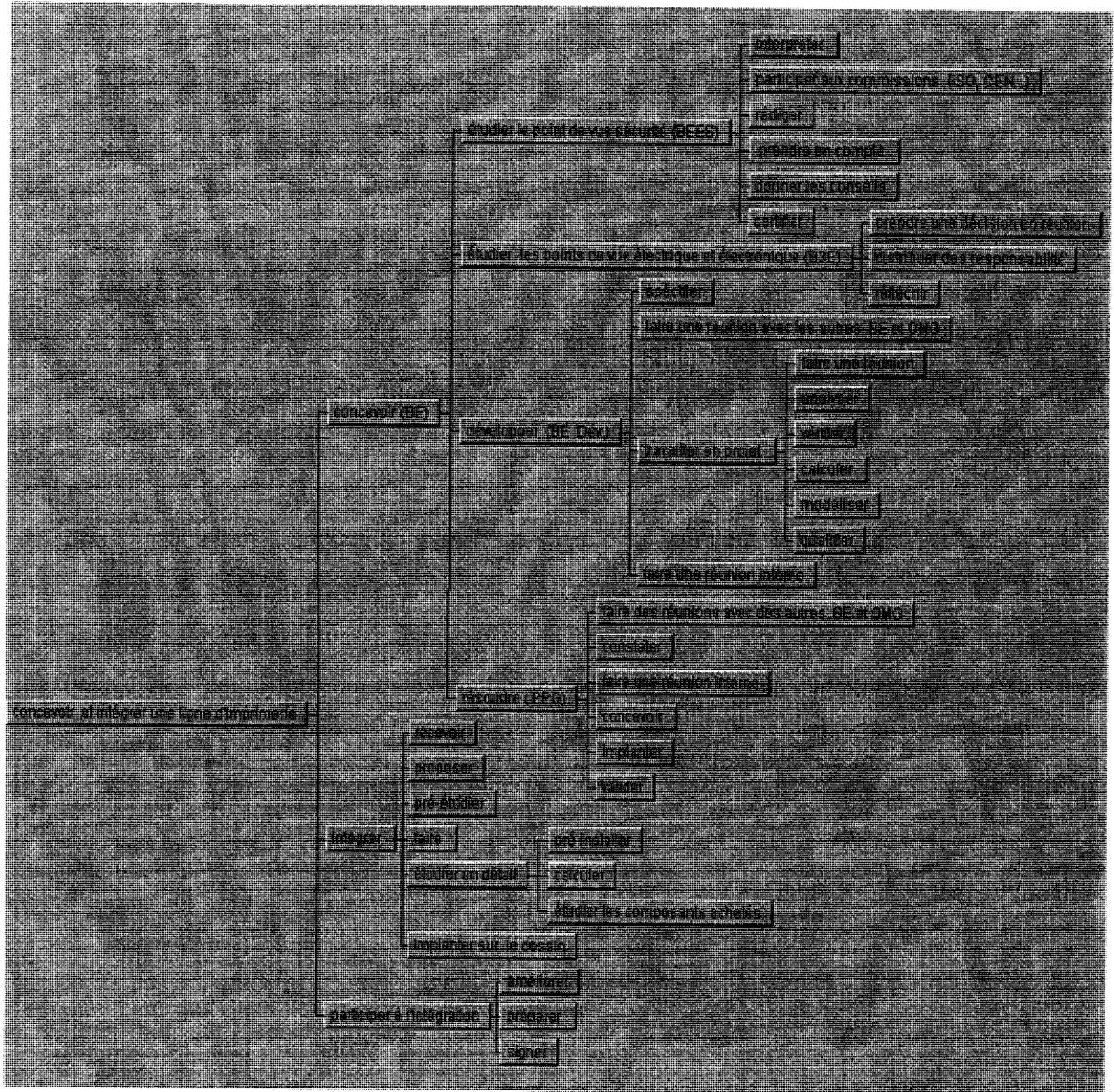
Niveau A1331

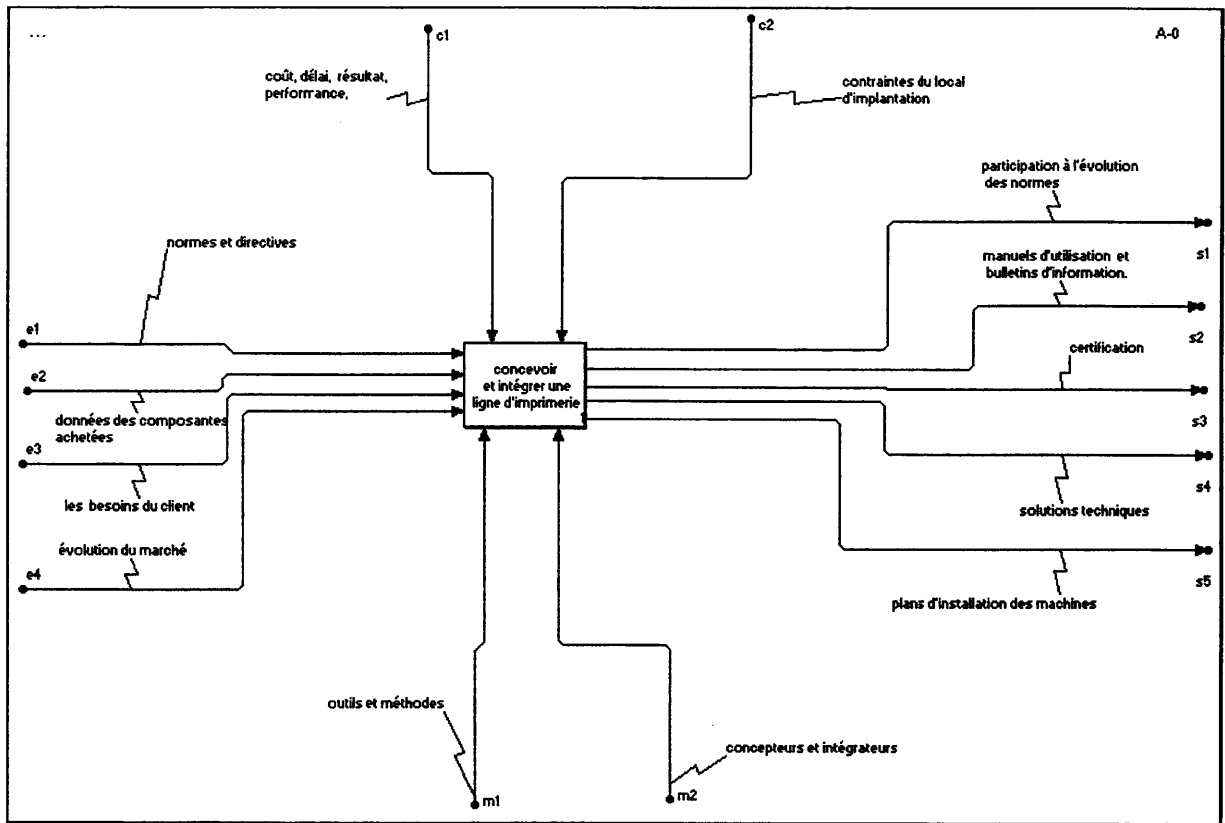


Niveau A13311

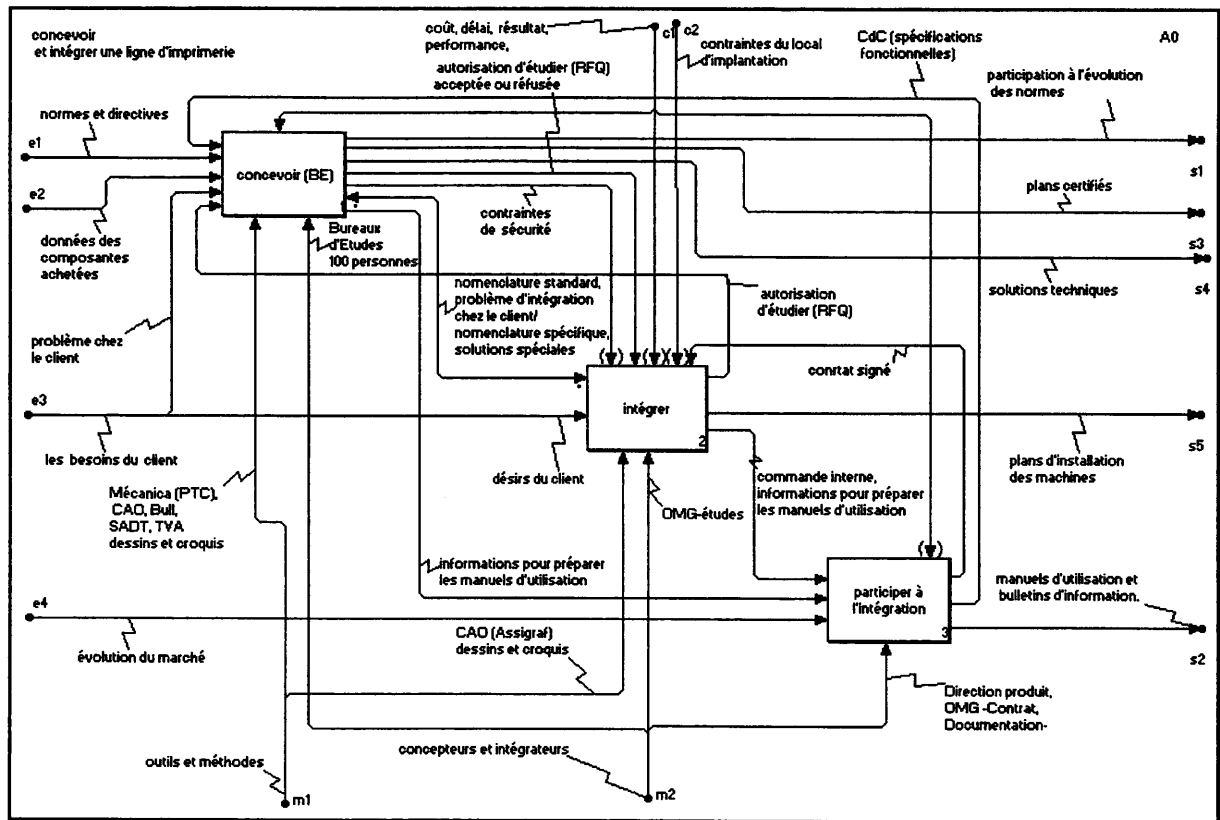
Annexe 3

L'analyse du processus de conception Arborescence des activités de conception

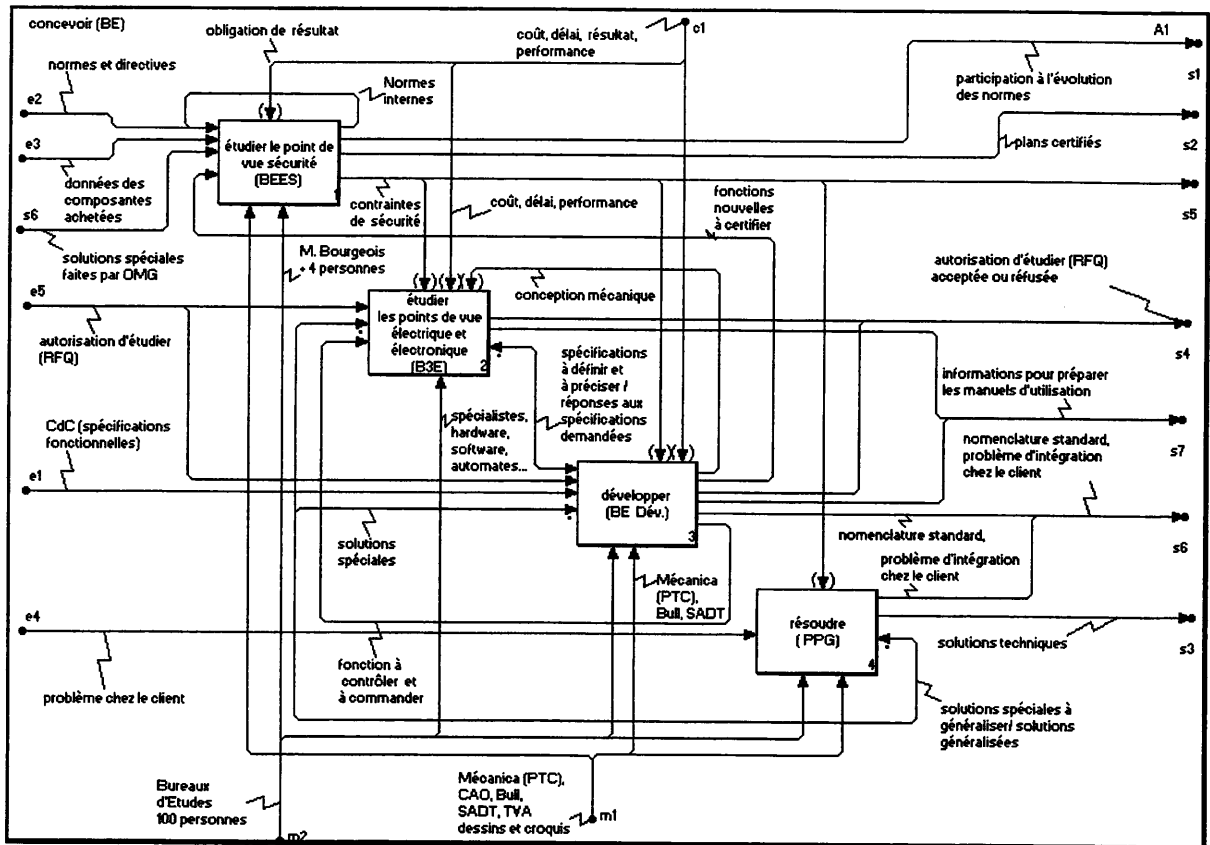




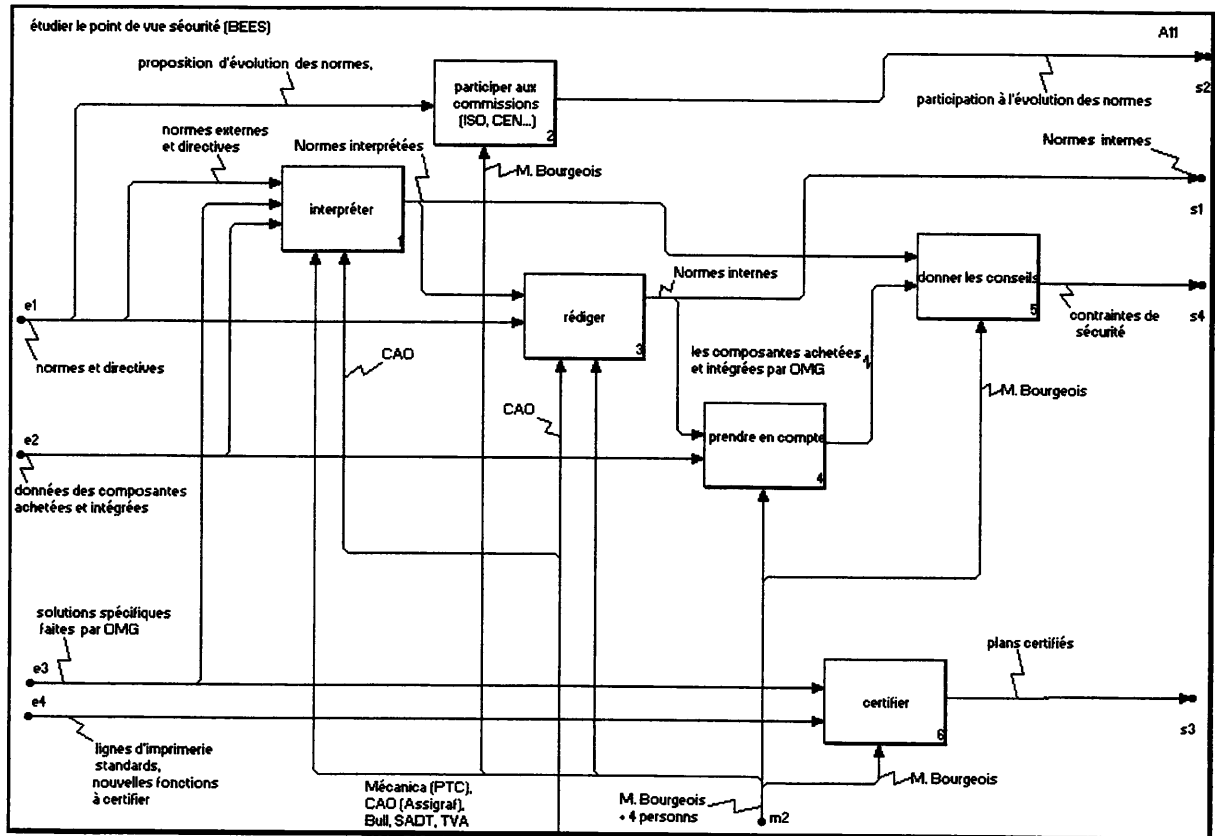
Niveau A-0



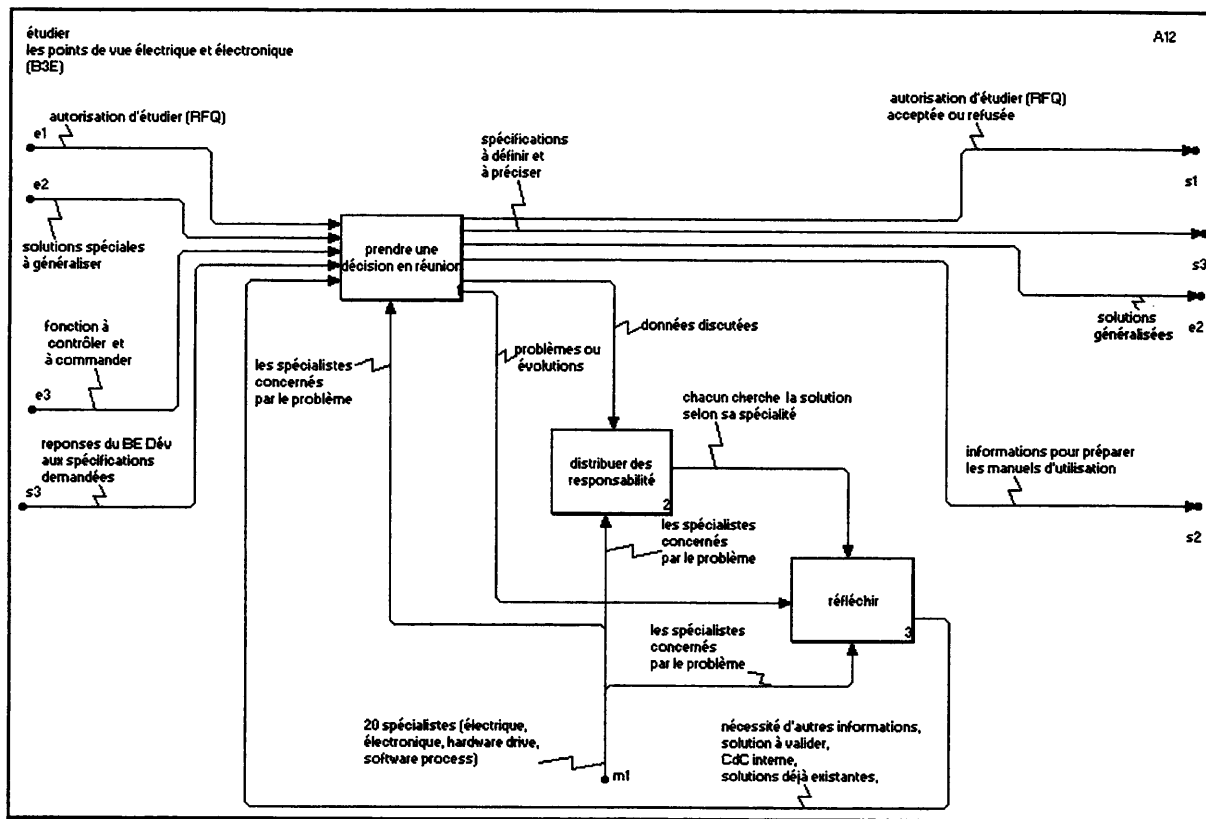
Niveau A0



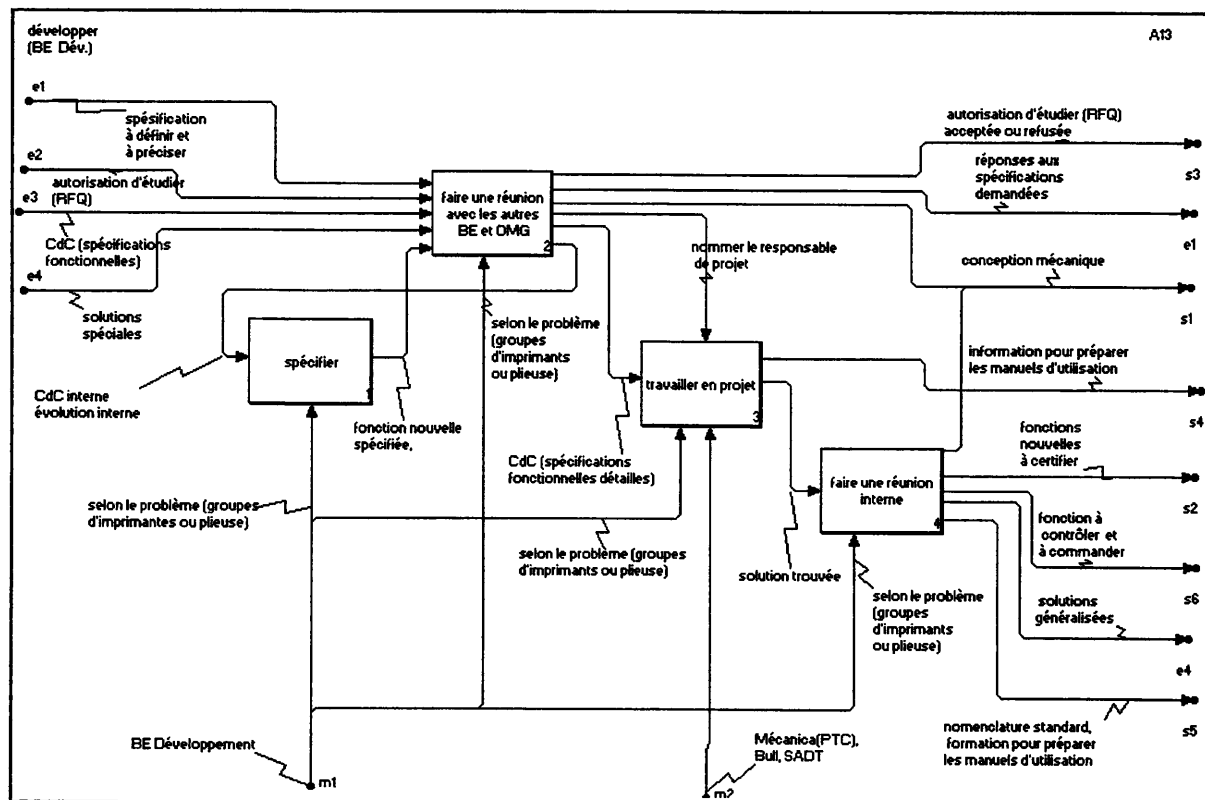
Niveau A1



Niveau 11



Niveau A12



Niveau A13

Annexe 4

Exemples illustrant différentiels risques d'origine mécanique


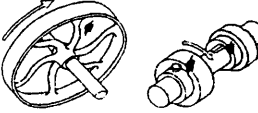

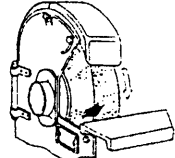

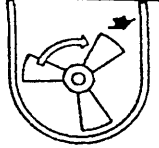
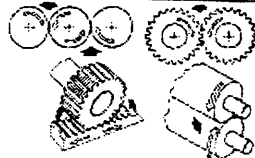
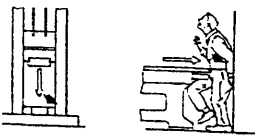
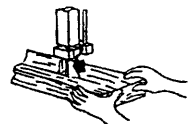
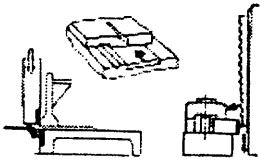
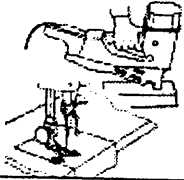

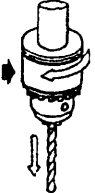
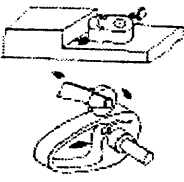
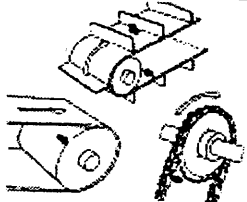
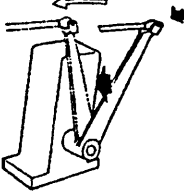

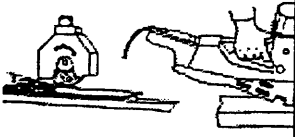
Schéma	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	ENTRAÎNEMENT	. couple, . diamètre, . inertie (masse + vitesse), . forme, état de surface, . accessibilité.	. accouplement, . broche, . plateau, . barre, etc.
	CHOC ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT CISAILLEMENT	. couple, . diamètre, . inertie (masse + vitesse), . forme, dimensions des ouvertures, des saillies, . distances entre partie tournante et partie fixe, . accessibilité.	. poulie, . volant, . clavette, . vis d'arrêt, . ventilateur, . bras de mélangeur, . etc.
	COUPURE PROJECTION ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT	. vitesse, . dimensions, . forme, état de surface . fixation des éléments en rotation, . accessibilité, . résistance mécanique.	. barre d'alésage, . fraise de toupie, . lame de scie circulaire, . fraise, . denture rapportée, . disque de tronçonnage, . etc.
	ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT BRÛLURE PROJECTION	. couple, . inertie (masse + vitesse), . matériau (cohésion, homogénéité), . balourd, . distances entre partie tournante et partie fixe, . accessibilité.	. tronçonneuse, . rectifieuse, . meuleuse, . etc.
	ENTRAÎNEMENT CISAILLEMENT	. couple, . inertie (masse + vitesse), . dimensions, . jeu.	. centrifugeuse, . essoreuse, . etc.
	CHOC ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT	. couple, . inertie (masse + vitesse), . dimensions, . jeu, . accessibilité.	. malaxeur, . mélangeur, . hachoir, . etc.
	ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT BRÛLURE	. couple, . inertie (masse + vitesse), . dimensions, écartement, . matériau, . forme, état de surface, . température, . accessibilité.	. engrenage, . crémaillère, . laminoir, . convoyeur à rouleaux, . machine d'impression, . cylindre malaxeur, . cylindre encolleur,
	ÉCRASEMENT CISAILLEMENT CHOC	. inertie (masse + vitesse), . force, . écartement mini/maxi, . recul des pièces.	. machines à bois, . presse, . machine de moulage, . unité d'avance, etc.
	COUPURE SECTIONNEMENT	. vitesse de coupe, . vitesse d'amenage, . forme de la pièce.	. scie à ruban, . etc.

Schéma	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	CISAILLEMENT SECTIONNEMENT ENTRAÎNEMENT ÉCRASEMENT CHOC	. inertie (masse + vitesse), . force, . écartement mini/maxi, . accessibilité.	. cisaille, . brocheuse, . unité d'avance, . etc.
	PIQÛRE POINÇONNEMENT PERFORATION	. force, . fréquence, . écartement mini, . écartement maxi.	. cloueuse, . agrafeuse, . poinçonneuse, . machine à coudre, . etc.
	ENTRAÎNEMENT BRÛLURE PIQÛRE	. force, . vitesse, . forme, état de surface.	. ponceuse à bande, . agrafe de courroie, . etc.
	ENTRAÎNEMENT ARRACHEMENT CHOC	. couple, . inertie (masse + vitesse), . diamètre, . forme, état de surface, . accessibilité.	. vis d'Archimède, . broche, . mandrin, . etc.
	CHOC ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT	. disposition relative, . fréquence du mouvement, . force, . amplitude, . dimensions des ouvertures et/ou de la partie tournante.	. arbre à came + galet, . excentrique, . etc.
	ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT ARRACHEMENT SECTIONNEMENT CHOC	. couple, . tension, . dimensions, . force, . vitesse, . forme.	. transporteur à bandes, à auges, . poulie et courroie, . tapis roulant, . roue à chaîne, . etc.
	CHOC CISAILLEMENT ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT	. fréquence, . force, . dimensions, . amplitude, . jeu.	. bielle - manivelle, . bras d'amenage, . etc.
	CHOC PROJECTION	. matériau (cohésion, homogénéité), . balourd, . pression, . inertie (masse + vitesse).	. meule, . denture rapportée, . disque de tronçonnage, . etc.
	BRÛLURE ENTRAÎNEMENT CHOC PROJECTION PERFORATION	. inertie (masse + vitesse), . volume, . température, . matériau, . pression.	. pistolet de scellement, . meule, . conduite hydraulique / pneumatique, . cloueuse, . etc.

Liste des 40 principes d'innovation

1. Segmentation

- Diviser un objet en pièces indépendantes.
- Faciliter le désassemblage d'un objet.
- Augmenter le degré de la segmentation d'un objet.

Exemples :

- Composants modulaires d'ordinateur, règle en bois pliante.
- Des tuyaux de jardin peuvent être joints ensemble pour former n'importe quelle longueur nécessaire.

2. Extraction

- Extraire, enlever ou séparer une partie ou une propriété nuisible à partir d'un objet.
- Extraire seulement la partie ou la propriété nécessaire.

Exemple :

- Pour effrayer des oiseaux autour des aéroports, nous utiliserons un magnétophone pour reproduire le bruit connu pour effrayer les oiseaux (le bruit est ainsi séparé des oiseaux).

3. Qualité Locale

- Transition d'une structure homogène d'un objet, d'un environnement ou d'une action extérieure à une structure hétérogène.
- Amener les différentes parties de l'objet à effectuer différentes fonctions.
- Placer chaque partie de l'objet dans les conditions les plus favorables de fonctionnement.

Exemples :

- Pour combattre la poussière dans les mines de houille, une fine brume d'eau sous forme conique est appliquée aux organes mobiles des machines de forage et de chargement. Plus les gouttelettes sont petites, plus la diminution de la poussière est grande, mais la brume

fine gêne le travail. La solution est de développer une couche de brume brute autour du cône de la brume fine.

- Un crayon et une gomme dans une unité.

4. Asymétrie

- Remplacer la forme symétrique d'un objet par une forme asymétrique.
- Si l'objet est déjà asymétrique, augmenter son degré d'asymétrie.

Exemples :

- Rendre un côté du pneu plus fort que l'autre afin d'augmenter la tenue de route.
- En déchargeant du sable humide par un entonnoir symétrique, le sable forme une voûte au-dessus de l'ouverture, causant l'écoulement irrégulier. Un entonnoir de forme asymétrique élimine l'effet de courbure.

5. Combinaison

- Rapprocher ou fusionner des objets identiques ou similaires, assembler des parties identiques ou similaires pour réaliser des opérations parallèles.
- Combiner ou paralléliser des actions, les rapprocher dans le temps.

Exemple :

- Utiliser des chevilles perforantes plutôt qu'une mèche et ensuite une cheville.

6. Universalité

- Faire en sorte que l'objet assure plusieurs fonctions, de manière à éliminer le besoin d'autres pièces.

Exemple :

- Canapé convertible en lit.

7. Emboîtement

- Placer les objets en série les uns dans les autres.
- Faire passer un élément dans une cavité d'un autre.

Exemples :

- Antenne télescopique.
- Chaises qui s'empilent pour le stockage.

8. Contrepoids

- Compenser la masse d'un objet en le combinant avec un autre qui le soulève.
- Compenser la masse d'un objet par interaction avec son environnement (par exemple : en utilisant les forces aérodynamiques ou hydrodynamiques).

Exemple :

- Aileron arrière des voitures de sport augmentant la pression de la voiture au sol.

9. Action inverse préliminaire

- Si l'action à exécuter présente à la fois des effets utiles et néfastes, celle-ci devra être précédée d'actions inverses contrôlant les effets néfastes.
- créer des contraintes internes de l'objet, qui s'opposeront aux contraintes néfastes de l'objet en fonctionnement.

Exemples :

- Colonne ou plancher en béton renforcé.
- Utiliser des détecteurs de lumière sur les voitures afin d'éviter aux conducteurs d'être éblouis.

10. Action préliminaire

- Effectuer l'ensemble ou une partie de l'action requise à l'avance.
- Positionner à l'avance les objets idéalement de façon à ce qu'ils entrent en action efficacement et sans perte de temps.

Exemple :

- Colonne ou plancher en béton armé.

11. Compensation

- Compenser le manque de fiabilité relativement faible d'un objet par des contre-mesures prises à l'avance.

Exemples :

- Des marchandises sont magnétisées pour décourager le vol à l'étalage.
- Les airbags dans les voitures.

12. Equipotentialité

- Changer les conditions de travail de sorte qu'un objet n'ait pas besoin d'être élevé ou abaissé.

Exemple:

- L'huile moteur des automobiles peut être changée dans un puit pour éviter d'employer l'équipement de levage qui coûte cher.

13. Inversion

- Au lieu d'une action dictée par les caractéristiques du problème, mettre en application une action opposée.
- Rendre une pièce mobile fixe ou inversement.
- Retourner l'objet.

Exemple:

- Bouger la pièce plutôt que l'abrasif.

14. Sphéricité

- Remplacer les pièces linéaires ou les surfaces plates par des curvilignes et inversement, remplacer la forme cubique par la forme sphérique.
- Utiliser les rouleaux, des spirales, de billes.
- Remplacer un mouvement linéaire par un mouvement tournant; utiliser la force centrifuge.

Exemple :

- La souris d'ordinateur a utilisé la construction de la boule pour transférer le mouvement biaxial linéaire par le mouvement rotatif.

15. Mobilité

- Rendre un objet ou son environnement automatiquement ajustable à l'exécution optimale de chaque étape de l'opération.
- Diviser un objet en éléments mobiles.
- Si un objet est immobile, le rendre mobile ou interchangeable.

Exemple :

- Des marchandises sont magnétisées pour décourager le vol à l'étalage.

16. Action partielle ou exagérée

- S'il est difficile d'obtenir 100% d'un effet désiré, réaliser partiellement ou à l'excès la méthode peut simplifier considérablement le problème.

Exemples :

- Un cylindre est peint en immersion dans la peinture, mais contient plus de peinture que désiré. La peinture excessive est alors enlevée en tournant rapidement le cylindre.
- Pour obtenir la décharge uniforme d'une poudre métallique d'un casier, le distributeur a un entonnoir interne spécial qui est continuellement rempli au-dessus du niveau pour fournir la pression presque constante.

17. Changement de dimension

- Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel.
- Utiliser un ensemble multicouche d'objets au lieu d'une seule couche.
- Incliner l'objet ou le réorienter.

Exemple :

- Le stockage des bateaux peut se faire verticalement.

18. Vibration mécanique

- Faire vibrer un objet.
- Si l'oscillation existe, augmenter sa fréquence, même jusqu'au ultrasons.
- Employer la fréquence de résonance de l'objet.
- Au lieu des vibrations mécaniques, utiliser des vibrations piézo-électrique.
- Combiner les vibrations ultrasoniques et électromagnétiques.

Exemples :

- Pour enlever de la fonte sans blesser la peau, une scie conventionnelle à main a été remplacée par un couteau vibrant.
- Vibrer un moule de bâti tandis qu'il est rempli pour améliorer l'écoulement et les propriétés structurales.

19. Action périodique

- Remplacer une action continue par une action périodique ou pulsatoire.
- Si une action est déjà périodique, changer sa fréquence.
- Utiliser le temps entre les pulses pour faire une autre action.

Exemples :

- Une clé à choc permet de détacher les écrous corrodés en utilisant des impulsions plutôt que la force.
- Une lampe d'avertissement clignote afin d'être plus visible.
- Un perforateur est beaucoup plus efficace qu'une perceuse.

20. Action d'utilité

- Privilégier les actions continues où toutes les parties de l'objet sont à plein régime.
- Enlever les temps morts.

Exemple :

- Une lame de scie à ruban peut être étudiée pour couper vers l'avant et l'arrière.

21. Aléatoire et à grande vitesse

- Effectuer les opérations néfastes ou dangereuses à très grande vitesse.

Exemple :

- Afin d'éviter la déformation d'un tube plastique il suffit de le couper très rapidement c'est-à-dire avant que le tube ne se déforme.

22. Utilisation bénéfique d'un effet néfaste

- Utiliser des facteurs néfastes (en particulier les effets néfastes de l'environnement) pour obtenir un effet positif.
- annuler l'effet d'un facteur néfaste en le combinant avec un autre facteur néfaste.
- accroître un effet néfaste jusqu'à ce qu'il ne soit plus nuisible.

Exemple :

- L'effet néfaste des lampes (perte de 90% de l'énergie consommée en chaleur) est utilisé pour chauffer (Vitro céramique).

23. Asservissement

- Introduire un asservissement (réponse, vérification) afin d'améliorer un procédé ou une action.
- Si l'asservissement est déjà utilisé, modifier son ampleur ou son influence.

Exemple :

- Contrôler la fréquence cardiaque du patient afin d'asservir les vibrations du bain d'eau et ainsi optimiser le massage.

24. Insertion

- Utiliser un objet ou un procédé intermédiaire pour transférer ou effectuer une action.
- Combiner provisoirement un objet à un autre (opération facilement réversible).

Exemple :

- Ajout d'un produit corrosif pour augmenter l'efficacité et faciliter le brasage de tuyau de cuivre.

25. Self service

- Faire en sorte que l'objet se suffise à lui-même en effectuant des fonctions auxiliaires utiles.
- Réutiliser les résidus énergétiques et matériels.

Exemples :

- Pour éliminer l'usage dans un système qui distribue une matière abrasive, sa surface est faite à partir du matériel abrasif.
- Dans un pistolet à soudeuse, la tige est avancée par un dispositif spécial. Pour simplifier le système, la tige est avancée par un solénoïde commandé par le courant de soudeuse.

26. Copier

- Utiliser une copie simple et peu coûteuse plutôt qu'un objet complexe, cher, fragile ou difficile d'utilisation.
- Remplacer un objet par sa copie optique.

- Si des copies optiques sont déjà employées, utiliser des copies infrarouges ou ultraviolettes.

Exemple :

- La taille des grands objets peut être déterminée en mesurant leurs ombres.

27. Ephémère et économique

- Remplacer un objet cher par un ensemble d'objet peu coûteux, renonçant à certaines de ses qualités (par exemple longévité).

Exemple :

- Couches-culottes jetables.

28. Remplacer les éléments mécaniques

- Remplacer un système mécanique par un système optique, acoustique ou olfactif (d'odeur).
- Employer un champ électrique, magnétique ou électromagnétique pour l'interaction avec l'objet.
- Remplacer les :
 - Champs statiques par des champs mobiles.
 - Champs fixes par des champs qui changent juste à temps.
 - Champs aléatoires par des champs structurés.
- Utiliser un champ en conjonction avec les particules activées (par ex. :ferromagnétiques).

Exemple :

- Pour augmenter le lien entre l'enduit en métal et un matériel thermoplastique, un champ électromagnétique est installé à l'intérieur.

29. Système pneumatique ou hydraulique

- Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide.

Exemple :

- Pour l'expédition de produits fragiles, des enveloppes à bulle sont employées.

30. Membranes flexibles ou films minces

- Remplacer les constructions traditionnelles par des membranes flexibles ou des films minces.

- Isoler l'objet de son environnement en utilisant des membranes flexibles ou des films minces.

Exemple :

- Pour empêcher l'évaporation des feuilles, un jet de polyéthylène a été appliqué. Après un moment, le polyéthylène a durci et la croissance de plantes s'est améliorée, parce que la pellicule de polyéthylène laisse passer l'oxygène et pas trop la vapeur d'eau.

31. Porosité des matériaux

- Rendre un objet poreux ou lui ajouter des éléments poreux (insertions, couvertures, etc...).
- Si un objet est déjà poreux, remplir les pores d'une substance.

Exemple :

- Pour éviter de pomper le liquide réfrigérant des congélateurs, il faudrait que certaines des pièces soient poreuses et donc imbibées du liquide réfrigérant. Le liquide réfrigérant s'évapore dès que la machine fonctionne, fournissant un refroidissement uniforme et à court terme.

32. Le changement de couleur

- Changer la couleur d'un objet ou de son environnement.
- Changer le degré de transparence d'un objet ou de son environnement.
- Utiliser des additifs colorés pour observer l'objet ou les processus difficile à voir.
- Si de tels additifs sont déjà employés, utiliser des traces ou des éléments luminescents.

Exemples :

- Un bandage transparent permet de contrôler la blessure sans l'enlever.
- Un rideau d'eau protégeait les ouvriers d'une aciérie contre les rayons infrarouges mais pas contre la lumière visible de l'acier fondu. Un colorant a été ajouté à l'eau pour

créer un effet de filtre tout en préservant la transparence de l'eau.

33. L'homogénéité

- Faire interagir les objets avec un objet annexe de même matière (ou d'une matière ayant des propriétés identiques).

Exemple :

- Pour homogénéiser les cacahuètes dans un biscuit ou une glace, il suffit de faire vibrer les parois du moule.

34. Rejet et régénération

- Eliminer un élément de l'objet (par dissolution, évaporation, etc.) lorsque celui-ci a assuré sa fonction ou le modifier au cours du fonctionnement.
- A l'inverse, récupérer les éléments consommables de l'objet au cours du fonctionnement.

Exemples :

- Les douilles de balle sont éjectées après les tirs.
- Les propulseurs de fusée se séparent après avoir rempli leur fonction.

35. Changement d'état

- Modifier l'état physique d'un objet (ex. sous forme de gaz, de liquide ou de solide).
- Changer sa concentration ou sa consistance.
- Modifier son degré de flexibilité.
- Modifier sa température.

Exemple :

- Pour éviter la douleur de la roulette chez le dentiste, il est proposé d'insérer préalablement un acide spécial qui n'attaque pas le calcium. Ensuite il suffit de gratter et d'éliminer ce qui est transformé.

36. Changement de phase

- Utiliser les phénomènes associés aux changements de phases (changement de volume, perte ou absorption de chaleur, etc.).

Exemple :

- Pour éviter la pollution et les problèmes de coupe de l'herbe, les

pigeons en argile des ball-trap sont remplacés par des pigeons de glace.

37. Dilatation thermique

- Utiliser la dilatation (ou contraction) thermique des matériaux.
- Utiliser des matériaux différents avec des coefficients de dilatation thermique différents.
- Employer un matériel qui augmente ou se contracte avec la chaleur.
- Employer les divers matériaux avec différents coefficients d'expansion de la chaleur.

Exemple :

- Pour commander l'ouverture de toit d'une serre, des plats bimétalliques sont soudés aux fenêtres. Ainsi un changement de température plie les plats, causant la fermeture ou l'ouverture de la fenêtre.

38. Oxydant puissant

- Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi.
- Remplacer de l'air enrichi par de l'oxygène pur.
- Exposer l'air ou l'oxygène à des radiations ionisantes.

- Utiliser de l'oxygène ozonisé.
- Remplacer l'oxygène ozonisé (ou ionisé) par de l'ozone.

Exemple :

- Nous alimentons le chalumeau en oxygène plutôt que l'air atmosphérique afin d'augmenter la température.

39. Environnement inerte

- Remplacer l'environnement normal par un environnement inerte.
- Ajouter des pièces neutres ou des additifs inertes à un objet.

Exemple :

- Pour empêcher le risque d'incendie d'un entrepôt de coton, celui-ci est stocké et transporté dans une ambiance de gaz inerte.

40. Matières composites

- Remplacer un matériel homogène par un matériel composé.

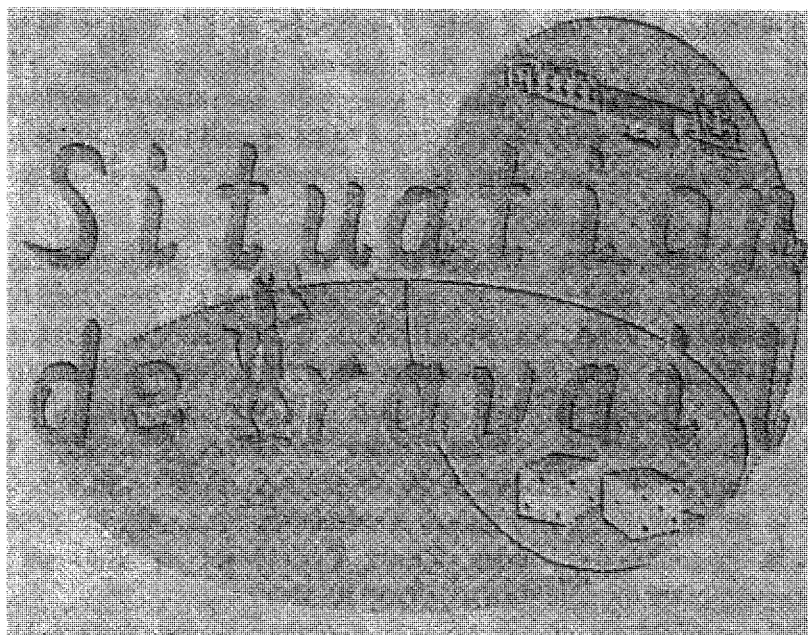
Exemple :

- Des ailes d'avion militaire sont faites de composés de plastique et de fibre de carbone pour réduire le poids et avoir une haute résistance.

Implantation de la SITUATION DE TRAVAIL sous ACCESS

Je présente ici la structure de la base de données implantée sous Access pour réaliser la maquette informatique. Le modèle développé sous Access constitue en quelque sorte un méta-modèle pour le modèle de Situation de travail. En effet, c'est l'instanciation de la base Access (en particulier des tables **Choix_TypeObjet** et **RELATION_Types**) qui met en place le modèle de Situation de travail. Ce premier niveau d'instanciation a en fait été réalisé par moi-même et n'est pas accessible par l'utilisateur. Intervient ensuite l'instanciation à un second niveau (en particulier les tables **Objet** et **RELATION**) effectuée directement par l'utilisateur cette fois. Cette entrée de données décrit la Situation de travail elle-même.

La présentation des tables Access et des relations établies entre ces tables se décompose en plusieurs parties. On retrouvera en fin de chaque partie la représentation des tables et relations correspondantes sous forme de capture d'écran Access.



1. Les objets et relations du modèle de SITUATION DE TRAVAIL

La table **Choix_TypeObjet** contient la liste des classes existantes dans le modèle de SITUATION DE TRAVAIL développé dans le rapport.

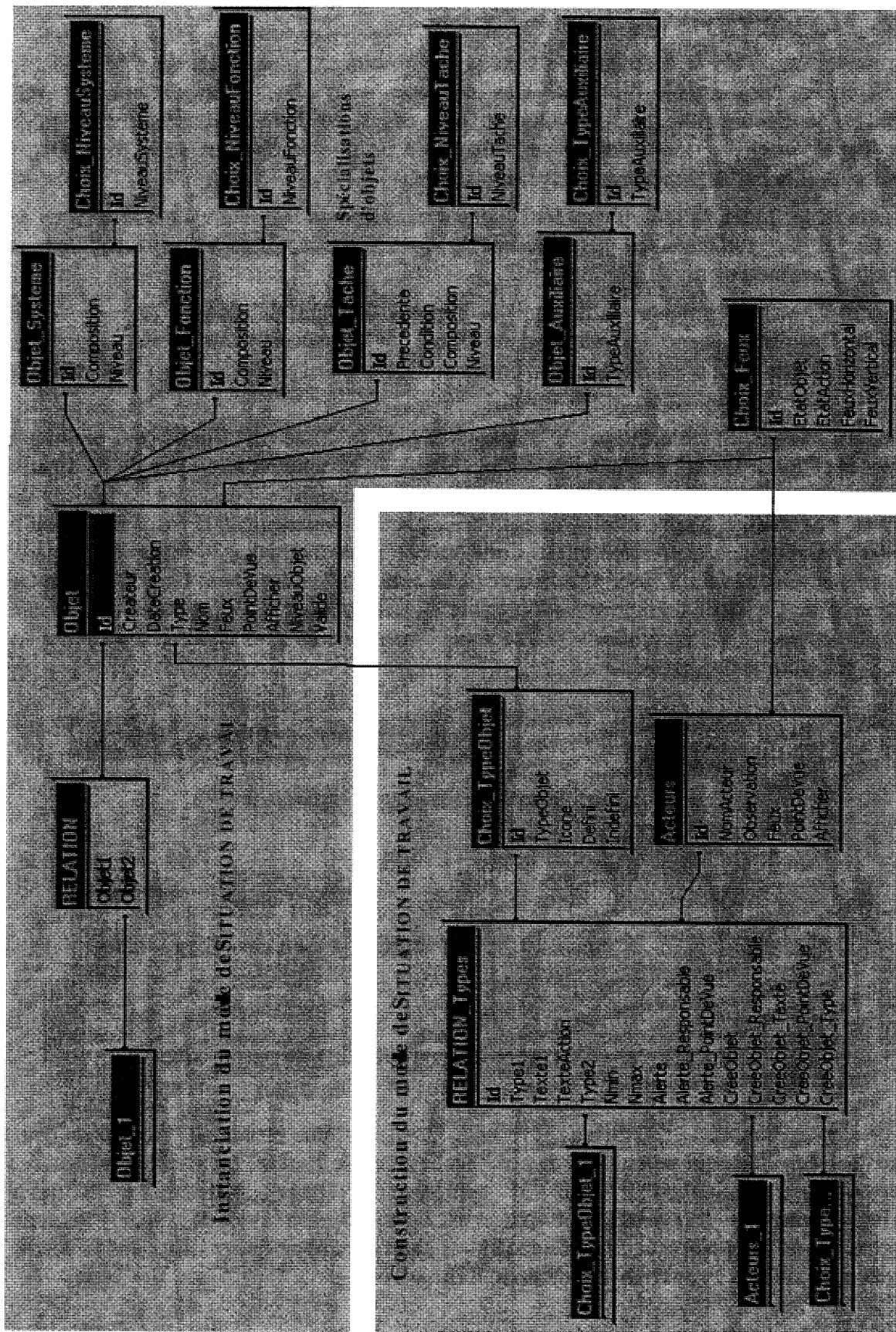
La Table **RELATION_Types** génère le méta-modèle. Cette table met en relation les éléments de la table **Choix_TypeObjet** et permet ainsi de définir les relations existantes dans le modèle de SITUATION DE TRAVAIL. On utilise pour cela les champs **Type1** et **Type2** pour réaliser une relation unilatérale des objets de la classe **Type1** vers ceux de la classe **Type2**. Puisque dans le modèle de SITUATION DE TRAVAIL, toutes les relations sont symétriques, on est obligé de créer, pour toute relation d'un type 1 vers un type 2, la relation inverse du type 2 vers le type 1. En outre, la table **RELATION_Types** permet de mettre en place le vocabulaire de la relation. Ce sont ces champs texte qui sont utilisés pour écrire les « phrases » dans l'interface

utilisateur et qui traduisent la sémantique des relations. On définit ainsi les champs **Texte1** et **TexteAction**.

Nmin et **Nmax** précisent la multiplicité des relations c'est-à-dire le nombre de relations admissibles d'un objet donné de type **Type1** vers l'ensemble des objets de type **Type2**. Si le nombre de relations effectivement établies est inférieur à **Nmin**, alors une action de contrôle est générée pour demander à l'utilisateur de palier le manque. Si le nombre de relations est égal à **Nmax**, on ne peut plus ajouter de telles relations. Les autres champs de la table **RELATION_Types** sont utilisés pour gérer la création d'actions de contrôle dans deux cas : lorsqu'un objet de type **Type1** est nouvellement créé dans la base de données, on peut générer des actions de contrôle demandant de lier ce nouvel objet aux objets de type **Type2** (Si le champ **Alerte** a la valeur *VRAI*) ou lorsqu'on crée une relation entre deux objets de types **Type1** et **Type2** (Si le champ **CreeObjet** a la valeur *VRAI*). Dans ce second cas, une action de contrôle est mise en place demandant à l'utilisateur de créer un nouvel objet de type **CreeObjet_Type** ; c'est le cas en particulier quand on crée une relation entre une tâche et une zone dangereuse. On est alors invité à créer un nouvel objet de type **Risque** et à réaliser l'appréciation du risque correspondant au déroulement d'une tâche de l'opérateur dans une zone dangereuse.

La table **Objet** contient les véritables instances du modèle de SITUATION DE TRAVAIL dont les types sont des éléments de la table **Choix_TypeObjet**. De la même façon, c'est la table **RELATION** qui contient les instances de relations entre ces objets telles qu'elles sont décrites dans la table **RELATION_Types**. Et ici encore, les relations sont unilatérales. Il faut donc toujours créer une relation de **Objet2** vers **Objet1** quand une relation a été établie entre **Objet1** et **Objet2**. Toutefois, ce travail est géré automatiquement et est donc transparent pour l'utilisateur.

Pour être décrits, les éléments de la table **Objet** possèdent un certain nombre d'attributs communs que l'on retrouve dans les champs de la table **Objet**. Ces champs sont par exemple le **Nom**, le **Createur**, le **Type**, les **PointDeVue** ... Cependant, certains types d'objets réclament des spécialisations pour pouvoir entrer des attributs spécifiques. Ainsi, quatre tables sont liées à la table **Objet** par une relation de type un-à-un. Il s'agit des tables **Objet_Systeme**, **Objet_Fonction**, **Objet_Tache** et **Objet_Auxiliaire**. Ces tables sont utilisées principalement pour enregistrer la décomposition d'objets en sous-objets ou encore pour enregistrer le séquençement des tâches d'utilisation. A la fin de cette annexe, §5, on pourra trouver le contenu des tables **Choix_TypeObjet** et **RELATION_Types** qui représentent les concepts du modèle de SITUATION DE TRAVAIL.



Les objets et les relations du modèle de SITUATION DE TRAVAIL

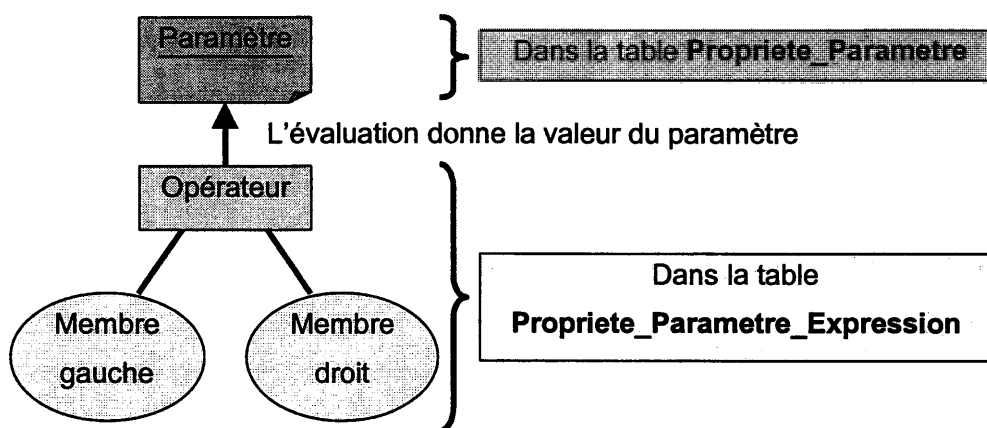
2. Les propriétés décrivant les objets

Les propriétés réalisent la description qualitative et quantitative des objets du modèle. Elles sont référencées dans la table **Propriété**. Ces propriétés sont de trois natures (Commentaires, paramètres ou documents attachés). On retrouve ces types de propriétés dans la table **Choix_TypePropriete**. Une propriété est rattachée à un unique élément de la table **Objet** (présentée dans la partie précédente) grâce au champ **Objet**.

Comme la table **Objet**, la table **Propriété** contient des attributs communs à tous les types de propriétés et est rattachée à deux tables de spécialisation : **Propriete_Document** et **Propriete_Parametre**.

Concernant les documents attachés, le champ **TypeDocument** de la table **Propriete_Document** prend ses valeurs dans **Choix_TypeDocument**. On trouve ainsi dans cette dernière table le nom du type de document mais aussi l'application (et le chemin d'accès) qui permet d'ouvrir un tel document.

Pour les paramètres, la table **Propriete_Parametre** précise d'une part l'unité (qui prend ses valeurs dans **Choix_Unite**) et d'autre part l'expression du paramètre. La valeur du paramètre sera le résultat de l'évaluation de l'expression liée de la table **Propriete_Parametre_Expression**. Une instance de cette dernière table correspond en fait à une seule opération de l'expression totale. Cette opération est décrite par le champ **Operateur** qui prend ses valeurs dans **Choix_Operateur** ; Elle concerne les membres **Gauche** et **Droite** de l'expression. Ce mode de représentation utilise en fait un modèle d'expression sous forme d'arbre. L'expression du paramètre « pointe » sur l'opération de plus au niveau du point de vue de la sémantique de l'expression.



Représentation en arbre des expressions de paramètres

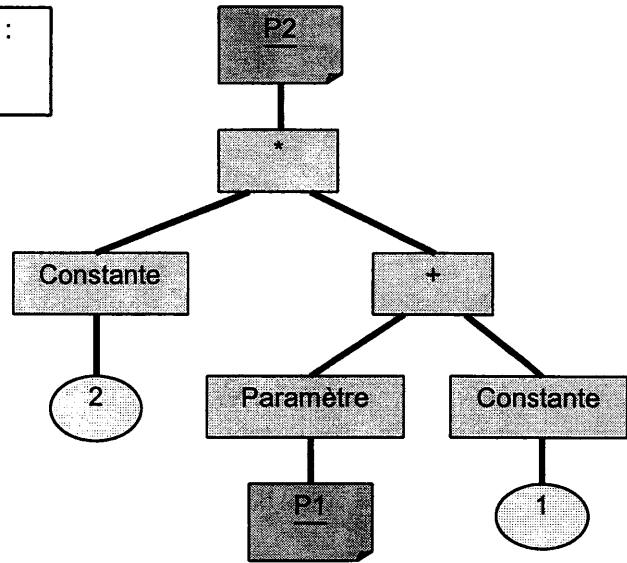
Il existe des opérateurs « classiques » (+, -, *, /), placés aux nœuds de l'arbre, et deux opérateurs spécifiques qui permettent de créer les feuilles de l'arbre. Le premier est nommé *Constante*. Son évaluation renvoie le contenu du champ **Valeur** de la table **Propriete_Parametre_Expression**. Le second est *Paramètre* et renvoie la valeur d'un autre paramètre. On utilise pour cela une référence à cet autre paramètre enregistrée dans le champ **Parametre** de la table **Propriete_Parametre_Expression**.

L'expression du paramètre P2 est :
 $P2 = 2(P1+1)$

Chacun des cinq rectangles représente un enregistrement de la table **Propriete_Parametre_Expression**.

Les cercles sont des feuilles contenues dans le champ **Valeur**.

Les documents P1 et P2 sont des instances de la table **Propriete_Parametre**



On visualise ci-dessous un extrait (toutes les colonnes ne sont pas affichées) de 3 tables de la base de données, utiles à la représentation de l'expression ci-dessus :

Propriete			Propriete_Parametre		
Id	TypePropriete	NomPropriete	Id	Unite	Expression
1	1 = Paramètre	P1	1	2 = « m »	1
2	1 = Paramètre	P2	2	2 = « m »	2

Propriete_Parametre_Expression						
Id	Operateur	Gauche	Droite	Parametre	Valeur	Texte
1	5 = constante				10	« 10 »
2	3 = « * »	6	3		22	« 2 * (P1 + 1) »
3	1 = « + »	5	4		11	« P1 + 1 »
4	5 = constante				1	« 1 »
5	6 = paramètre			1 = « P1 »	10	« P1 »
6	5 = constante				2	« 2 »

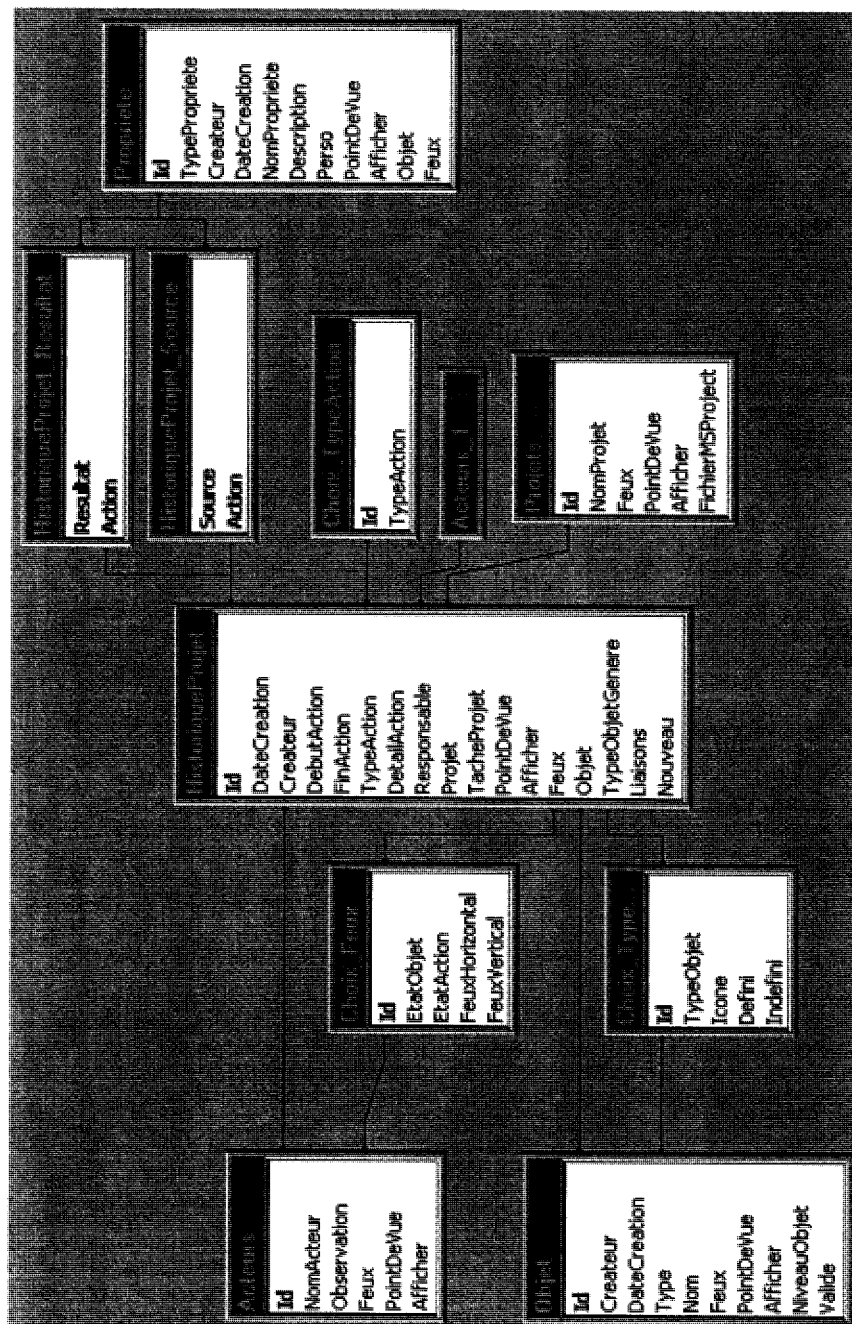
Les numéros de la colonne **Expression** de la table **Propriete_Parametre** correspondent aux **Id** de la table **Propriete_Parametre_Expression**. Les numéros des colonnes **Gauche** et **Droite** de la table **Propriete_Parametre_Expression** correspondent aux **Id** de cette même table. La colonne **Parametre** de cette table renvoie aux **Id** de la table **Parametre**.

Exemple de représentation des expressions

Il reste une table dont on n'a pas encore parlé : **Propriete_ParDefaut**. Cette table permet d'enregistrer des propriétés qui seront systématiquement créées avec un nouvel objet dont le type est celui inscrit dans le champ **TypeObjet** de la table **Propriete_ParDefaut** et dont les points de vue coïncident avec ceux du champ **PointDeVue** de la table **Propriete_ParDefaut**. Si le type de propriété par défaut (champ **TypePropriete**) est *paramètre* ou *document*, alors on utilise respectivement les champs **Unite** et **TypeDocument**.

sont pas encore effectuées. Le statut des actions enregistrées (Validées, en cours ou à faire) est contenu dans le champ **Feux** qui prend ses valeurs dans la table **Choix_Feux**. Une action est rattachée à un unique élément de la table **Objet** grâce au champ **Objet**. Dans le cas d'une action de contrôle, on peut utiliser les champs **TypeObjetGenere** et **Liaisons** qui précisent respectivement et le cas échéant le type d'objet qui doit être généré à l'issue de la réalisation de l'action et la liste des références d'objets potentiellement liés à celui décrit dans le champ **Objet**. Chaque action est également attachée à un projet (au sens MS Project) grâce au champ **Projet** et éventuellement à une tâche précise de ce projet à travers le champ **TacheProjet**.

Enfin, il existe deux relations de type plusieurs-à-plusieurs entre les tables **HistoriqueProjet** et **Propriete** réalisées sous Access par les tables **HistoriqueProjet_Resultat** et **HistoriqueProjet_Source**. Ces relations permettent de définir les informations (contenues dans les propriétés) utiles à la réalisation de l'action (source) ou obtenues (ou modifiées) à l'issue de la réalisation de l'action (résultats).

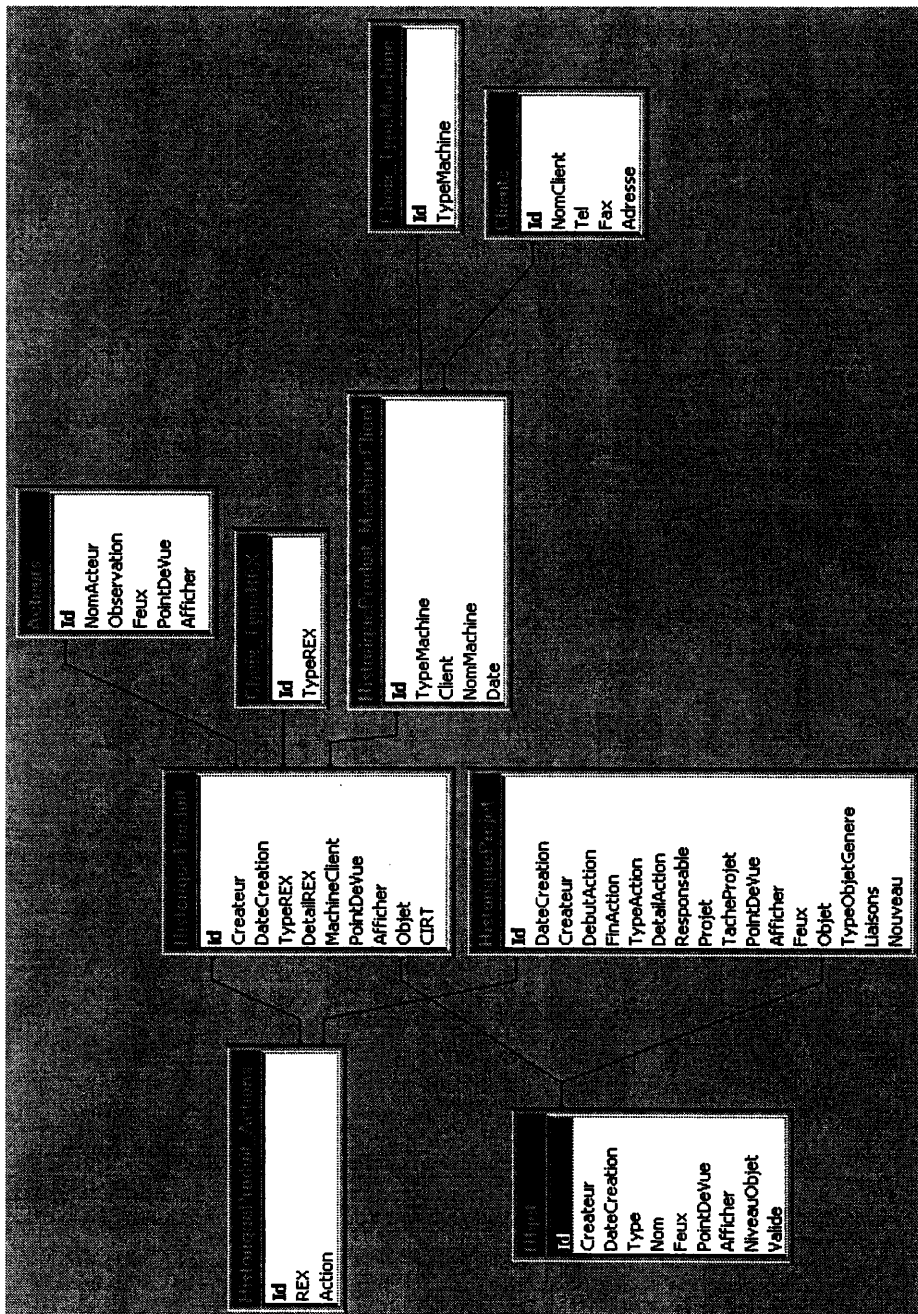


L'historique de la conception

4. L'historique des produits de la conception (retours de terrain)

La table **HistoriqueProduit** enregistre les retours de terrain. Chaque retour est associé à un unique élément de la table **Objet** grâce au champ **Objet**. La table **HistoriqueProduit_Actions** réalise une relation de type plusieurs-à-plusieurs entre les tables **HistoriqueProduit** et **HistoriqueProjet** et permet d'enregistrer des actions qui donnent suite à un retour de terrain. En effet, la plupart du temps, le retour de terrain nécessite des modifications de la conception donc des actions à réaliser sur la base de données.

D'autre part, le retour de terrain est localisé sur une machine donnée d'un client spécifique grâce au champ **MachineClient** qui prend ses valeurs dans la table **HistoriqueProduit_MachineClient**. Cette table décrit l'ensemble des machines vendues avec en particulier **TypeMachine** qui prend ses valeurs dans **Choix_TypeMachine** et **Client** qui prend ses valeurs dans **Clients**.



L'historique des produits de la conception (retours de terrain)

5. Données fondamentales de la base Access

Pour finir cette annexe, je donne des données contenues dans la base Access que l'utilisateur ne peut pas modifier directement avec l'interface. Ces informations permettent en particulier de construire le méta-modèle (partie dont l'instanciation génère le modèle de SITUATION DE TRAVAIL – Voir §1)

Pour obtenir plus d'informations sur la structure de la base Access, vous pouvez par exemple ouvrir la base de donnée « vide » et utiliser la fonctionnalité OUTILS-ANALYSE-DOCUMENTATION de MS Access. Notez que pour accéder aux menus Access, vous devez maintenir la touche MAJUSCULE enfoncée pendant l'ouverture de la base. Pour ne plus avoir à réaliser cela, vous pouvez changer les options de la fenêtre OUTILS-DEMARRAGE... dans Access.

Table : **Choix_Feux**

Id	EtatObjet	EtatAction	FeuxHorizontal	FeuxVertical
1	disponible	s'est déroulée		
2	en cours de modification	se déroule		
3	indisponible	se déroulera		

Table : **Choix_NiveauFonction**

Id	NiveauFonction
0	Fonction principale
1	Sous-fonction
2	Sous-fonction (2)
3	Sous-fonction (3)

Table : **Choix_NiveauSysteme**

Id	NiveauSysteme
0	Module
1	Organe
2	Sous-organe
3	Pièce

Table : **Choix_NiveauTache**

Id	NiveauTache
0	Tâche principale
1	Sous-tâche
2	Sous-tâche (2)
3	Sous-tâche (3)

Table : **Choix_Operateur**

Id	Opérateur
-1	ERREUR
1	+
2	-
3	*
4	/
5	constante
6	paramètre

Table : **Choix_PointDeVue**

Id	PointDeVue
0	Mécanique groupes imp
1	Mécanique plieuses
2	HardWare
3	SoftWare
4	Intégration
5	Sécurité

Table : **Choix_TypeAction**

Id	TypeAction
1	Création
2	Suppression
3	Modification
4	Analyse
5	Liaisons manquantes
6	Liaisons obsolètes
7	Action spécifique
8	Vérification
9	Analyse risque

Table : **Choix_TypeAuxiliaire**

Id	TypeAuxiliaire
1	Outil
2	Consommable

Table : **Choix_TypeDocument**

Id	TypeDocument	Programme	Extension
1	Image	C:\Program Files\Common Files\Microsoft Shared\PhotoEd\PHOTOED.EXE	gif
2	Imagerie	C:\Program Files\Windows NT\Accessories\ImageVue\kodaking.exe	gif
4	Normalien	C:\Program Files\Adobe\Acrobat 4.0\Reader\AcroRd32.exe	pdf
5	Norme	C:\Program Files\Adobe\Acrobat 4.0\Reader\AcroRd32.exe	pdf
6	Microsoft Word	C:\Program Files\Microsoft Office\Office\WINWORD.EXE	doc
7	Microsoft Excel	C:\Program Files\Microsoft Office\Office\EXCEL.EXE	xls
8	Microsoft Power Poi	C:\Program Files\Microsoft Office\Office\powerpnt.exe	ppt
9	Programme	C:\WINNT\notepad.exe	txt

Table : **Choix_TypeObjet**

Id	TypeObjet	Genre	Defini	Indefini
1	Système		le	un
2	Fonction		la	une
3	Solution technique		la	une
4	Outilage		l'	un
5	Tâche d'utilisation		la	une
7	Opérateur		l'	un
8	Risque		le	un
9	Phénomène dangereux		le	un
10	Zone dangereuse		la	une
11	Événement dangereux		l'	un
12	Flux		le	un
14	Mesure de sécurité		la	une

Table : **Choix_Unite**

Id	Unite
1	m
2	mm
3	kg
4	N
5	DaN
6	Nm
9	Bar
10	°C
11	W
12	kW
13	J
15	Années
16	Mois
17	Jours
18	Heures
19	Min
20	Sec
21	FRF
22	Euros
23	m/s
24	ex/h

Table : **Choix_TypePropriete**

Id	TypePropriete
0	Commentaire
1	Paramètre
2	Document

Table : **Choix_TypeREX**

Id	TypeREX
1	Sécurité
2	Panne
3	Performance
4	Ergonomie

Table : **Options**

Id	DureeActionConstante	DupliqueExpressionParametre	ObjetsSupprimes
0	VRAI	FAUX	VRAI

Table : **Options_Recherche**

Id	DansNomObjet	DansNomPropriete	DansDescriptionPropriete
0	VRAI	VRAI	VRAI
DansNomFichierDocument	DansValeurParametre	DansActions	DansHistorique
VRAI	VRAI	VRAI	VRAI

Table : **Projets**

Id	NomProjet	Feux	PontDeVue	Afficher	FichierMSProject
1	Hors projet	1	63	VRAI	

Table : **RELATION_Types** (extrait – 6 colonnes sur 15)

Id	Type1	Texte1	Type2	Nmin	Nmax
27	Système	remplit	Fonction	0	999
28	Système	met en oeuvre	Solution technique	0	999
29	Système	est concerné par	Tâche d'utilisation	0	999
30	Système	contient	Zone dangereuse	0	999
31	Système	est utilisé pour	Mesure de sécurité	0	999
34	Système	génère	Evénement dangereux	0	999
36	Fonction	est remplie par	Système	0	999
37	Fonction	utilise	Solution technique	0	999
38	Fonction	contient	Tâche d'utilisation	0	999
39	Solution technique	est mise en œuvre dans	Système	0	999
40	Solution technique	est utilisée par	Fonction	0	999
41	Solution technique	est concernée par	Tâche d'utilisation	0	999
42	Solution technique	génère	Zone dangereuse	0	999
43	Outillage	est utilisé par	Tâche d'utilisation	0	999
44	Outillage	contient	Zone dangereuse	0	999
45	Tâche d'utilisation	agit sur	Système	0	999
46	Tâche d'utilisation	appartient à	Fonction	0	999
47	Tâche d'utilisation	a un rapport avec	Solution technique	0	999
48	Tâche d'utilisation	utilise	Outillage	0	999
49	Tâche d'utilisation	est réalisée par	Opérateur	0	999
50	Tâche d'utilisation	génère	Risque	0	999
51	Tâche d'utilisation	est utilisée pour	Mesure de sécurité	0	999
52	Opérateur	réalise	Tâche d'utilisation	0	999
54	Opérateur	génère	Evénement dangereux	0	999
56	Risque	existe pendant	Tâche d'utilisation	1	1
57	Risque	se localise dans	Zone dangereuse	1	1
58	Risque	est modifié par	Evénement dangereux	0	999
59	Risque	nécessite	Mesure de sécurité	1	999
60	Phénomène dangereux	existe dans	Zone dangereuse	0	999
61	Zone dangereuse	existe dans	Système	0	999
62	Zone dangereuse	a pour cause	Solution technique	0	999
63	Zone dangereuse	se trouve dans	Outillage	0	999
64	Zone dangereuse	contient	Phénomène dangereux	0	999
65	Zone dangereuse	génère	Risque	0	999
66	Evénement dangereux	est causé par	Système	0	999
67	Evénement dangereux	est causé par	Opérateur	0	999
68	Evénement dangereux	modifie	Risque	0	999
73	Mesure de sécurité	est nécessaire contre	Risque	0	999
74	Mesure de sécurité	utilise	Système	0	999
75	Mesure de sécurité	utilise	Tâche d'utilisation	0	999
84	Tâche d'utilisation	se déroule dans	Zone dangereuse	0	999
85	Zone dangereuse	est atteinte pendant	Tâche d'utilisation	0	999
86	Evénement dangereux	est causé par	Outillage	0	999
87	Outillage	génère	Evénement dangereux	0	999
88	Evénement dangereux	déclenche	Tâche d'utilisation	0	999
89	Tâche d'utilisation	déclenchée par	Evénement dangereux	0	999

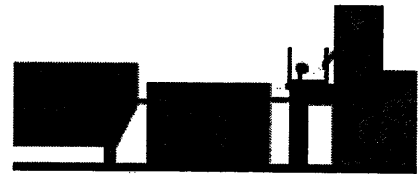
Note : il est normal que la colonne Id ne commence pas à 0. Tous les enregistrements sont malgré tout affichés sur cette page.

Scénario d'utilisation de la maquette informatique

Je présente dans cette annexe quelques scénarii envisageables d'utilisation du modèle de SITUATION DE TRAVAIL, sous la forme d'une démonstration.

L'objectif de cette démonstration est de mettre en évidence quelques possibilités du modèle de SITUATION DE TRAVAIL. Le scénario s'appuie sur un projet réel d'Heidelberg dont l'objectif était d'intégrer un système d'engagement automatique de la bande de papier dans la rotative.

L'étendue de la démonstration est limitée à un seul module de la rotative qui est le refroidisseur. En outre, seuls quelques points particuliers seront évoqués.



On se place au début de la démonstration dans l'état dans lequel on devait être avant le lancement de ce projet. C'est-à-dire que la base de données contient les informations relatives au refroidisseur tel qu'il fonctionne sans le système d'engagement automatique de bande. Cet état de la base de données est enregistré dans :

« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_00\SDT.mdb ».

C'est d'une copie de ce répertoire qu'il faut partir pour exécuter la démonstration. Dans les autres répertoires (_01 à _08) sont enregistrés des états intermédiaires de la base de données au cours de la démonstration. A chaque répertoire correspond une partie de cette annexe. A la fin de la démonstration, la base de données (enregistrée dans « [CD]:\Implantation\Cas

HEIDELBERG\SDT.mdb ») doit décrire ce même module équipé du nouveau système d'engagement.

*Au cours de la démonstration, on ouvre un certain nombre de documents depuis l'outil SITUATION DE TRAVAIL. Pour que cela fonctionne, il faut vérifier dans l'outil que les applications utilisées sont bien référencées grâce à la commande **ENE Applications** de la barre d'outils. Sans cette formalité, on peut quand même dérouler le scénario, mais sans visualiser les documents attachés.*

Notre démonstration commence avec la définition du planning du projet. Comme on l'a vu, on utilise MS Project qui, on le mettra en évidence, est lié à la base de données de Situation de travail. Le planning est relativement simple ; il est composé de deux tâches principales : **pré-études** puis **études**. Cette dernière tâche se décompose elle-même en études **mécaniques**, **software** et **hardware**.

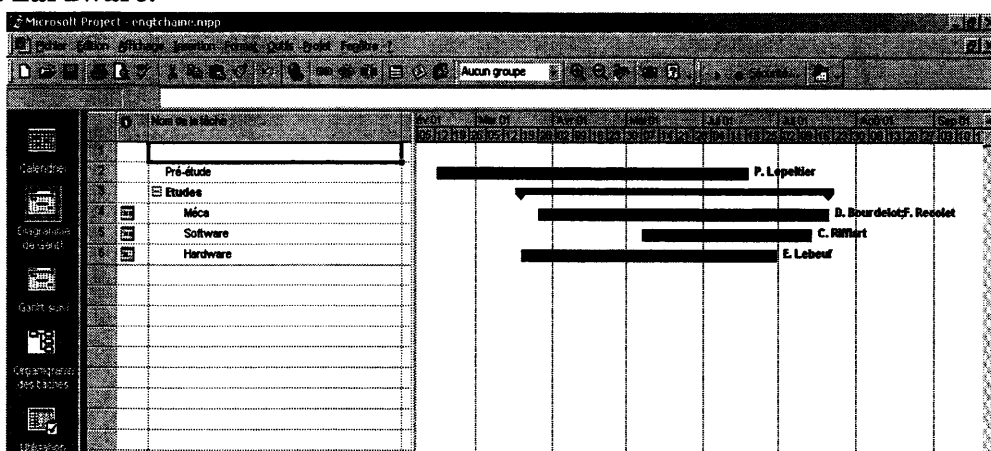


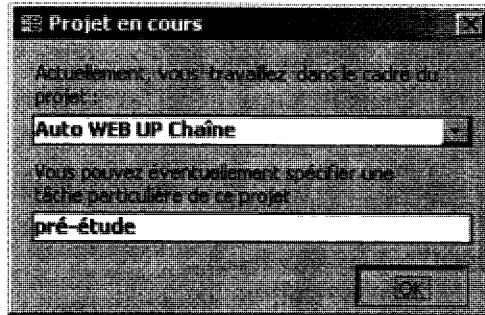
Figure 1 : Définition du planning

1. Une nouvelle fonction

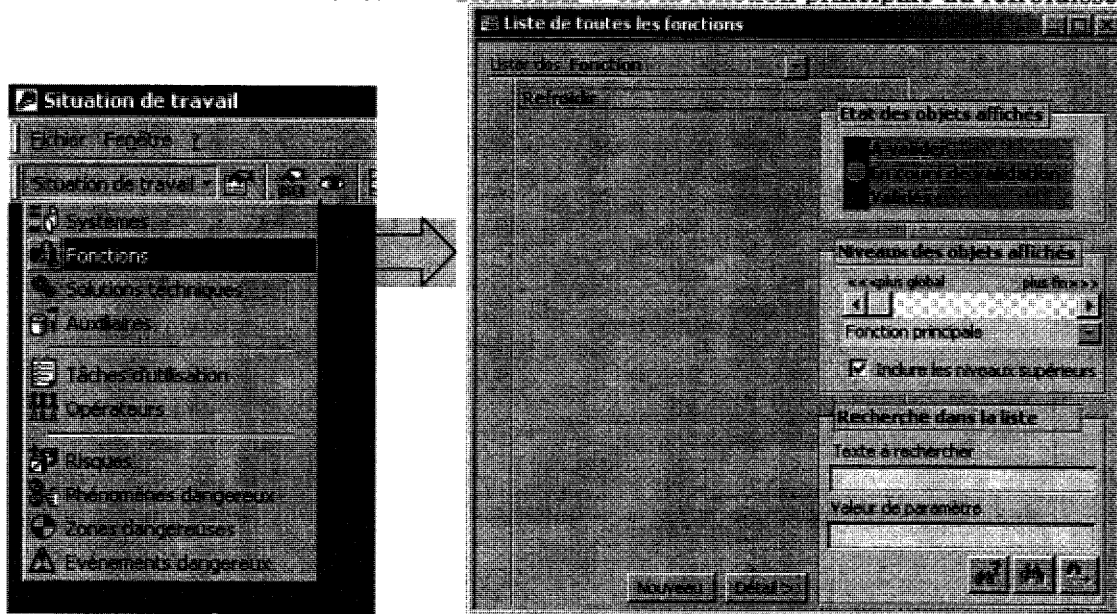
On se place dans la peau du **chef de projet**. On ouvre l'outil SITUATION DE TRAVAIL pour définir la nouvelle fonction d'engagement de bande en sélectionnant le nom d'utilisateur et en cliquant sur **OUVRI**.



On sélectionne alors le projet dans la liste déroulante. On peut également préciser le nom de la tâche particulière du projet sur laquelle on souhaite travailler (attention à respecter l'orthographe définie dans le planning MS Project) puis **OK**.

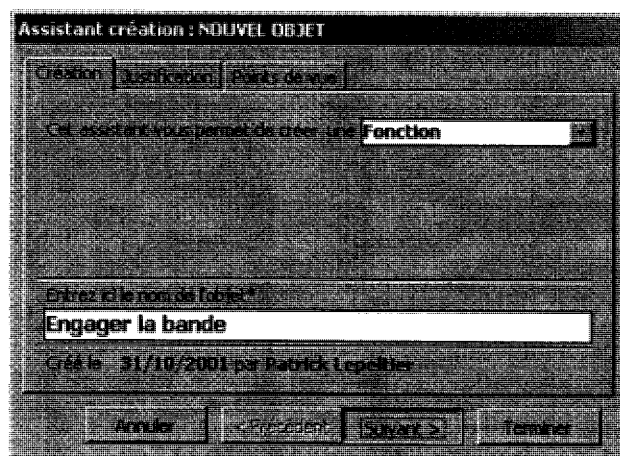


Dans le menu SITUATION DE TRAVAIL, on sélectionne « **Fonctions** » pour accéder à la liste des fonctions enregistrées dans la base de données. On constate qu'actuellement une seule fonction est définie. La fonction « **Refroidir** » est la fonction principale du refroidisseur.



On clique sur **NOUVEAU** pour instancier une nouvelle fonction.


On entre son Nom : « **Engager la bande** », une justification éventuelle sur l'onglet suivant, puis on sélectionne, dans le dernier onglet les points de vue adéquats ; ici les quatre premiers.

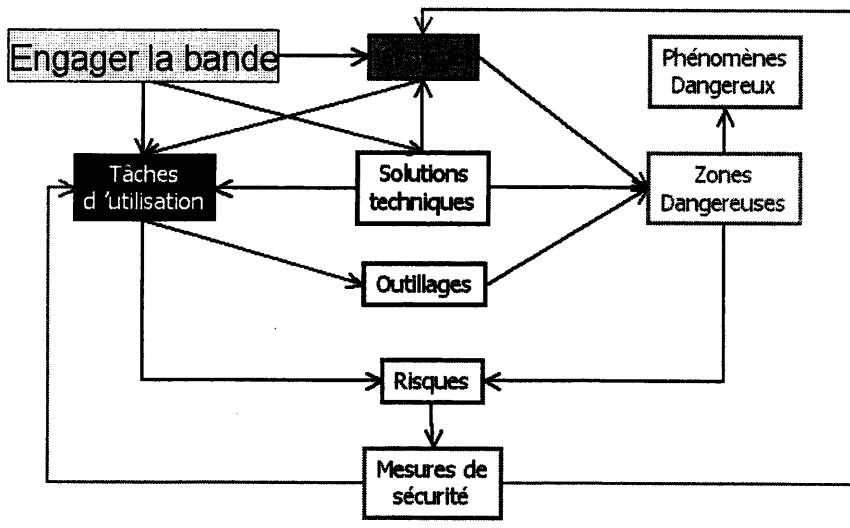


On termine avec le bouton **TERMINER**. Automatiquement, une fenêtre décrivant la fonction précédemment créée s'ouvre. Cette fenêtre présente un certain nombre d'onglets ; **PROPRIETES** contient des commentaires, paramètres ou documents attachés utilisés pour qualifier et quantifier la fonction. **ANALYSE FONCTIONNELLE** décrit, le cas échéant, la

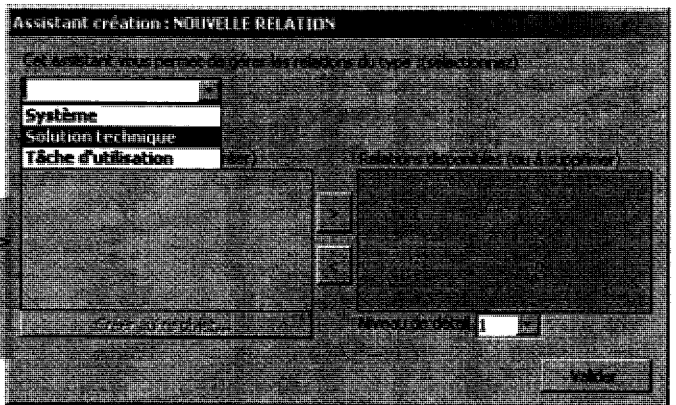
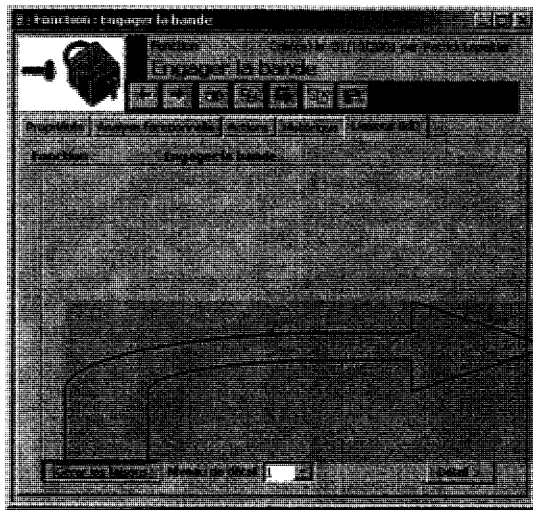
décomposition en sous-fonctions. **ACTIONS** liste l'historique de la conception de cette fonction (cliquez sur les mots « à réaliser », « en cours » et « terminées » pour filtrer les actions correspondantes). **HISTORIQUE** contient les retours clients qui concernent cette fonction.

Enfin, **LIAISONS BDD** contient les relations de l'objet (ici la fonction « Engager la bande ») avec les autres objets du modèle (dans le cas d'une fonction, il peut s'agir de **SYSTEMES**, **SOLUTIONS TECHNIQUES**, ou **TACHES D'UTILISATION** conformément au modèle de SITUATION DE TRAVAIL dont on voit une représentation simplifiée en bas de cette page).

 De manière générale, lorsqu'apparaît une liste, il est souvent possible de visualiser les objets en les sélectionnant et en cliquant sur le bouton **DETAILS...** ou plus directement en double-cliquant sur l'objet souhaité de la liste. S'il existe, le bouton **NOUVEAU** permet d'ajouter un élément à la liste.




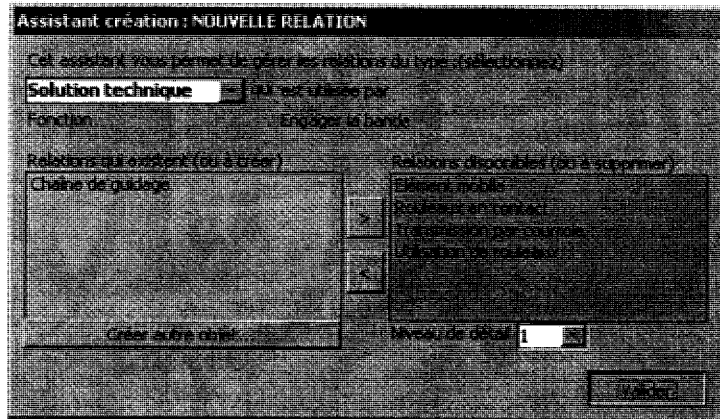
Dans l'onglet **LIAISONS BDD**, on clique **GERER LES LIAISONS**. Dans l'assistant qui s'ouvre se trouve une liste déroulante. Elle contient les différents types d'objets pouvant être liés à une fonction.



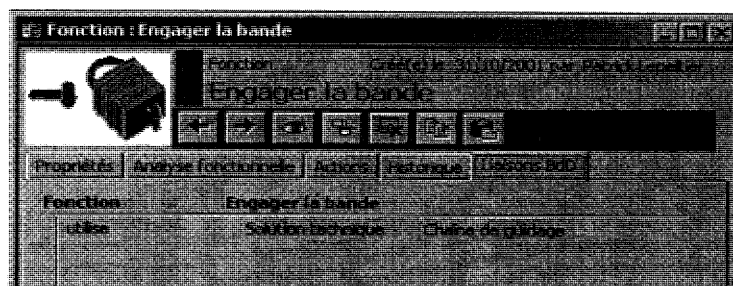
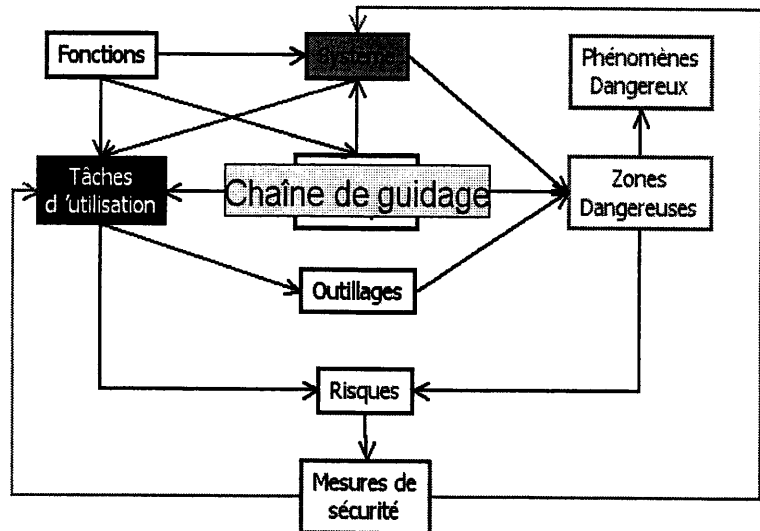
Sélectionnons « **Solution technique** ». Dans la liste rouge de droite sont listées les solutions techniques définies dans la base de données. La liste bleue contient celles qui sont effectivement liées à la fonction « Engager la bande » (pour l'instant aucune). On souhaite définir que la fonction « Engager la bande » utilise la solution technique « **Chaîne de**

guidage ». Cette solution technique a déjà été définie (elle apparaît dans la liste rouge). Si ce n'était pas le cas, il aurait fallu la créer en cliquant sur **CREER AUTRE OBJET...**

Sélectionnons la solution technique « **Chaîne de guidage** » dans la liste de droite puis cliquons sur le bouton  au centre (on peut aussi double-cliquer sur « **Chaîne de guidage** »). Cette solution passe dans la colonne de gauche et sera effectivement liée à la fonction « **Engager la bande** » en cliquant sur **VALIDER**.

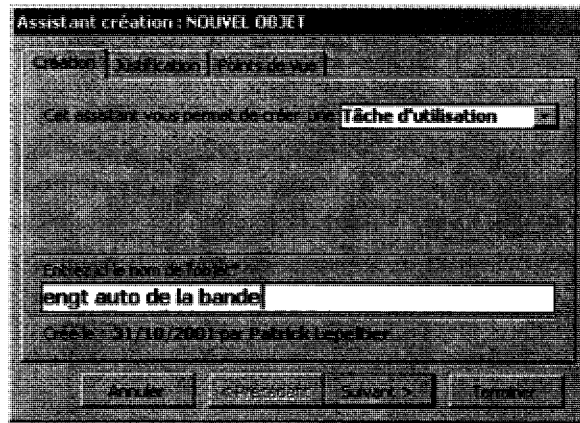


Cliquons sur **VALIDER**. Quelques fenêtres semblent apparaître furtivement. Cela correspond à la recherche de mise en cohérence du modèle que l'on mettra mieux en évidence un peu plus loin (Pour plus d'informations reportez-vous au paragraphe 6.7.3 du rapport). A l'issue de la mise à jour, on peut lire dans l'onglet **LIAISONS BDD** : « La fonction Engager la bande utilise la solution technique Chaîne de guidage ».

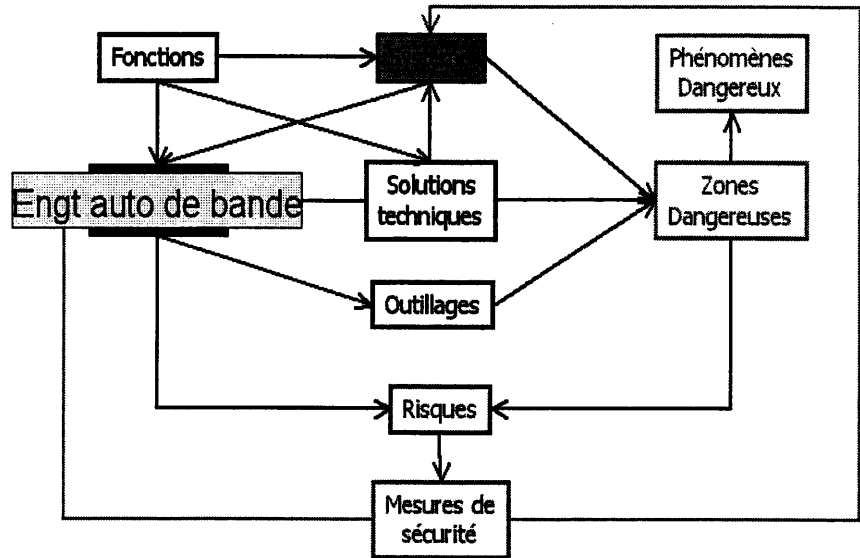


Fermons les fenêtres de la fonction « **Engager la bande** » et de la liste des fonctions. Nous allons maintenant intégrer les spécifications de la séquence automatique d'engagement de bande en créant une nouvelle tâche.

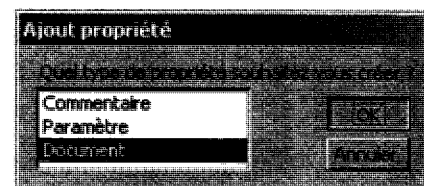
Sélectionnons « **Tâche d'utilisation** » dans le menu SITUATION DE TRAVAIL. Des tâches relativement génériques ont déjà été définies. Cliquons sur **NOUVEAU** pour définir la tâche « **Engt auto de la bande** ». Validons en cliquant **TERMINER** après avoir correctement défini les points de vue.

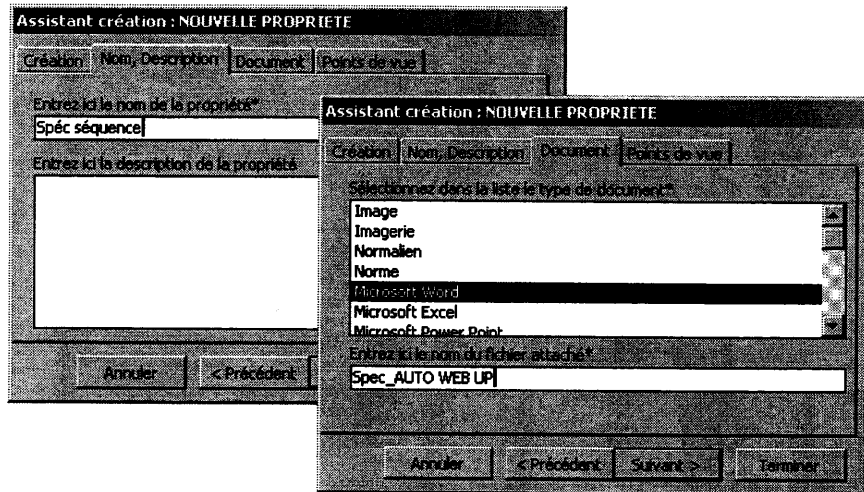


Dans l'onglet **PROPRIETE**, cliquons sur **NOUVEAU DOCUMENT** pour attacher un document dont le nom est « **Spéc séquence** », le type « **Microsoft Word** » et le fichier « **Spec_AUTO WEB UP** » (ce document est déjà présent dans le répertoire « **Documents** »).

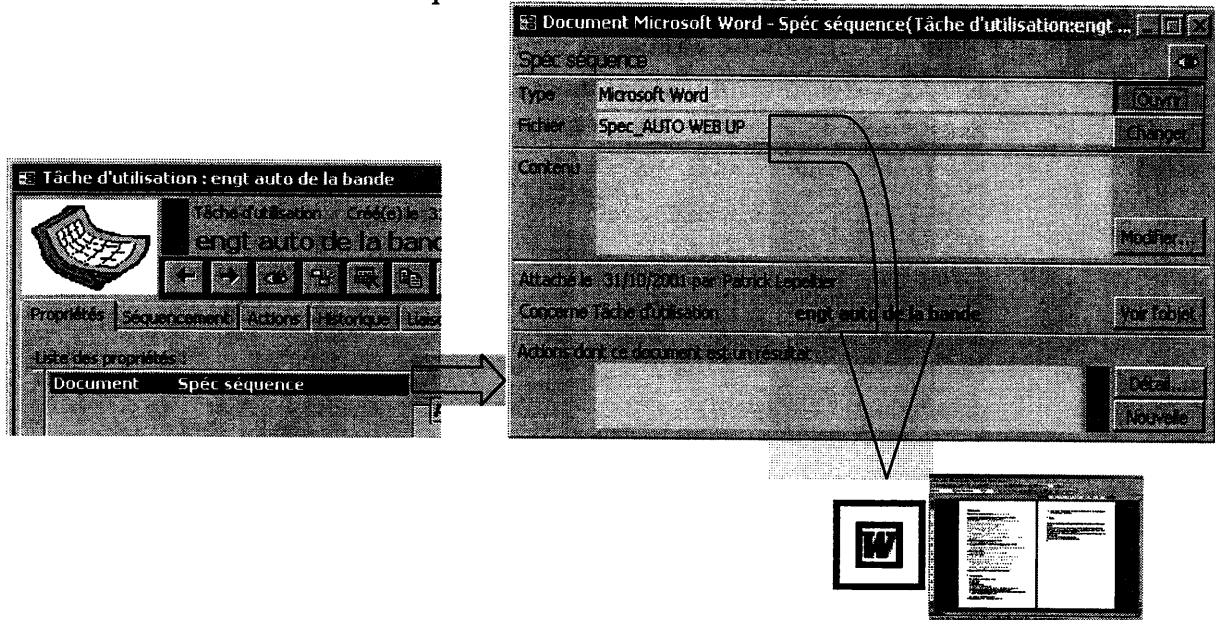



L'extension ne doit pas être incluse ; Elle est automatiquement ajoutée lors de l'ouverture). Validons avec **TERMINER**. Ce document apparaît désormais dans la liste.



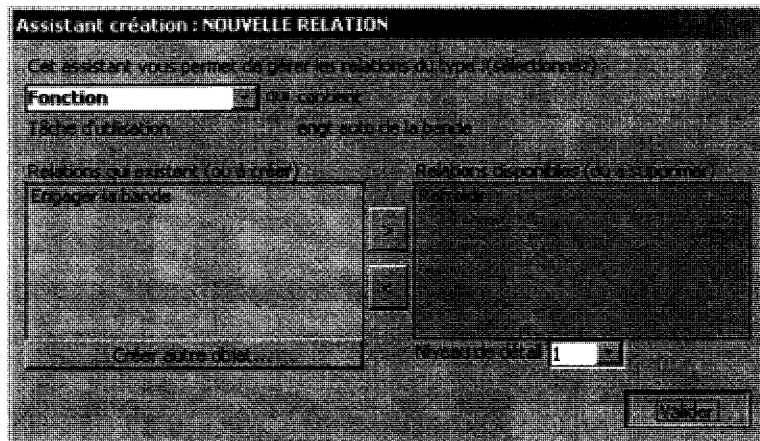



Par double-clic dans la liste des propriétés on peut voir le détail du document que l'on vient d'attacher. Le bouton **OUVRI** permet de visualiser le fichier.

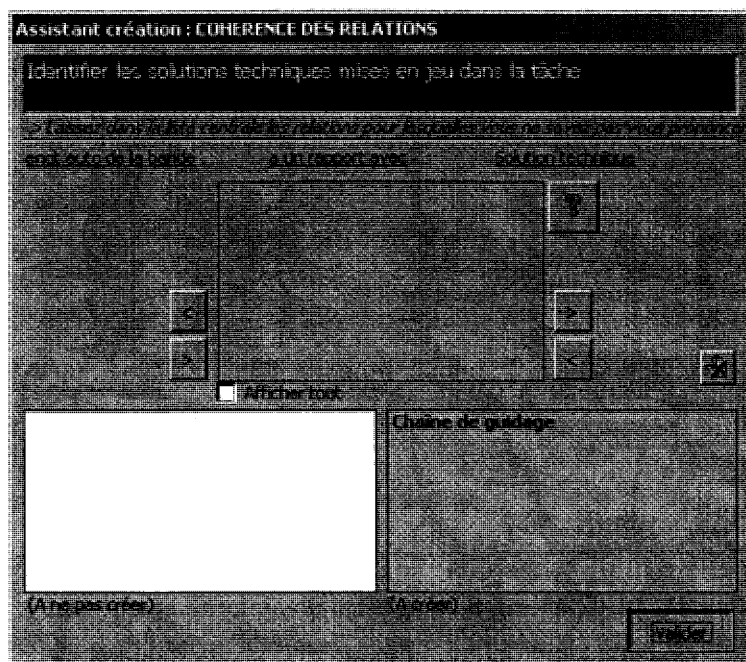


 La définition des tâches est, dans la maquette, relativement précaire. Elles sont nécessairement considérées comme une suite linéaire d'actions éventuellement séparées par une **CONDITION** (qui doit être remplie pour passer d'une étape à la suivante). La décomposition en sous-tâches n'est pas gérée. Dans notre cas, on n'utilise même pas le séquençage en ne définissant que la tâche globale (Engagement de la bande). C'est le contenu du document attaché qui donne le détail. Par suite, l'analyse de cette tâche ne pourra pas être très fine. Par exemple, si un risque est identifié au cours de la séquence d'engagement de bande, on ne pourra pas préciser dans la base de données quelle étape précise de la séquence génère le problème. Le risque ne contiendra au mieux qu'une mention littérale précisant le moment de la séquence concerné par le danger.


Revenons à la fenêtre de la tâche automatique d'engagement de la bande en fermant la fenêtre document. Dans l'onglet **LIAISON BDD** on clique sur **GERER LES LIAISONS**. On souhaite ici imposer que la tâche automatisée que l'on vient de définir fasse partie de la fonction « Engager la bande ». On sélectionne **FONCTION** dans la liste déroulante puis on place « Engager la bande » dans la liste de gauche.




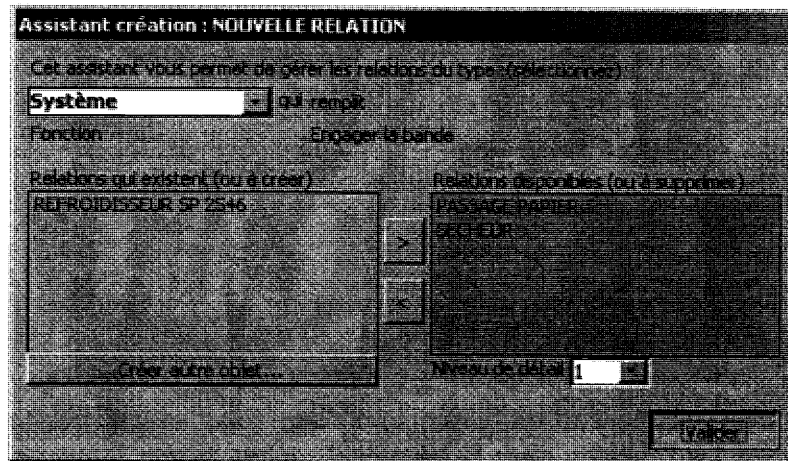
Validons. Cette fois, la recherche de mise en cohérence du modèle aboutit à des « questions ». La première est « l'engagement automatique de la bande a-t-elle un rapport avec la solution technique Chaîne de guidage ? ». Autrement dit, est-ce que je dois créer un lien entre la tâche « engt auto de la bande » et la solution « chaîne de guidage » ? Ici la réponse est OUI. Pour cela, on place la solution « Chaîne de guidage » dans la liste bleue située en bas à droite en cliquant sur le bouton  correspondant (Ou par un double-clic) puis on valide.





Une seconde question apparaît. La tâche définie se déroule-t-elle dans les zones dangereuses citées ? La tâche, comme elle a été définie (c'est-à-dire automatisée), ne doit pas faire intervenir l'opérateur dans une zone dangereuse ; en tout cas dans le fonctionnement nominal. On répond donc NON aux deux questions en les plaçant dans la liste de gauche puis en validant.

 Pour mettre en évidence qu'un risque peut apparaître si une personne est présente dans le refroidisseur pendant le cycle d'engagement de la bande, on utilisera la tâche générique « **Présence dans le refroidisseur** » qui est déjà enregistrée dans la base. Là encore des améliorations sont à apporter concernant la prise en compte des problèmes de simultanéité de tâches ou de coordination d'opérations.


Pour finir cette première phase d'instanciation de la nouvelle fonction, on va préciser qu'elle est réalisée par le système « **Refroidisseur** ». Pour cela, on ferme d'abord toutes les fenêtres ouvertes (on peut utiliser pour cela le bouton  de la barre d'outils). Dans le menu SITUATION DE TRAVAIL, on sélectionne **Fonctions** pour ouvrir la fonction « **Engager la bande** ». Dans l'onglet **LIAISON BDD**, on clique **GERER LES LIAISONS** puis on sélectionne **Système** dans la liste déroulante. Plaçons le système « **REFROIDISSEUR SP2546** » dans la colonne de gauche.

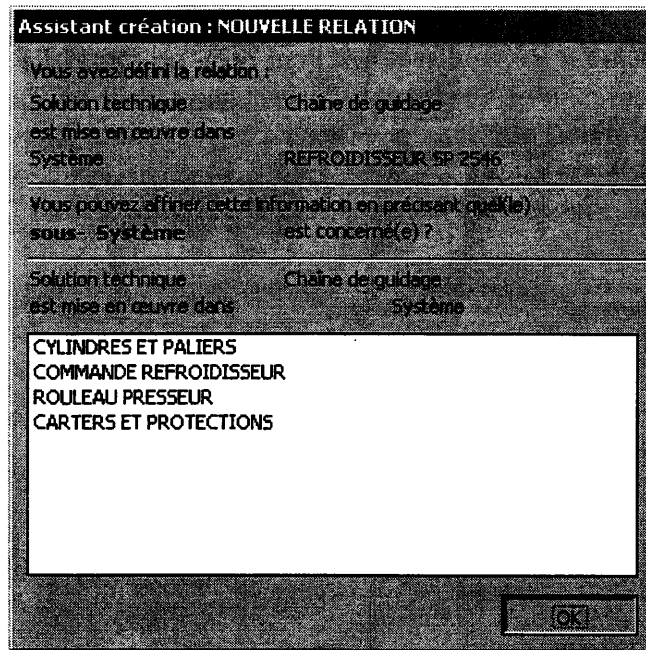


 *Seul le refroidisseur est relativement détaillé. Les deux autres modules enregistrés (sècheur et passage papier) font de la « figuration ».*

 *Vous pouvez utiliser l'option **NIVEAU DE DETAIL** pour affiner une recherche. Au niveau 1 (par défaut), seuls les modules apparaissent. Au niveau 2 on ajoute les organes (ici seuls ceux du refroidisseur sont enregistrés) etc... Dans notre cas, c'est tout le refroidisseur qui est concerné par la fonction qui est transversale mais il serait possible de préciser que la fonction soit réalisée par un organe particulier (L'organe **ENGAGEMENT DE BANDE** n'étant pas encore défini, on utilise au mieux les informations existantes pour l'instant en associant globalement la fonction à l'ensemble du refroidisseur).*

Après avoir validé, l'outil pose de nouveau les questions de cohérence. On peut ainsi préciser que le refroidisseur intègre la solution technique « **Chaîne de guidage** », que la chaîne n'est pas utilisée pour la fonction « **refroidir** » etc...

 *Un autre de type de question peut également être posé. Lorsqu'on lie un objet à un autre (un système par exemple), l'outil demande s'il faut lier l'objet aux sous-systèmes. Ici, par exemple, est-ce que la fonction « **Engager la bande** » est réalisée par un organe particulier du refroidisseur ? La fenêtre dans laquelle sont posées ces questions comporte une liste qui affiche les objets potentiellement liables qui ne le sont pas déjà (ici la liste des organes du refroidisseur). Pour répondre, il faut sélectionner les organes concernés et laisser désélectionnés les autres puis valider. Pour sélectionner plusieurs éléments utilisez les touches MAJ et/ou CTRL. Dans l'exemple cité, il faut tout laisser désélectionné puis valider.*







Le nombre de questions posées est assez important mais toutes ces informations sont nécessaires pour que les relations dans la base de données restent à jour et cohérentes entre elles. Le résultat est enregistré sur le CD-ROM dans l'état intermédiaire :

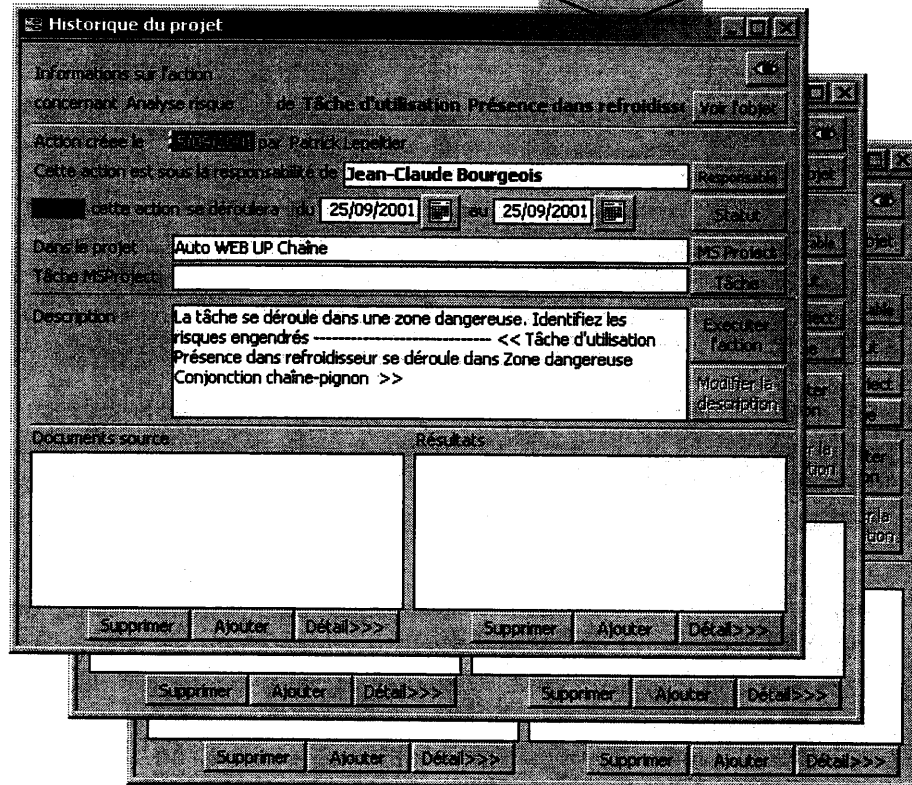
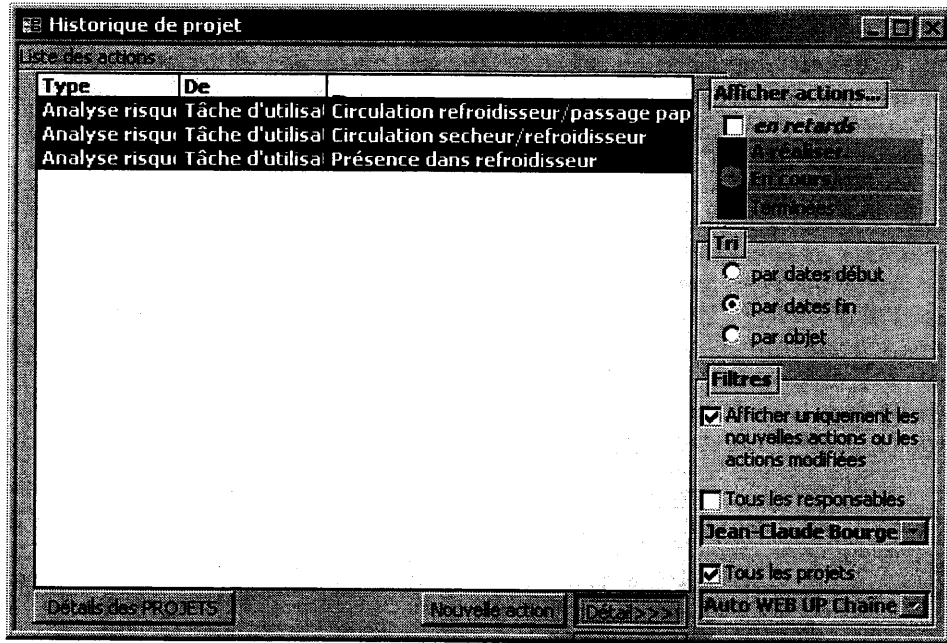
« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_01\SDT.mdb ».

2. Les premières appréciations du risque

Nous nous plaçons cette fois dans la peau du responsable sécurité.



Cliquons sur le bouton  (dans la barre d'outils) qui permet d'afficher la liste des actions. On constate alors que le **responsable sécurité** a trois actions à réaliser (Par défaut, seules les actions en cours -  - ou à réaliser -  - sont affichées et les actions terminées -  - sont masquées). Sélectionnons les trois éléments de la liste et cliquons sur **Détails** pour visualiser le contenu de ces actions.



Les renseignements donnés par le chef de projet dans la partie précédente ont conduit le système à identifier des risques potentiels (qui sont le résultat du déroulement de tâches d'utilisation dans des zones dangereuses).

Cliquons sur le bouton **Exécuter l'action** pour poursuivre. Une fenêtre d'appréciation du risque s'ouvre.

✂ L'appréciation du risque est ici réduite à sa plus simple expression. On retrouve les deux parties élémentaires que représentent l'identification puis l'estimation. A savoir qu'une première identification a été réalisée par le système lui-même qui a détecté un risque potentiel. Ce risque a conduit à la mise en place d'une action de contrôle. La partie de gauche de la fenêtre rappelle l'origine de ce risque. A droite, le cadre supérieur poursuit l'identification en demandant à l'utilisateur de confirmer si ce risque est bien réel. Le cadre inférieur contient l'estimation qui reste ici binaire (le risque, s'il existe, est-il acceptable ou non ?). L'utilisateur a donc à charge de répondre à cette question par des moyens externes à l'outil. On pourrait imaginer ici une notation du risque grâce aux différents éléments du modèle (fréquence d'exposition, durée, gravité ... comme on le trouve par exemple dans la norme EN 1050) accompagnée de la définition de seuils d'alerte à partir desquels le risque ne sera plus accepté.

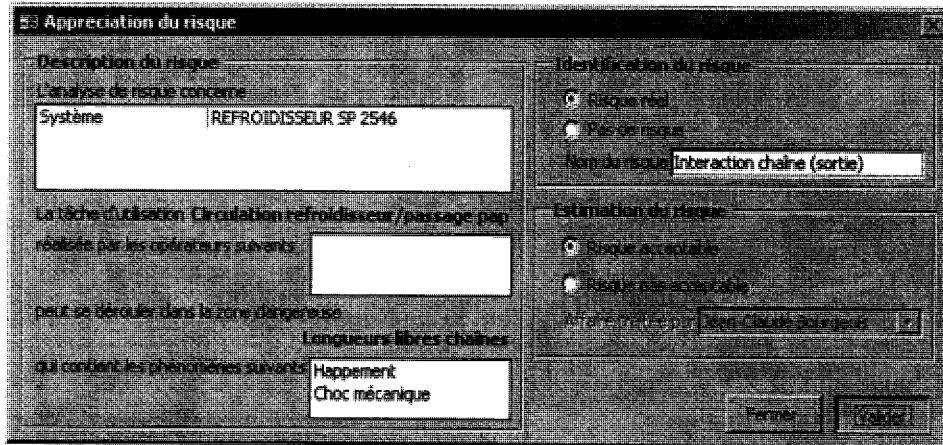
Le premier risque détecté concerne le risque de happement par la chaîne à l'intérieur du refroidisseur (en cas de présence intempestive pendant le fonctionnement).

The screenshot shows a software window titled "Appréciation du risque". It is divided into two main sections: "Description du risque" on the left and "Identification du risque" on the right. In the "Description" section, the risk is identified as "Système | REFRIGERISSEUR SP 2546". The task is "Présence dans refroidisseur" and the action is "Ecrasement/Avalement". The "Identification" section has radio buttons for "Risque réel" (selected) and "Pas de risque". The risk name is "Avalement par chaîne" and the person handling it is "Jean-Claude Bourgeois". There are "Fermer" and "Valider" buttons at the bottom right.

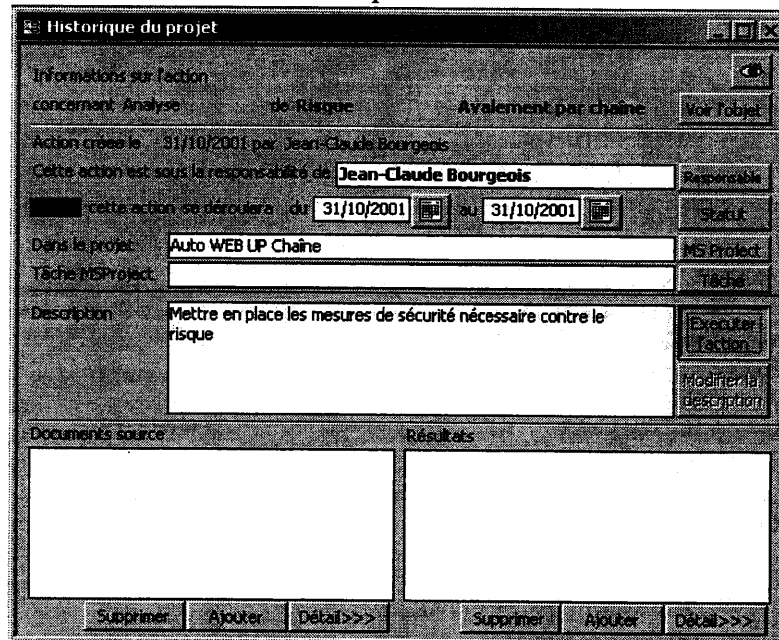
Ce risque est bien réel. On le nomme donc « **Avalement par chaîne** » puis on décide qu'il n'est pas acceptable. On laisse inchangé le responsable de la suite à donner défini par défaut (à savoir le **responsable sécurité**). Enfin, on valide. La fenêtre se ferme et on se retrouve dans la fenêtre de l'action dont le statut est passé de **rouge** à **vert**. On peut donc fermer cette fenêtre.

On poursuit ainsi en exécutant les deux autres actions. On décide que le risque de happement par la chaîne entre le sécheur et le refroidisseur est réel (nommé « **Interaction chaîne (entrée)** ») et n'est pas acceptable. Enfin le risque de happement par la chaîne entre le refroidisseur et le passage papier est réel (nommé « **Interaction chaîne (sortie)** ») mais est cette fois acceptable parce que la chaîne est située à plus de 2 mètres de hauteur.

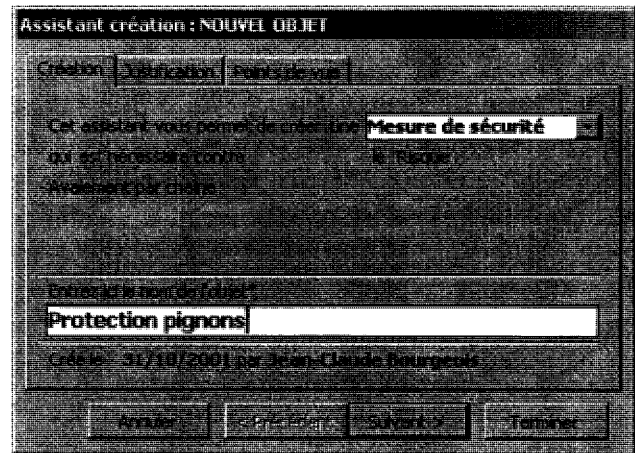
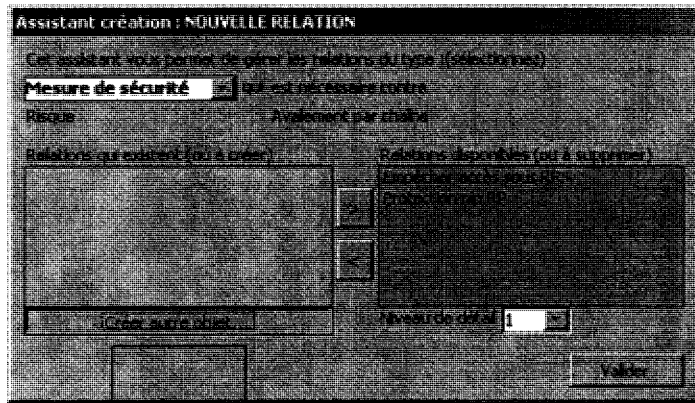
This screenshot shows the same "Appréciation du risque" window but with updated information. The risk name is now "Interaction chaîne (entrée)". The "Identification" section still has "Risque réel" selected. The person handling it remains "Jean-Claude Bourgeois". The "Description" section now lists "Happement" and "Choc mécanique" as the phenomena. The "Fermer" and "Valider" buttons are still present at the bottom right.




Après avoir tout validé, on constate que deux nouvelles actions sont apparues dans la fenêtre **Historique de projet**. Ces tâches doivent donner suite aux risques qui ont été déclarés non-acceptables et demandent de mettre en place des mesures de sécurité, c'est-à-dire de créer des objets de la classe **Mesure de sécurité** dans le modèle de SITUATION DE TRAVAIL. Ouvrons ces deux tâches en les sélectionnant et en cliquant **Détail**.



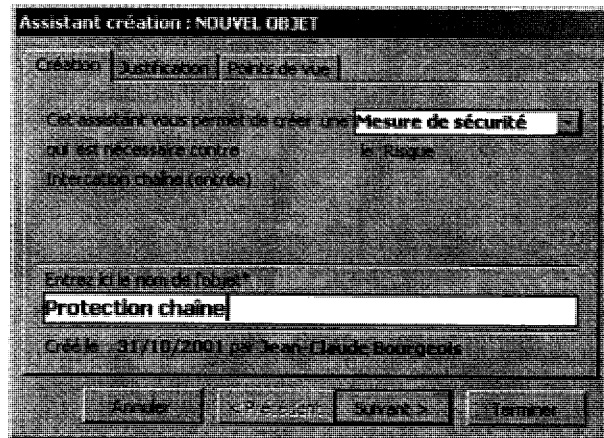
Exécutons l'action qui concerne le risque d'avalement par la chaîne en cliquant **Exécuter l'action**. La fenêtre qui s'ouvre alors propose de lier au risque une ou plusieurs mesures de sécurité. Dans la liste rouge on retrouve deux mesures déjà installées sur le refroidisseur. La mesure que l'on doit ajouter est nouvelle et on clique donc **Créer autre objet...** pour créer une mesure nommée « **Protection pignons** » dont les points de vues sont **Mécanique des groupes** et **Sécurité**.



 Dans le modèle de Situation de travail, la classe **Mesure de sécurité** est liée à **Tâche d'utilisation** et à **Système**. Cela traduit le fait qu'une mesure de sécurité peut se retrouver finalement sous deux formes : Des carters et protections physiques, électriques ou électroniques (Systèmes) ou des préconisations et des séquences particulières (Tâches – par exemple, devoir maintenir deux boutons appuyés pour exécuter une séquence automatique...). Ainsi, en particulier après la création d'une mesure de sécurité, le système demande si cette mesure utilise une tâche donnée (c'est-à-dire est-ce que la tâche contribue à réaliser la mesure de sécurité et est-ce que par conséquent une modification de la tâche peut compromettre l'efficacité de la mesure ?) ou si la mesure utilise un système donné (est-ce que la suppression du système limite ou anéantit la mesure de sécurité ?). Un élément de la classe **Mesure de sécurité** n'est que l'idée de la protection du risque mais la réalisation de cette idée et sa mise en pratique se retrouvent dans les concepts de **Tâche d'utilisation** et de **Système**.

Dans notre cas, il faut répondre **NON** à la question « est-ce que la protection des pignons utilise la tâche « **Présence dans le refroidisseur** » ? » (colonne de gauche). Après validation, on peut fermer l'action qui est maintenant terminée -■-.

Exécutons de la même façon la seconde action qui concerne le risque d'interaction avec la chaîne en entrée du refroidisseur en créant une mesure nommée « **Protection chaîne** ».

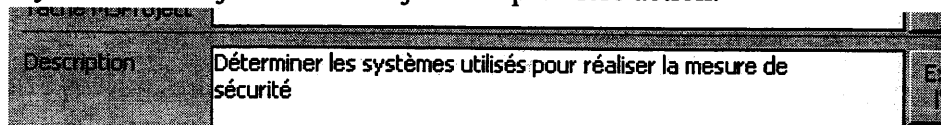


Là encore, on répond **NON** à la question posée après validation. Puis on ferme la fenêtre de l'action maintenant achevée -■-■-. On découvre ainsi dans la fenêtre **Historique du projet** que la réalisation des deux précédentes actions a généré quatre actions de contrôle. En fait, pour chacune des deux mesures de sécurité créées, on demande de désigner ou développer les tâches d'utilisation et/ou les systèmes utilisés pour mettre en œuvre la mesure.

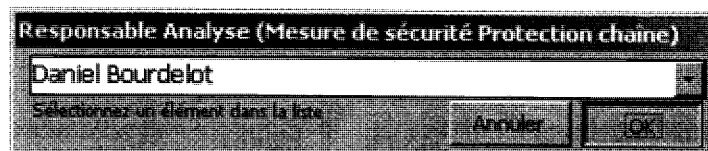
Sélectionnons dans un premier temps les deux actions qui concernent la protection de la chaîne et visualisons-les grâce au bouton **Détail**.

Type	De	
Analyse	Mesure de séci	Protection chaîne
Analyse	Mesure de séci	Protection chaîne
Analyse	Mesure de séci	Protection pignons
Analyse	Mesure de séci	Protection pignons

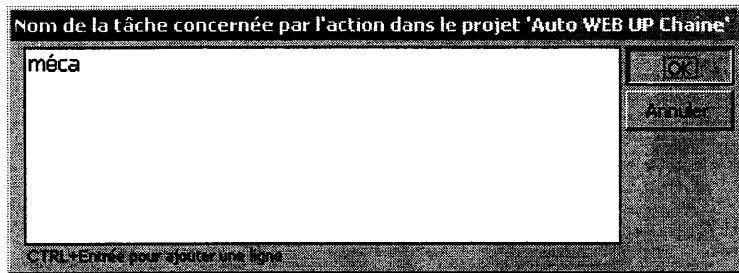
Cette mesure nécessite la mise en place d'un carter pour isoler la chaîne. Il s'agit donc d'un élément de système. C'est justement l'objet de la première action.



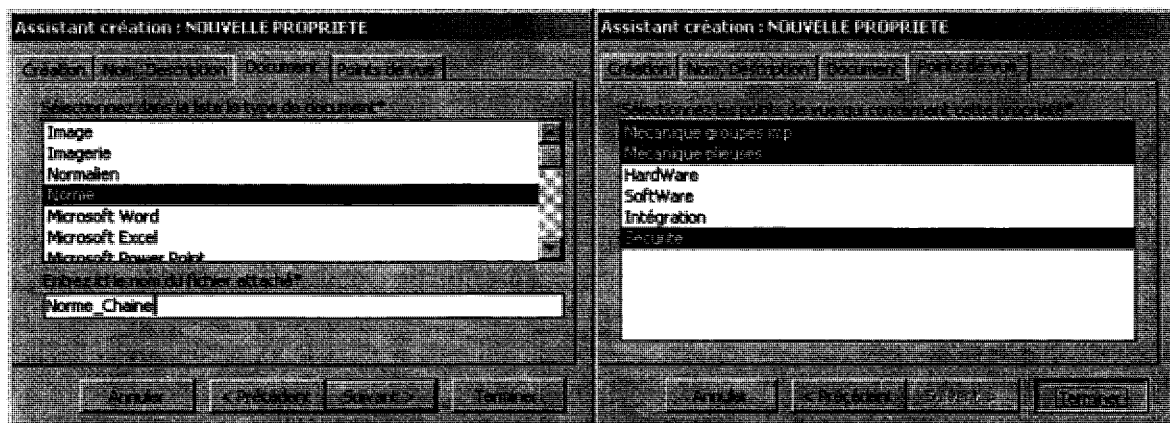
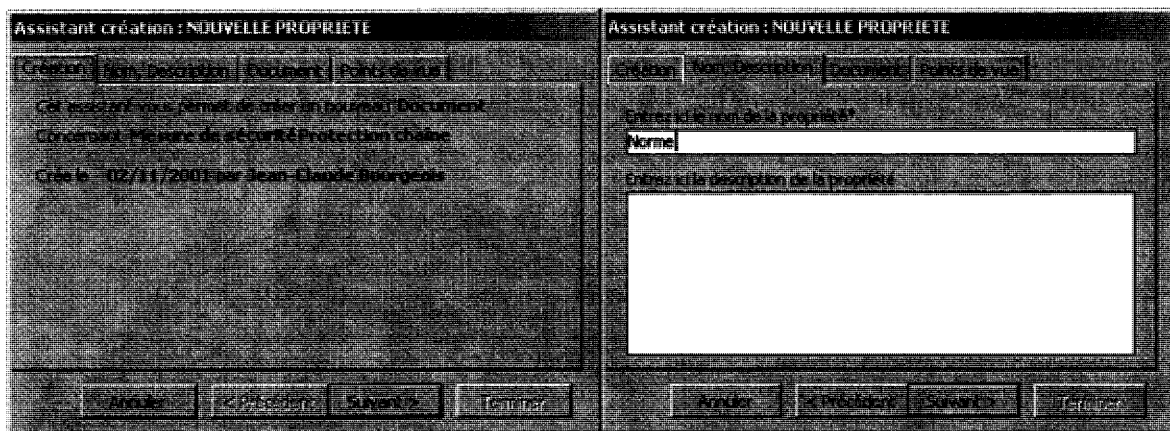
Ce n'est pas le responsable sécurité qui doit réaliser cette action. En revanche, il peut transmettre le problème à la bonne personne, à savoir le responsable des développements mécaniques du projet. Pour cela, on utilise le bouton **Responsable** pour changer le destinataire de l'action.



En outre, on peut préciser que ce travail fait partie des développements mécaniques en cliquant **Tâche** et en entrant « méca » qui est le nom de la tâche correspondante dans le planning MS Project.

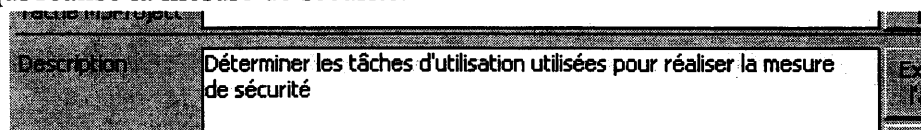


On peut aller plus loin pour aider le développeur dans son travail en attachant un document de la norme concernant l'utilisation de chaînes et pignons. Pour cela on utilise la commande **Voir l'objet...** qui nous amène à une fenêtre décrivant la mesure de sécurité « **Protection chaîne** ». Dans l'onglet **PROPRIETE**, on clique **Nouveau** puis on sélectionne **Document**. Ce document attaché s'appelle « **Norme** », de type **Norme** et le fichier est « **Norme_Chaine** ».

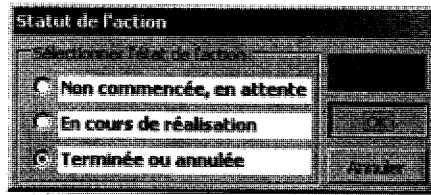


On peut maintenant fermer l'objet « **Mesure de sécurité** » et l'action qui apparaîtra ainsi dans la liste des actions à réaliser du responsable des développements mécaniques.

L'autre action, concernant la protection de la chaîne, demande de définir une tâche d'utilisation qui réalise la mesure de sécurité.



Ce problème n'a pas d'objet ici et on peut annuler l'action en définissant son statut comme **terminé** grâce au bouton **Statut** puis on ferme l'action.



Il reste à faire le même travail pour la protection des pignons en définissant :

- L'action d'analyse dans la tâche « **méca** » du planning MS Project pour le même responsable que précédemment.
- Un commentaire nommé « **Couleur** » et contenant par exemple « **La protection doit être jaune & noire pour signaler le danger** » attaché à la mesure de sécurité **Protection pignons**.

Les opérations effectuées jusqu'ici génèrent la base de données intermédiaire :

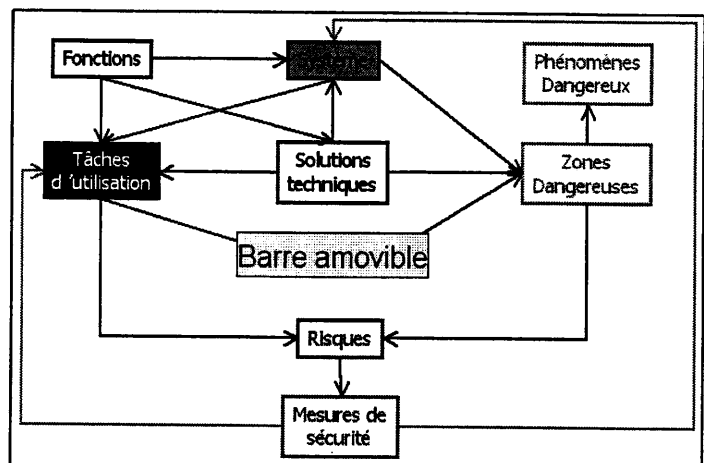
« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_02\SDT.mdb ».

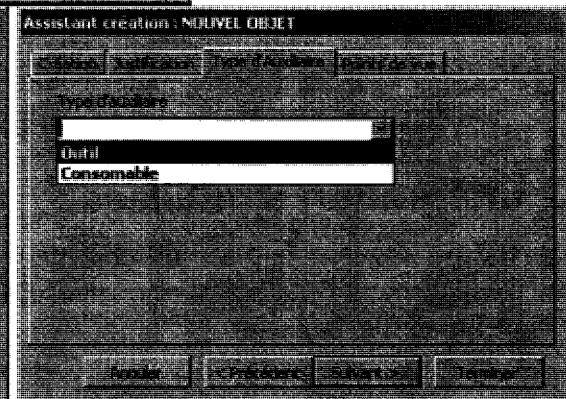
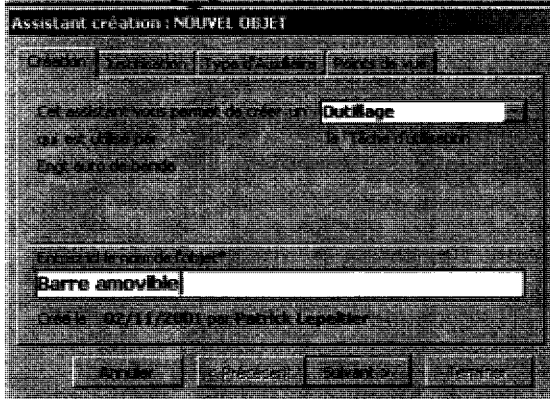
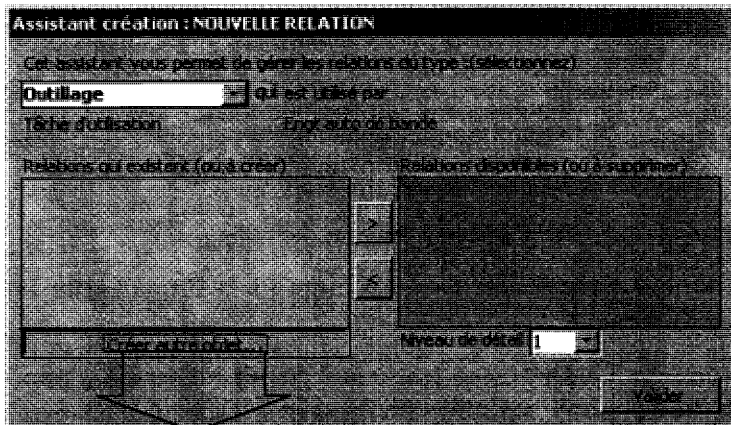
3. Intégration d'outillage


On prend de nouveau la place du **chef de projet**. On souhaite maintenant exprimer que la tâche d'engagement de la bande nécessite l'utilisation d'un outillage qui est une barre amovible sur laquelle on fixe la papier.

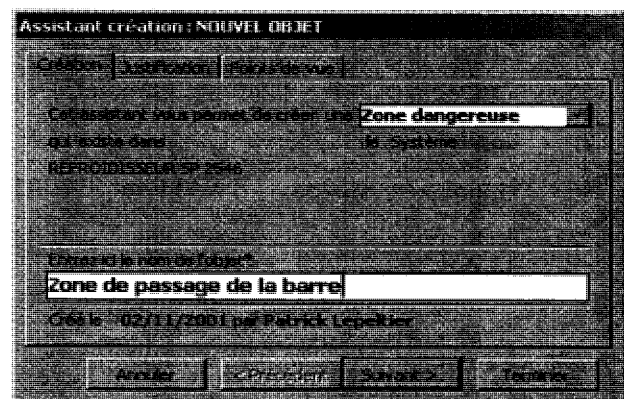
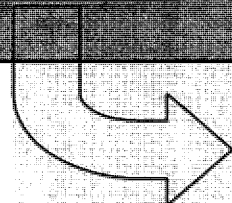
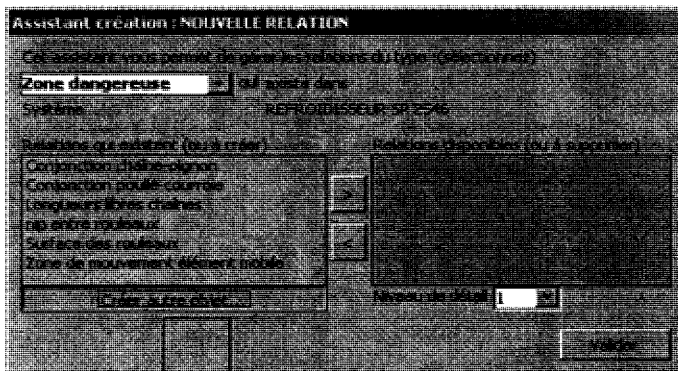
Pour cela, après avoir ouvert la base de données, on sélectionne **Tâches d'utilisation** dans le menu SITUATION DE TRAVAIL. Puis on double-clique « **engt auto de la bande** ».

A partir de l'onglet **LIAISON BDD**, fonction **GERER LES LIAISONS**, on sélectionne « **Outillage** » puis on clique **Créer autre objet...** pour définir un outil nommé « **Barre amovible** ». Le type d'outillage est **Outil** et le point de vue **Mécanique groupes imprimants**.




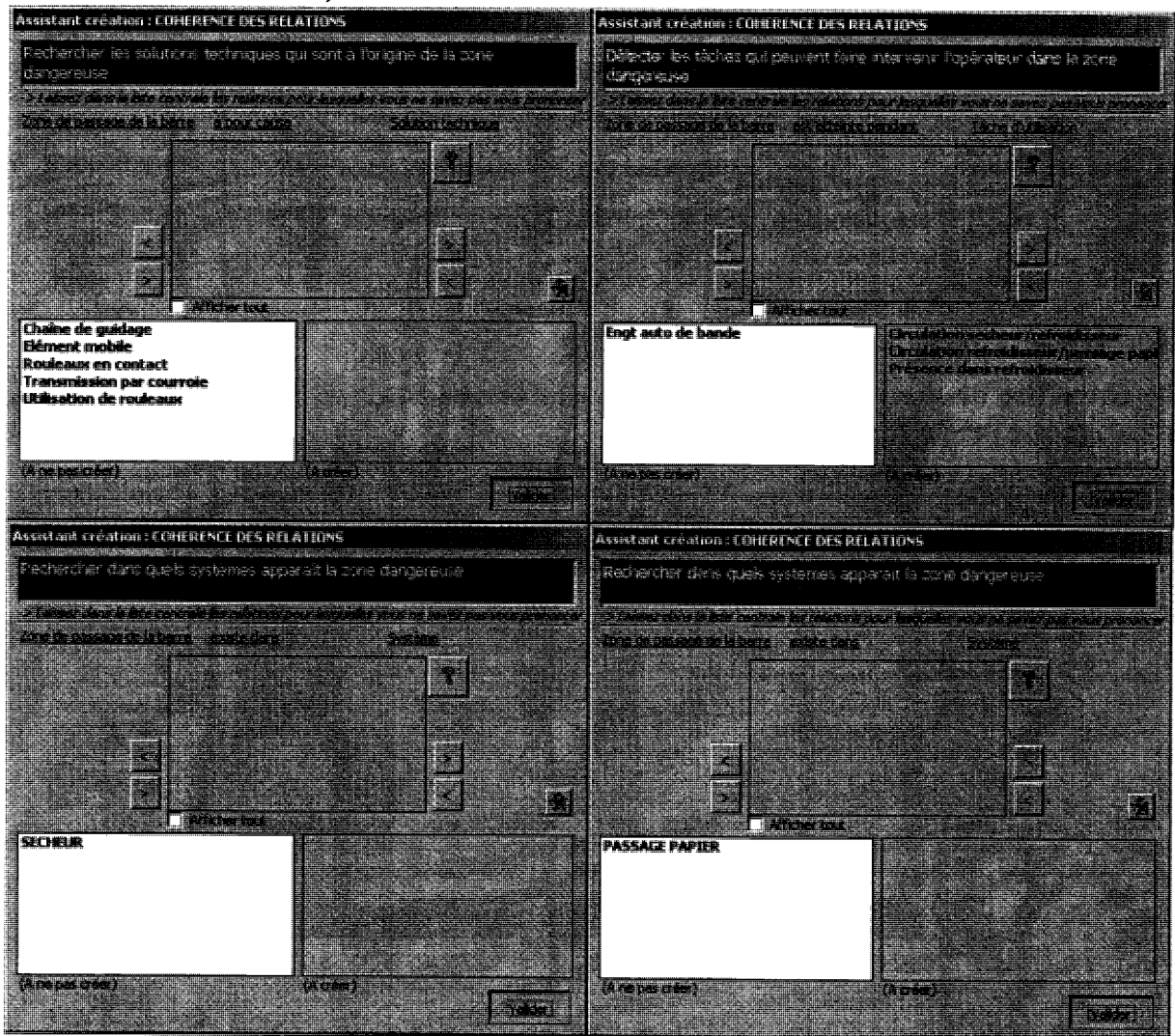


L'utilisation de cette barre génère alors sur son passage une nouvelle **zone dangereuse** dans le refroidisseur. Fermons toutes les fenêtres -  - puis ouvrons le système **REFROIDISSEUR SP2546**. Dans l'onglet **LIAISON BDD**, on clique **GERER LES LIAISONS** puis on sélectionne **Zone Dangereuse**. Dans la colonne bleue de gauche apparaissent les différentes zones déjà définies. On clique **Créer autre objet**, pour définir une zone appelée « **Zone de passage de la barre** ».

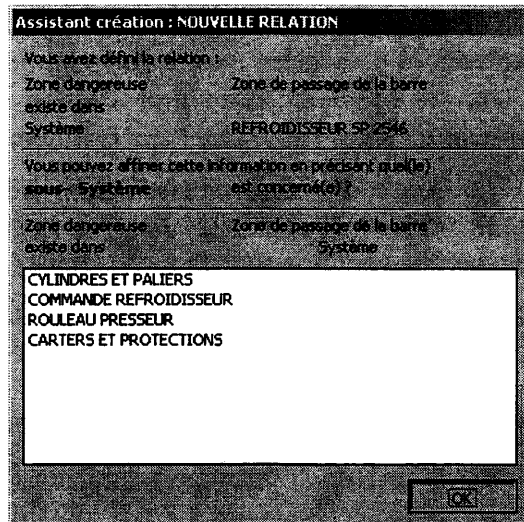


Après validation il faut répondre aux questions de cohérence (voir page suivante) :

- Aucune des solutions techniques présentées n'est à l'origine de la zone dangereuse (*il est possible de déplacer toutes les solutions techniques dans la colonne de gauche en une seule fois en les sélectionnant toutes et en cliquant sur le bouton  de gauche*).
- La zone peut être atteinte pendant les tâches de circulation autour du refroidisseur ou de présence à l'intérieur du refroidisseur (trois tâches à mettre dans la colonne de droite) mais pas pendant la tâche d'engagement automatique (à mettre dans la colonne de gauche).
- On répond que la zone dangereuse n'existe pas dans le **SECHEUR** pour simplifier car dans le cadre de la démonstration, on étudie seulement le refroidisseur (idem pour le **PASSAGE PAPIER**).



Enfin, la zone dangereuse de passage de la barre n'est pas liée à un organe particulier du refroidisseur donc on n'en sélectionne aucun et on valide.

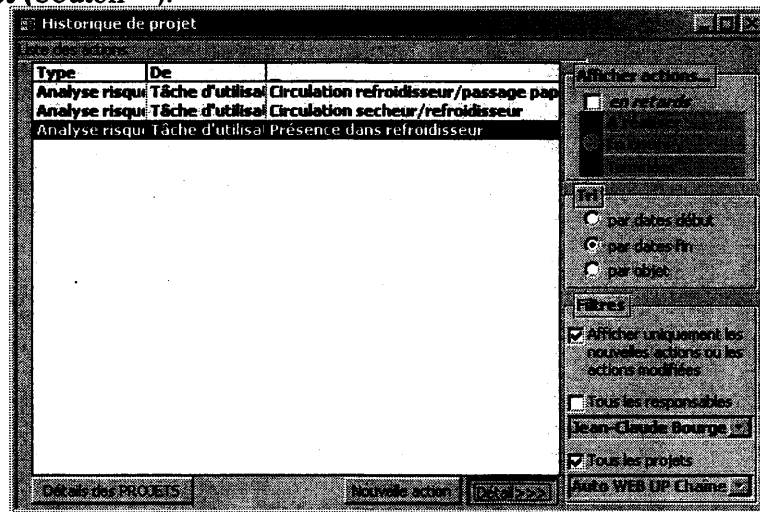


Cet état correspond à celui enregistré dans :

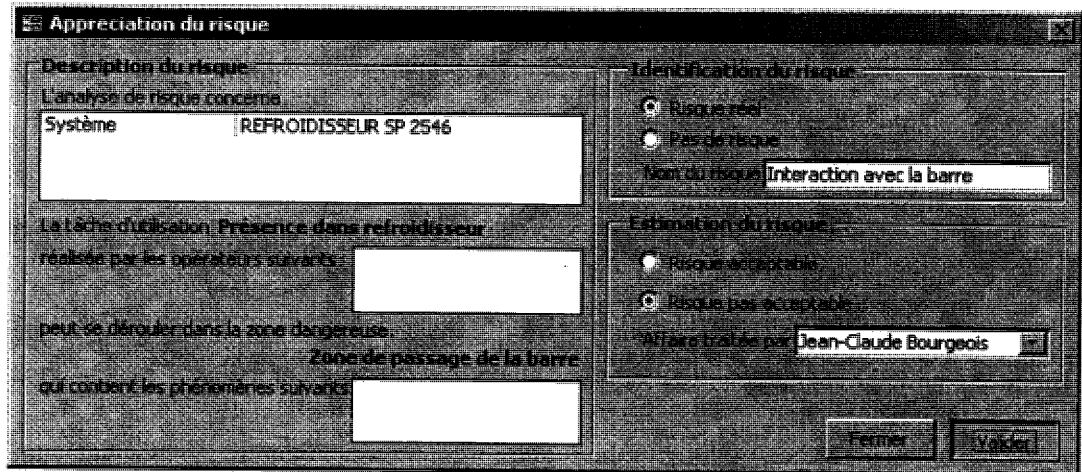
« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_03\SDT.mdb »

4. Une autre analyse de risque

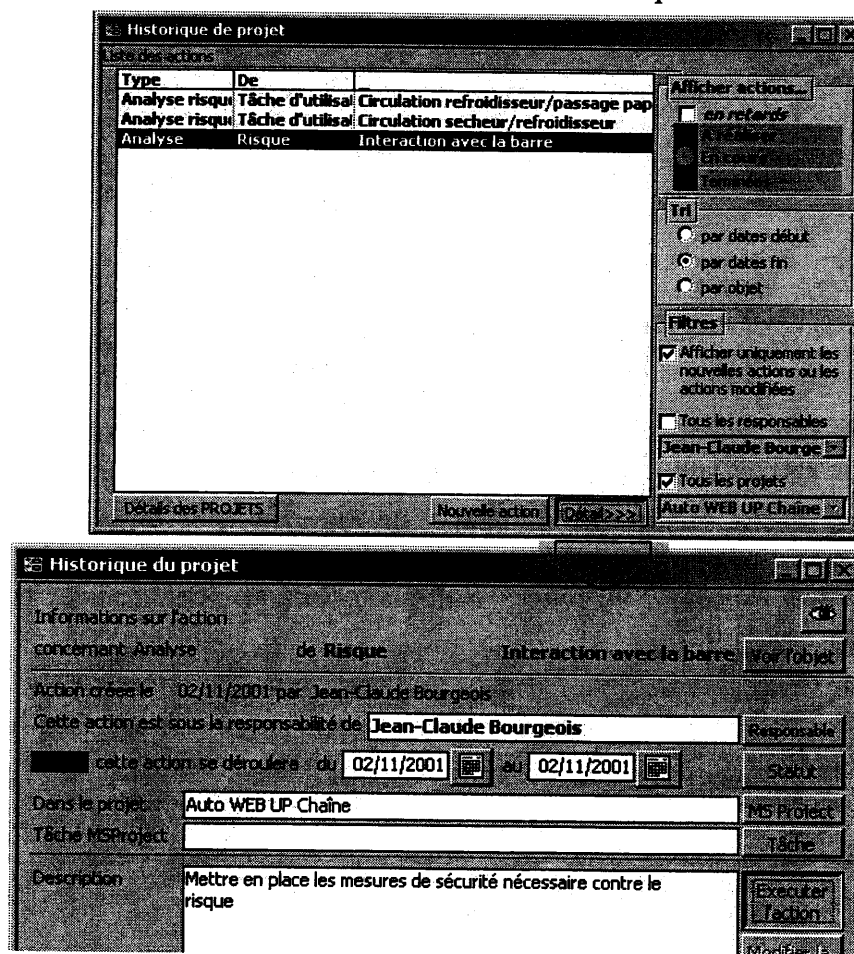
On ouvre une session avec le nom du responsable sécurité, puis on visualise la fenêtre historique de projet (bouton .



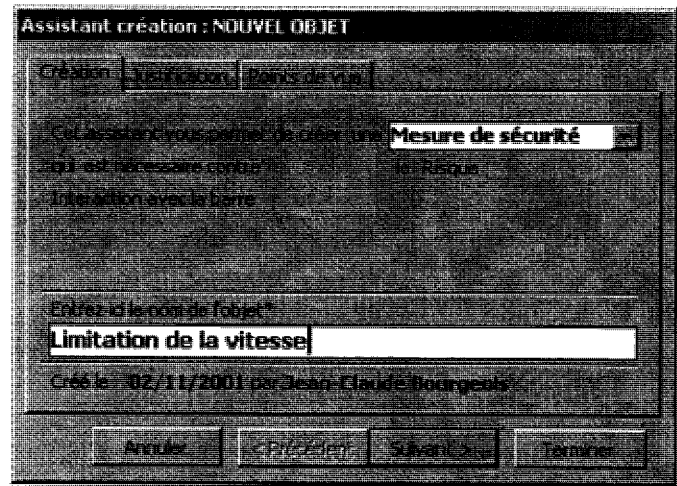
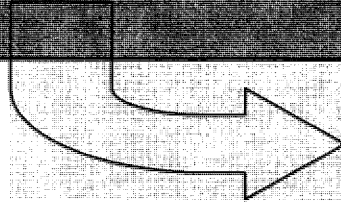
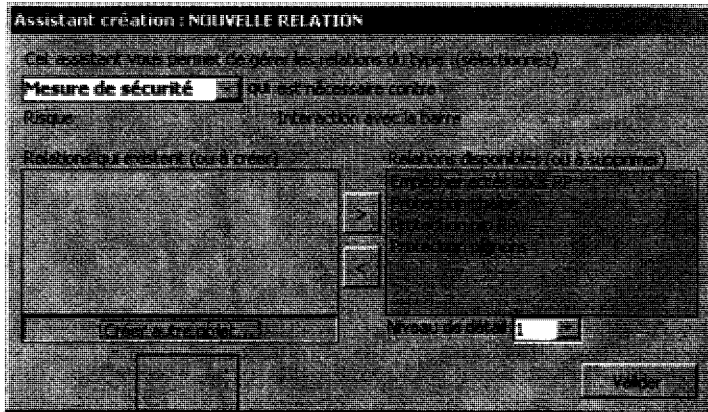
Intéressons-nous d'abord à l'analyse de risque qui concerne la **présence dans le refroidisseur** puis utilisons la commande **Exécuter l'action**. Dans l'analyse, on nomme le risque « **Interaction avec la barre** », et on définit ce risque **non-acceptable**. Comme dans la partie 2, cela va nous conduire à mettre en place une mesure de sécurité.



Ouvrons l'action d'analyse du risque **Interaction avec la barre** puis exécutons-la.

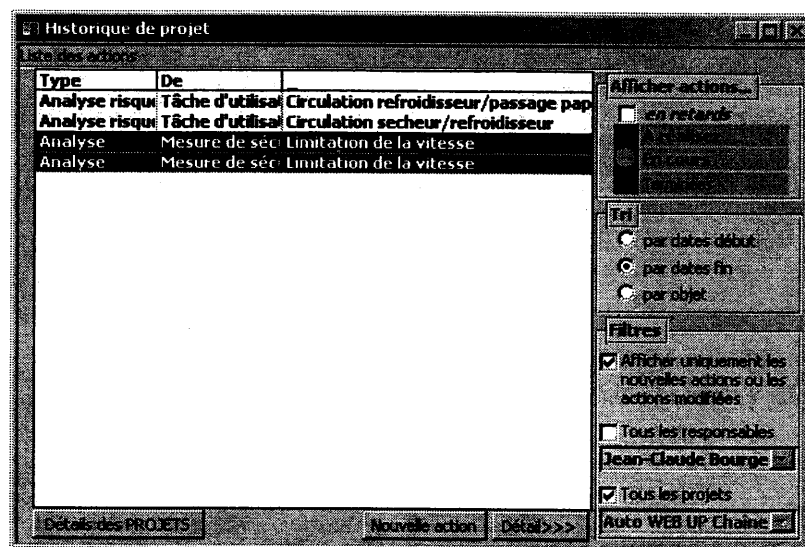


On crée une nouvelle mesure de sécurité, avec **Créer autre objet...**, que l'on nomme **Limitation de la vitesse** (On limite la vitesse pendant l'engagement de la bande pour éliminer les risques).

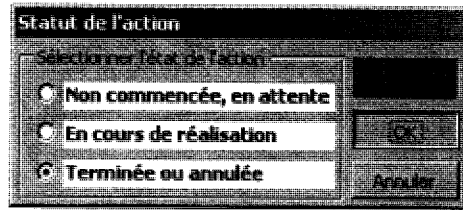


Après validation, on répond **NON** à la question : « cette mesure fait-elle appel à la tâche **présence dans le refroidisseur** ? ».

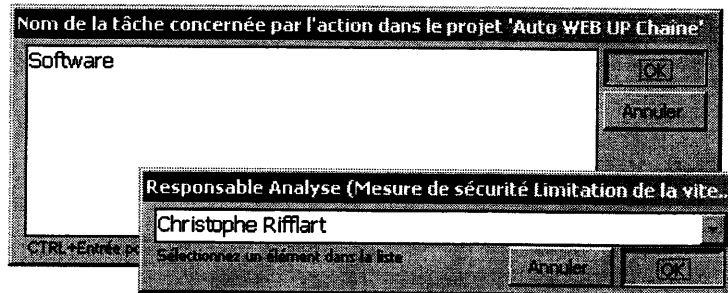
En revenant à la fenêtre **Historique de projet**, on retrouve deux nouvelles actions pour la mise en place de la mesure. Cette fois, c'est une tâche automatisée (dans le software) qui est utilisée pour limiter la vitesse et non un élément mécanique. Ouvrons les deux nouvelles actions.



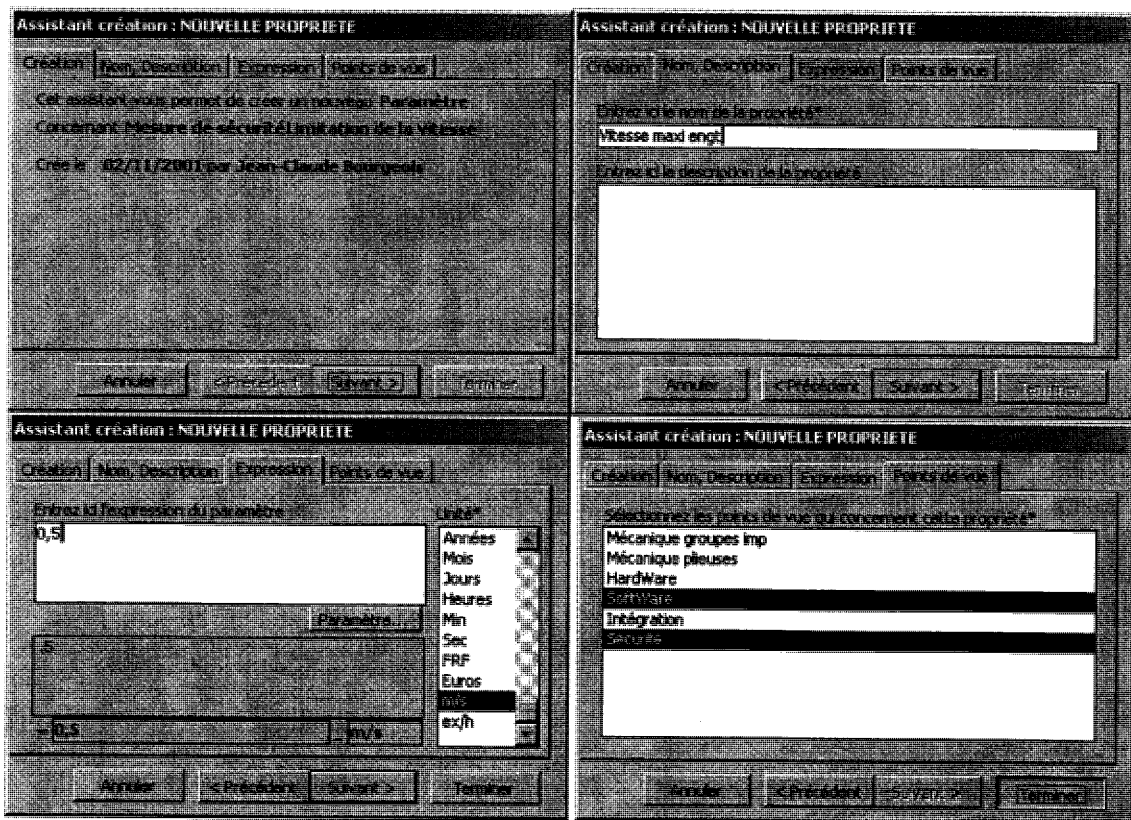
La première qui permet de développer un système peut être annulée immédiatement avec la commande **Statut** (puisque'elle n'a pas d'objet dans notre cas).



La seconde est transférée au responsable des développements électriques par la commande **Responsable** et dans la tâche Software du planning MS Project grâce à la commande **Tâche**.

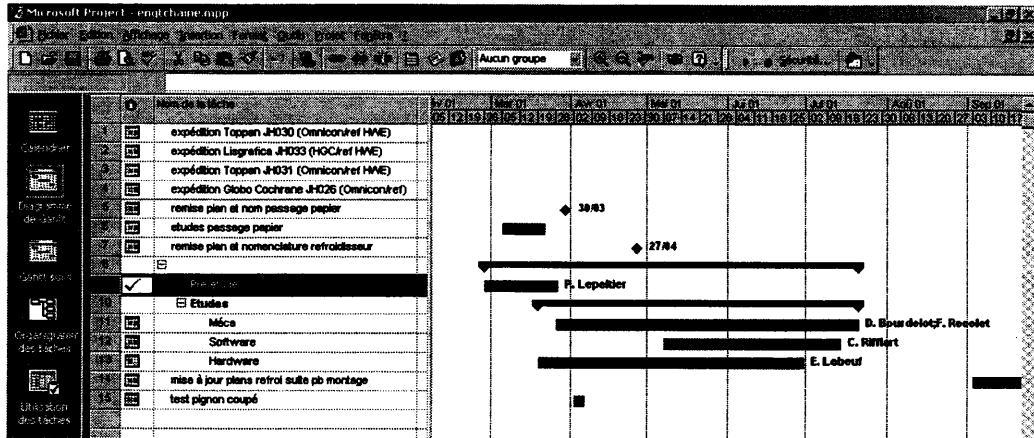


On souhaite de plus entrer une information sur la vitesse maximale à utiliser pendant la séquence d'engagement de la bande. Pour cela, on va ajouter un **paramètre** à la mesure de sécurité. Depuis la fenêtre de l'action, cliquons sur **Voir l'objet...** pour ouvrir la fenêtre de la mesure de sécurité. Dans l'onglet **PROPRIETES**, on clique sur **Nouveau** puis on choisit **Paramètre**. On entre alors le nom « **Vitesse maxi engt** », la valeur **0.5** en **m/s** puis on choisit les points de vue **Software** et **Sécurité**. On peut alors valider puis fermer les fenêtres de la mesure de sécurité et de l'action.

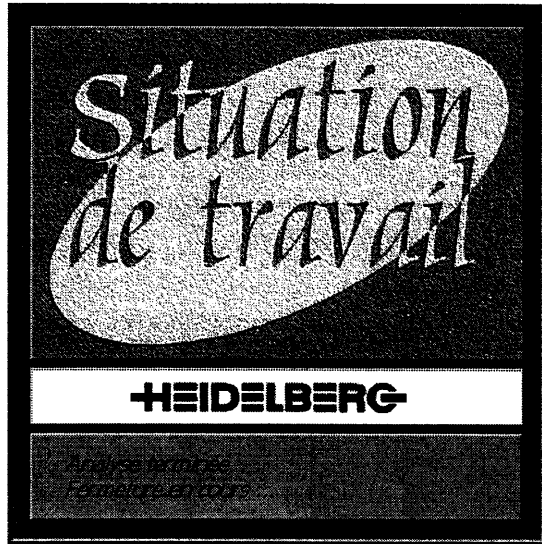


Il reste deux actions à valider dans la fenêtre **Historique de projet**. Dans le cadre de la démonstration, on valide simplement ces deux actions sans approfondir l'analyse de risque, grâce à la commande **Statut**.

Enfin on valide la tâche de **pré-etude** dans MS Project.



Suite à cette validation, une opération d'analyse dans l'outil SITUATION DE TRAVAIL a lieu pour vérifier que cette tâche est effectivement terminée dans la base de données, c'est-à-dire qu'il n'y a plus d'action à réaliser ou en cours rattachée à cette tâche du projet.

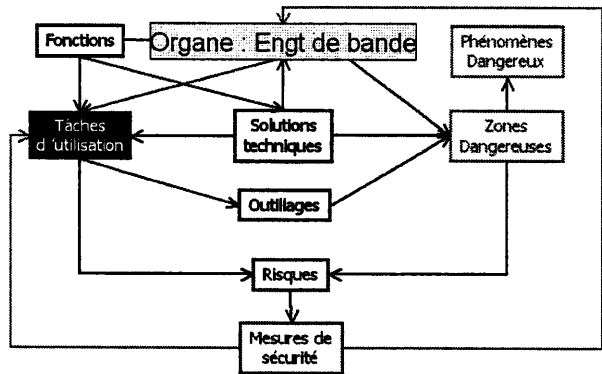
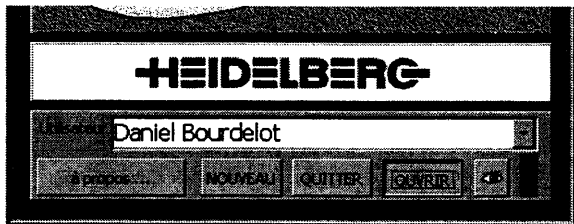


Etat intermédiaire :

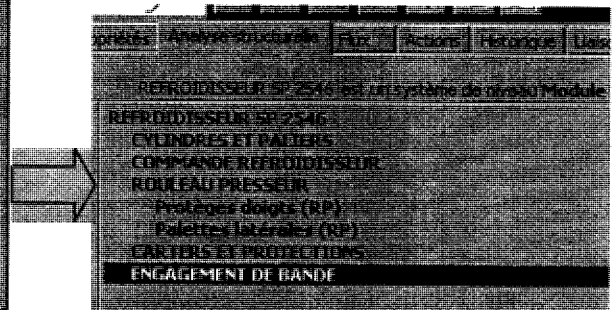
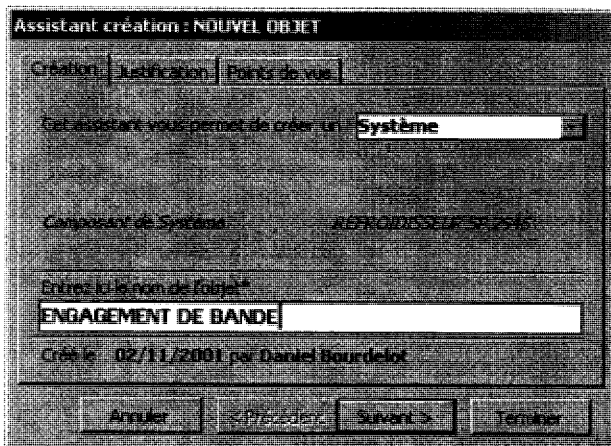
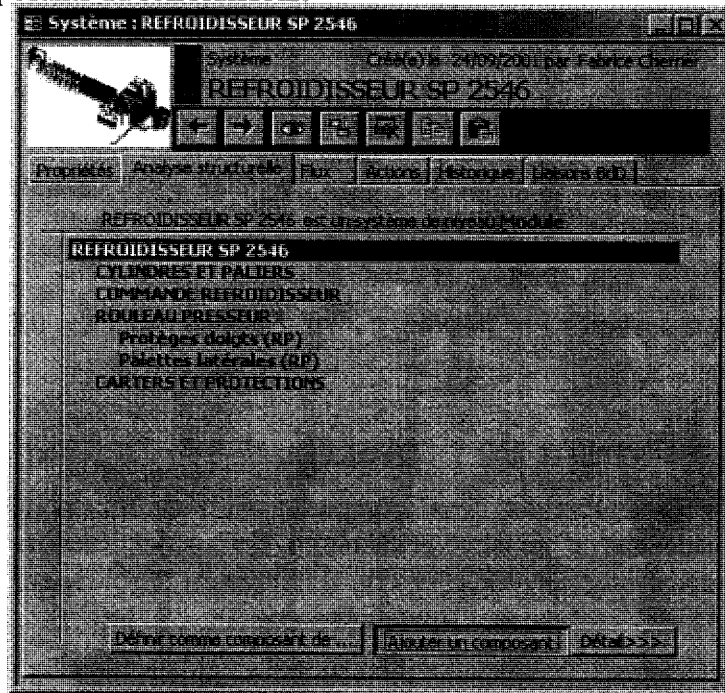
« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_04\SDT.mdb »

5. Développement du nouvel organe

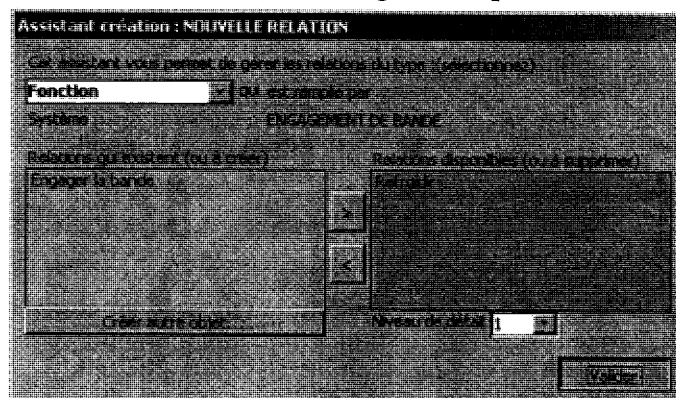
On se place maintenant dans la peau du responsable des développements mécaniques qui crée un nouvel organe dans le refroidisseur, nommé **ENGAGEMENT DE BANDE**.



Pour cela on ouvre le système « **REFROIDISSEUR SP2546** » et dans l'onglet **ANALYSE STRUCTURELLE** on clique **Ajouter un composant**. Le nouveau composant apparaît alors dans la liste des composants du refroidisseur.



Double-cliquons sur ce nouvel élément pour en voir le détail. Dans l'onglet **LIAISONS BDD** de l'organe **ENGAGEMENT DE BANDE** on utilise la fonction **GERER LES LIAISONS** en sélectionnant **Fonction** pour définir que cet organe remplit la fonction **Engager la bande**.




On répond alors aux questions pour compléter les informations : L'organe **ENGAGEMENT DE BANDE** :

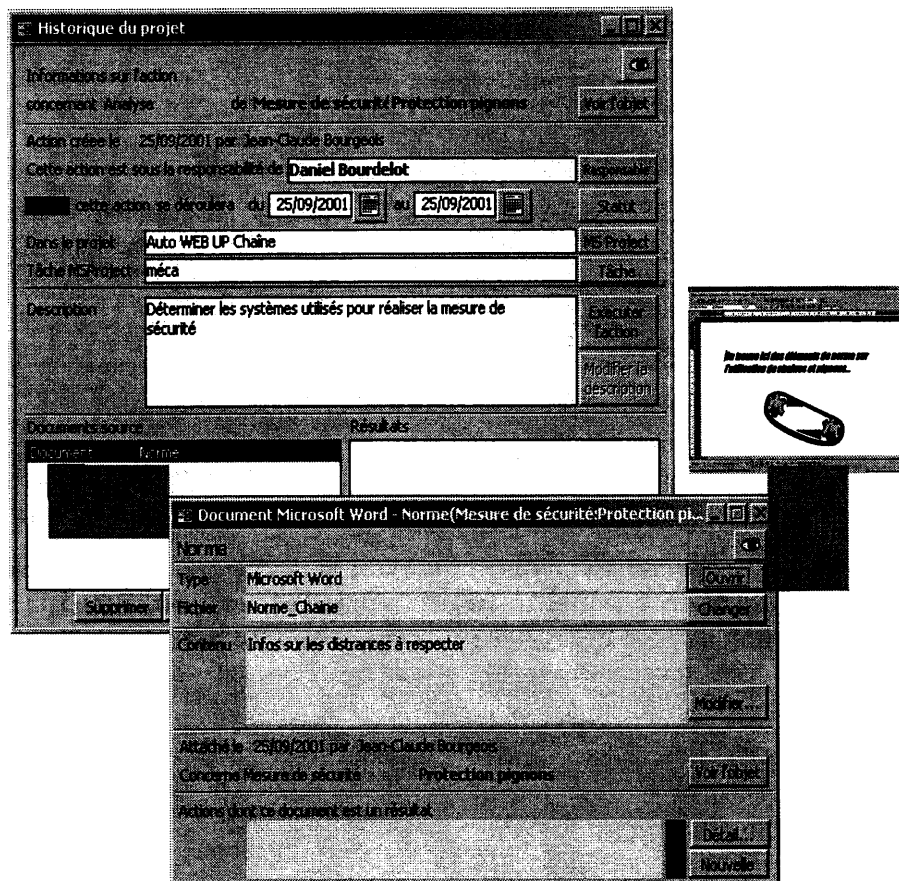
- met en œuvre la solution technique **Chaîne de guidage**
- est concerné par la tâche d'engagement automatique de la bande
- contient les zones dangereuses Conjonction chaîne-pignons et Longueurs libres de la chaîne.
- n'est pas concerné par la tâche **Présence dans le refroidisseur** ni par les tâches de **Circulation autour du refroidisseur**.

L'issue de ces questions est enregistrée dans :

« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_05\SDT.mdb »

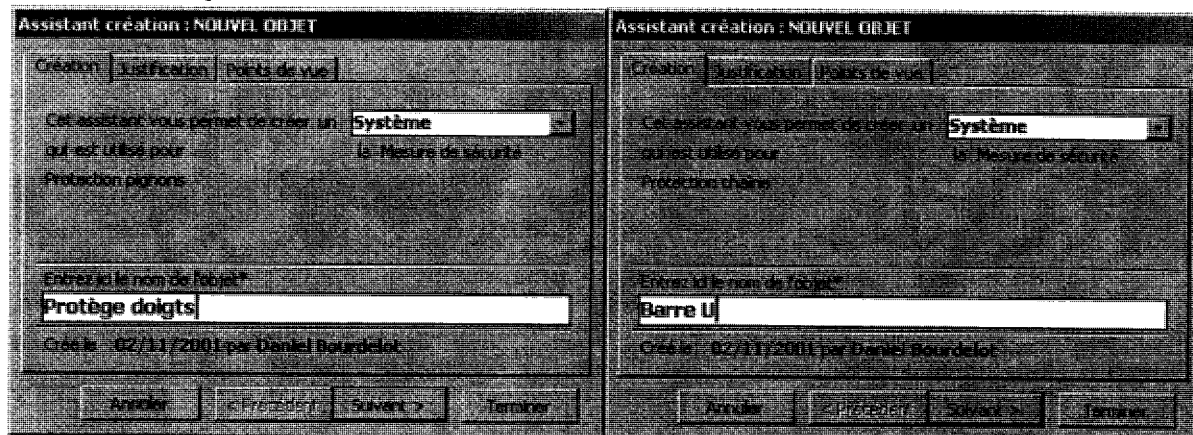
6. Développement de protecteurs

C'est toujours le **responsable des développements mécaniques** qui joue ce rôle. Dans sa liste d'actions à réaliser de la fenêtre **Historique de projet** (bouton ) on retrouve les développements des protections de la chaîne en entrée du refroidisseur et des pignons dans le refroidisseur (suite de l'analyse de risque de la partie 2).

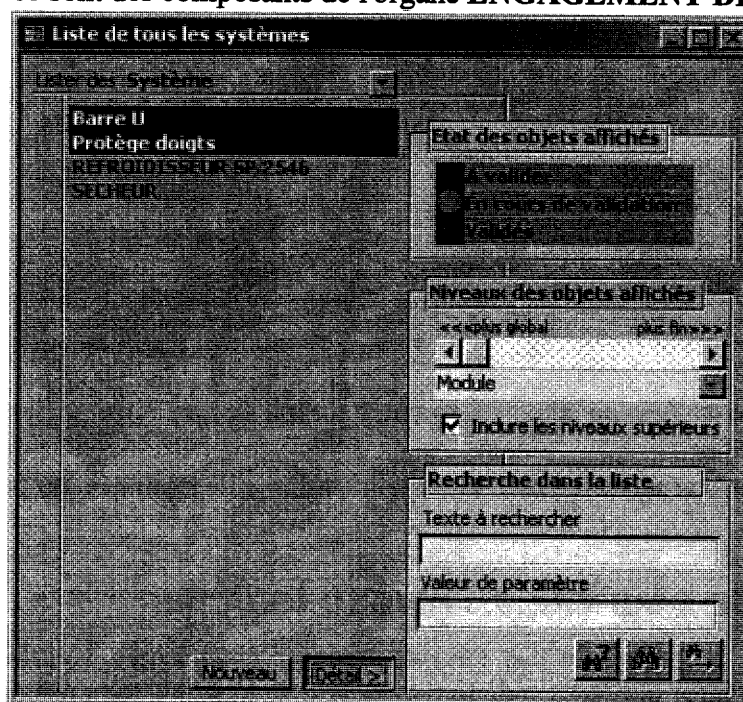


Après avoir ouvert l'une des actions, on trouve dans la liste **Documents sources** des informations utiles au développement des systèmes. On peut en visualiser le contenu par un double-clic.

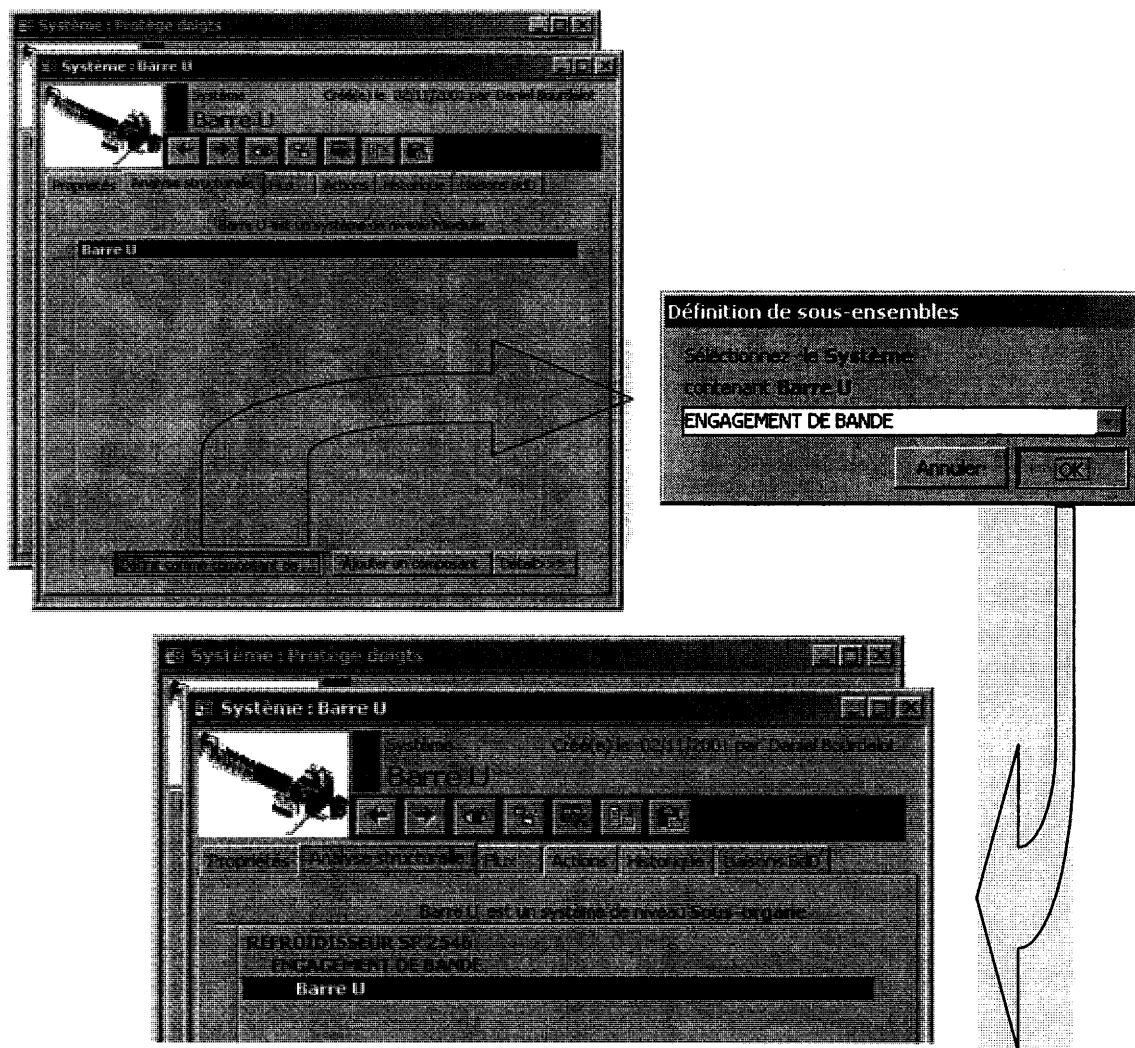
Ensuite on peut **Exécuter l'action** et créer les systèmes nommés **Barre U** (pour la protection de la chaîne) et **Protège doigts** (pour la protection des pignons) en utilisant la commande **Créer autre objet...**



Après avoir validé les deux actions, on ouvre la liste des systèmes à partir du menu **SITUATION DE TRAVAIL**. On retrouve les deux objets que l'on vient de créer mais au niveau **module** alors que ce sont des composants de l'organe **ENGAGEMENT DE BANDE**.



Ouvrons la **Barre U** par double-clic puis visualisons l'onglet **ANALYSE STRUCTURELLE**. Grâce à la commande **Définir comme composant de...** on sélectionne dans la liste l'organe **ENGAGEMENT DE BANDE** (en bas de la liste). Après validation on retrouve la hiérarchie souhaitée.



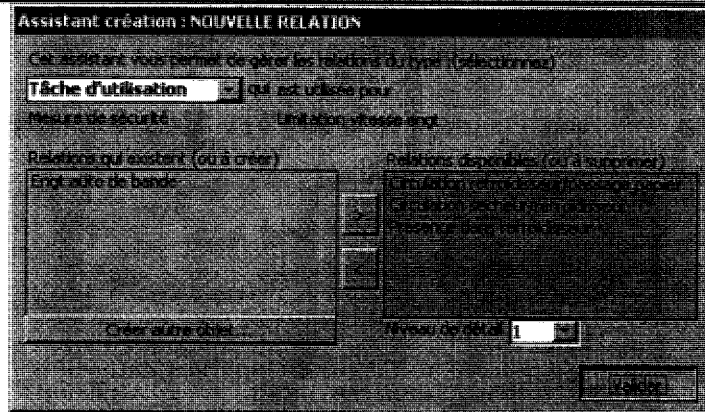
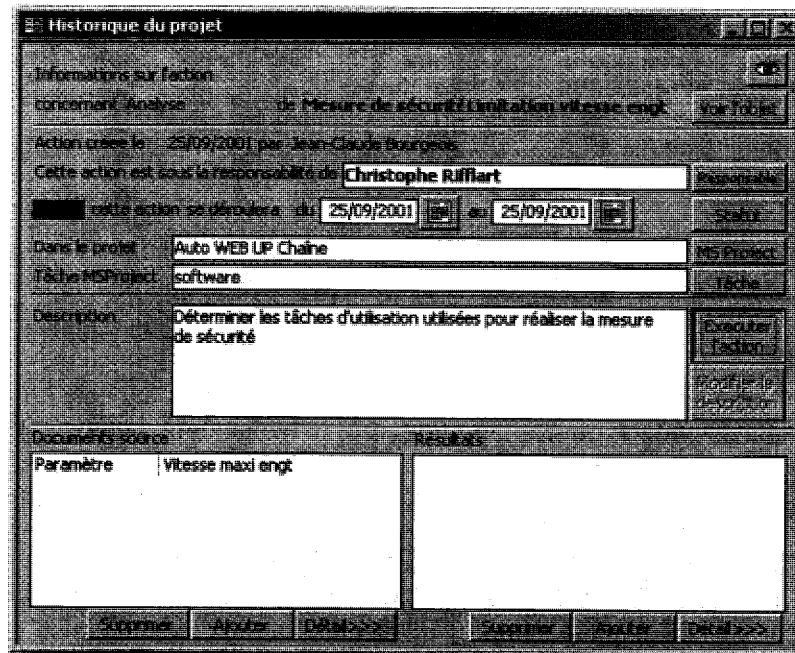
On réalise la même opération avec l'élément **Protège doigts** pour se retrouver dans l'état intermédiaire du fichier :

« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_06\SDT.mdb »

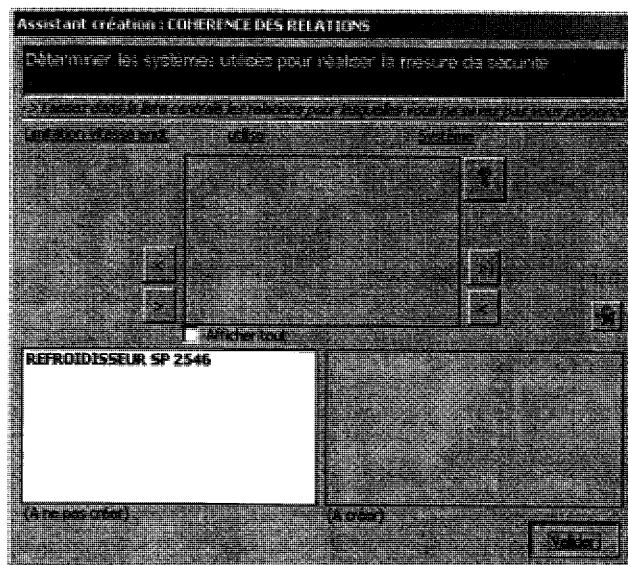
7. Mesure de sécurité au niveau logiciel

C'est ici le rôle du **responsable des développements électriques**. Celui-ci a à charge une action destinée à intégrer la décision de limiter la vitesse lors de l'engagement.


Dans un premier temps, on exécute l'action pour lier la mesure de sécurité « **Limitation de la vitesse** » à la tâche déjà existante « **Engt auto de la bande** ».

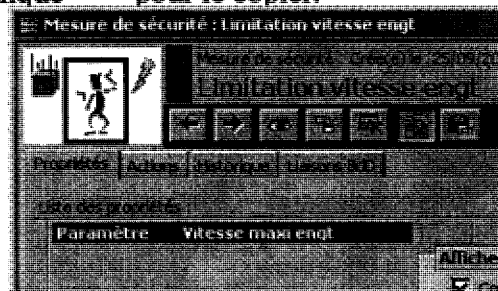


On précise alors que cette mesure n'utilise pas le système **REFROIDISSEUR SP2546**.



Avec la commande **Voir l'objet...** de l'action que l'on vient d'exécuter, on ouvre la mesure de sécurité. Dans l'onglet **PROPRIETE**, on trouve le paramètre **Vitesse maxi engt**. On

souhaite « récupérer » ce paramètre pour l'intégrer à la séquence d'engagement automatique. On le sélectionne donc et on clique  pour le copier.



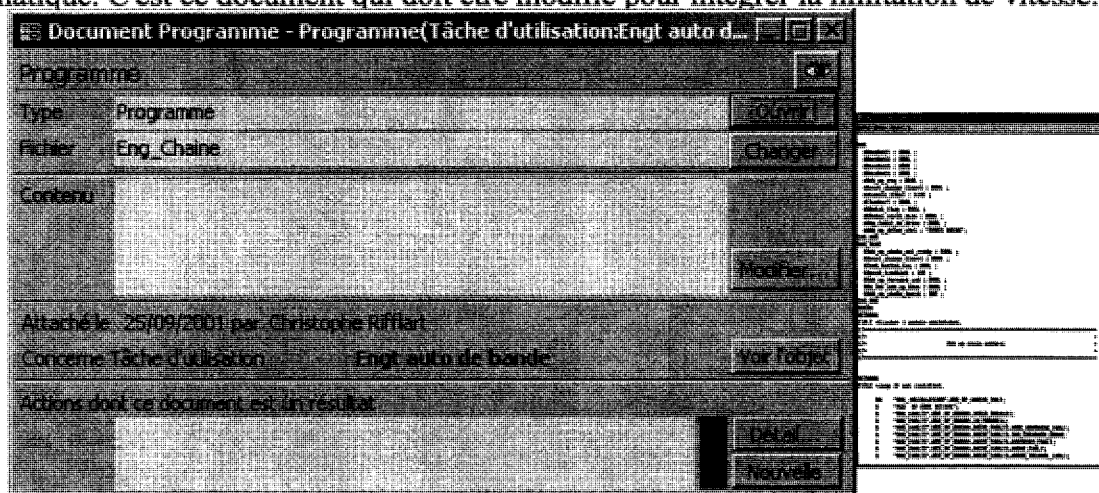
Dans l'onglet **LIAISON BDD**, on double-clique sur la tâche **Engt auto de la bande**.



Finalement, on clique  dans l'onglet **PROPRIETE**. Ainsi, le paramètre sera également présent directement sur l'objet **Tâche**.



Le document attaché appelé « **Programme** » contient le programme associé à la séquence automatique. C'est ce document qui doit être modifié pour intégrer la limitation de vitesse.



Dans MS Project, la tâche de **Software** peut ainsi être validée. On peut également valider la tâche **Hardware**, car on ne montre rien dans ce domaine au cours de la démonstration.

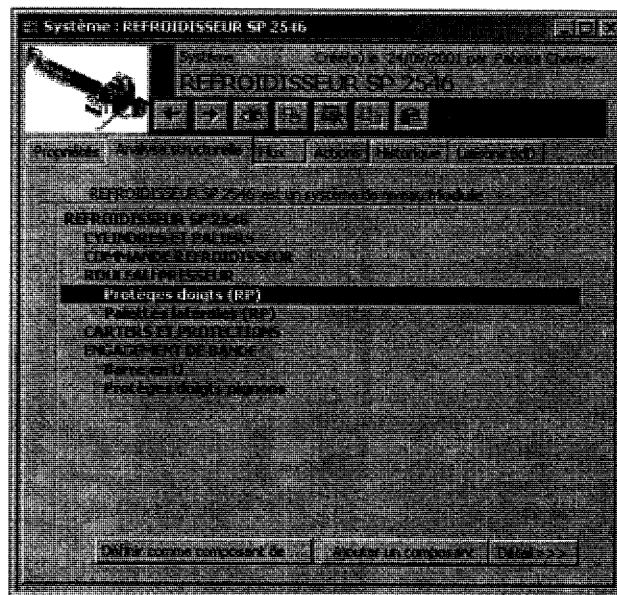
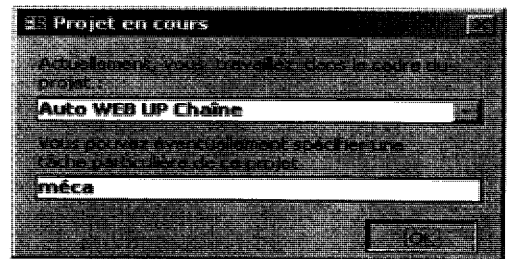
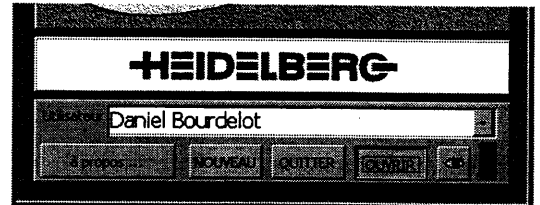
Etat intermédiaire :

« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_07\SDT.mdb »

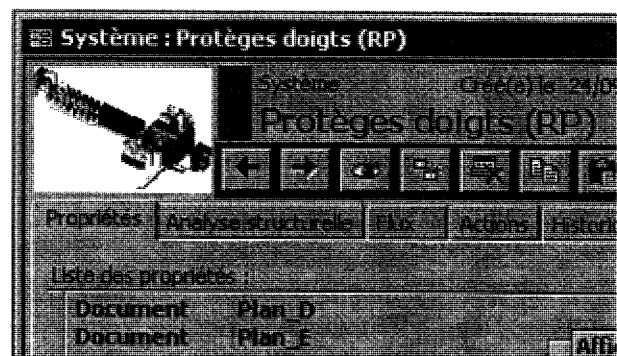
8. Modification de l'existant

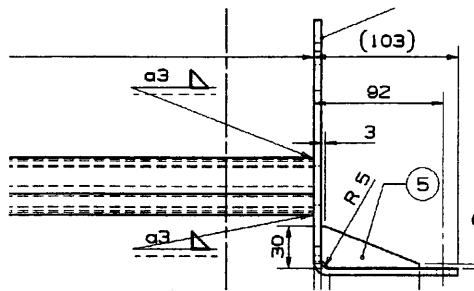
Pour des raisons techniques liées à l'implantation du nouvel organe d'engagement de bande, une pièce de l'organe **ROULEAU PRESSEUR** doit être modifiée ; il s'agit d'un **protège doigts**. Le responsable des développements mécaniques ouvre donc l'outil

SITUATION DE TRAVAIL en déclarant travailler dans la tâche **méca** puis visualise le refroidisseur. Dans l'onglet **ANALYSE STRUCTURELLE**, on s'intéresse au composant **protège doigts** du **ROULEAU PRESSEUR** et on double-clique pour l'ouvrir.

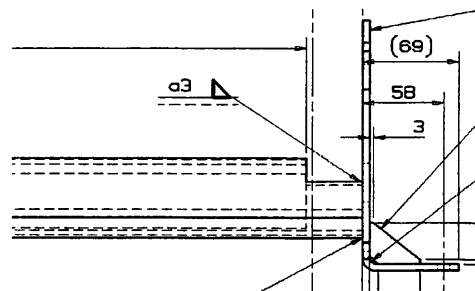


Comme propriété, on trouve un document (« **Plan_D** ») qui est le plan actuel et que l'on ouvre. On va insérer un nouveau document qui correspond au plan modifié, avec la commande **NOUVEAU**. On l'appelle « **Plan_E** », de type **Imagerie** et référencé « **5587392** ». Après validation, on peut ouvrir le nouveau plan et constater le changement.



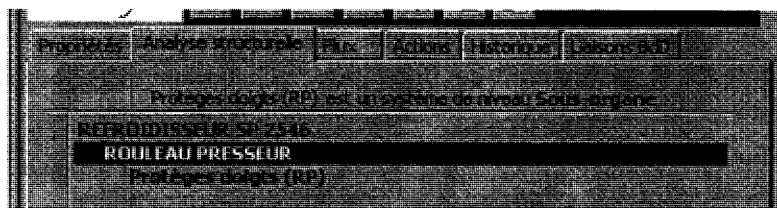


Plan_D

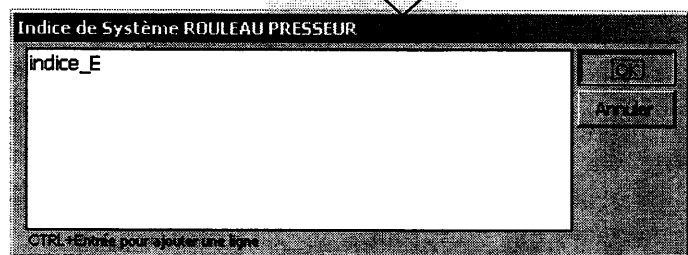
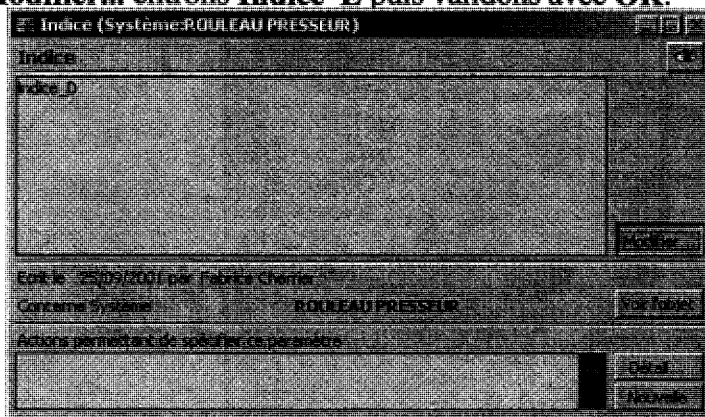


Plan_E

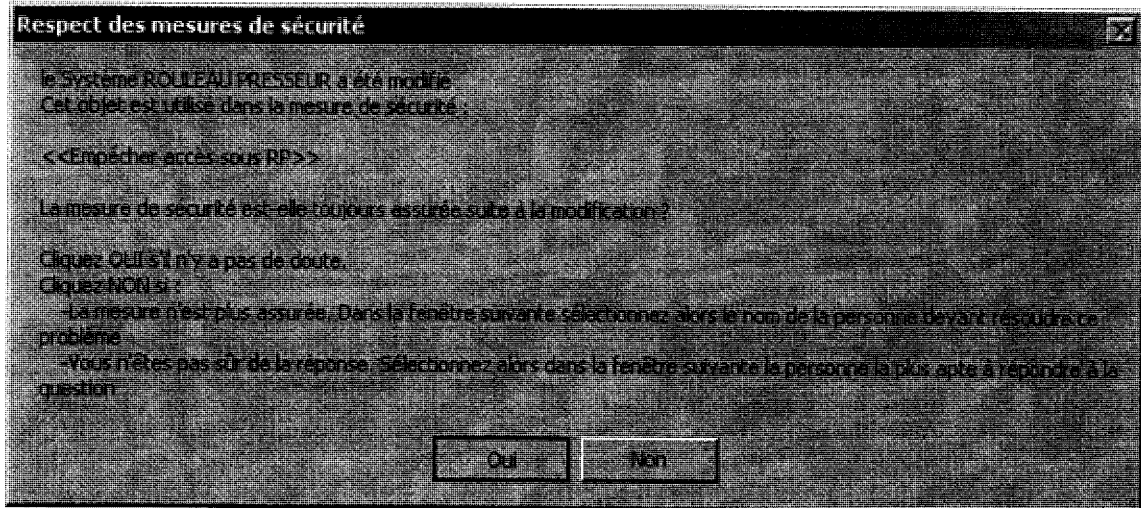
Après vérification du bureau d'étude, les plans sont validés et le rouleau presseur change d'indice dans les nomenclatures pour tenir compte des modifications. On va simuler cette opération dans la maquette en ouvrant le ROULEAU PRESSEUR à partir de l'onglet ANALYSE STRUCTURELLE du protégé doigts.



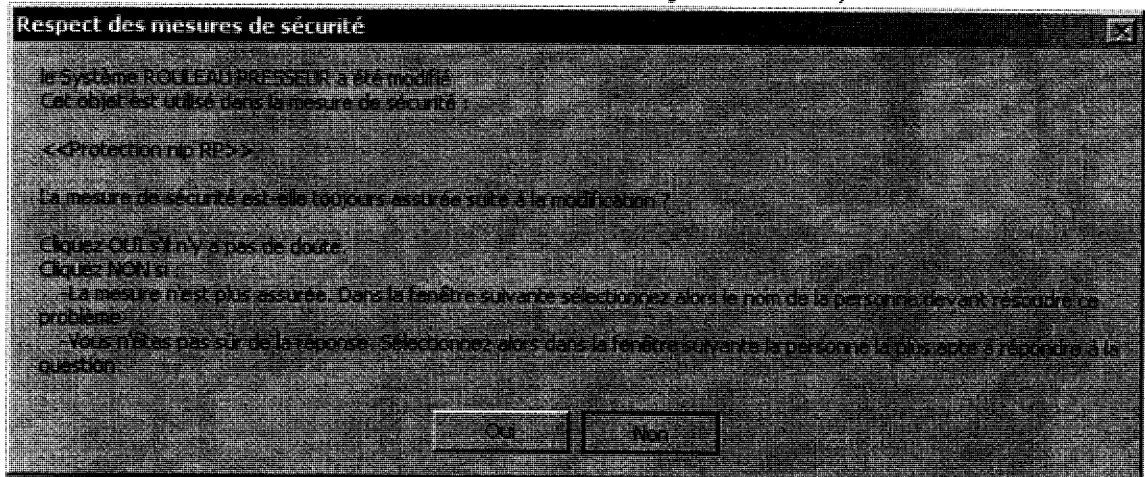
Puis en revenant à l'onglet **PROPRIETE**, on ouvre le commentaire nommé **Indice**. Cliquons sur **Modifier...** entrons **Indice E** puis validons avec **OK**.



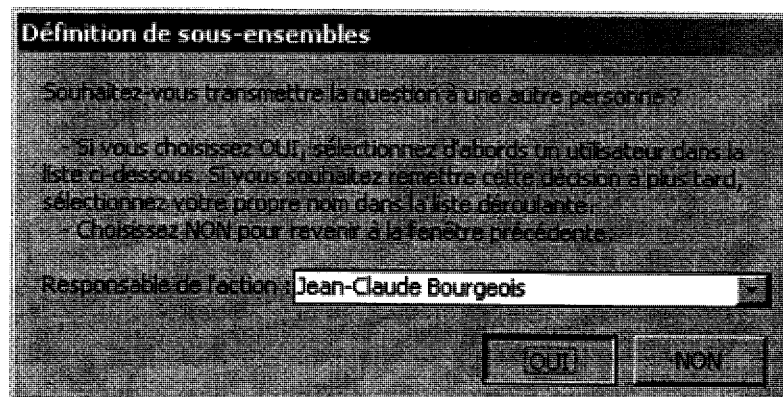
Le système pose alors une question relative à la sécurité. En effet, le système dont on vient de changer l'indice est utilisé dans deux mesures de sécurité (**Protection du NIP avalant** constitué par le rouleau presseur lorsque celui-ci est en position appuyée - C'est ce **protège doigts** que l'on vient de modifier, et **Protection de l'accès sous le rouleau presseur** quand celui-ci se déplace - C'est le rôle des **palettes latérales** qui n'ont pas été modifiées).



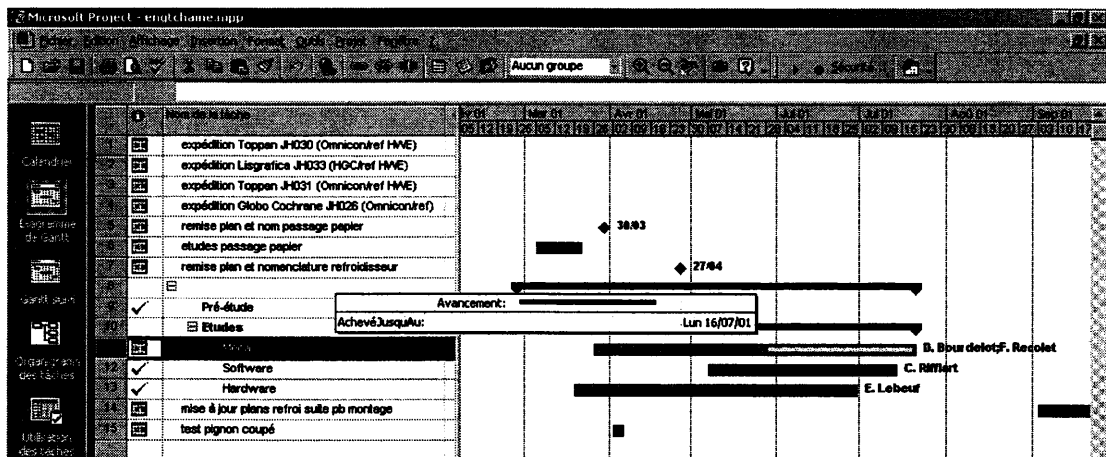
On peut donc répondre **OUI** à la première question (puisque l'on n'a pas touché aux **palettes latérales** et la mesure de sécurité associée est donc toujours assurée).



En revanche, on répond **NON** à la seconde puisque l'on n'est pas sûr a priori que la modification n'aura pas un impact sur la sécurité. Puisqu'on répond **NON** il faut transmettre le problème au **responsable sécurité**.



On ferme l'outil et le chef de projet décide de valider dans MS Project la tâche de développements mécaniques nommée « **méca** ». Le système détecte alors qu'il reste une action non validée (c'est celle qu'on vient de transmettre au **responsable sécurité** et à laquelle on n'a pas encore donné de suite)



On sélectionne donc le nom du **chef de projet** (qui était en train de mettre à jour le planning).



On peut ouvrir l'action restante par double-clic et la valider en supposant qu'une réflexion a été menée pour vérifier la sûreté de l'élément.

Gestion de projets - Actions en retard ?

Le système a détecté des actions dans le modèle de situation de travail, attachées à la tâche et marquées **À FAIRE** ou **EN COURS**.

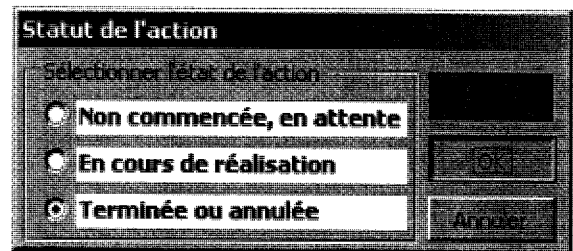
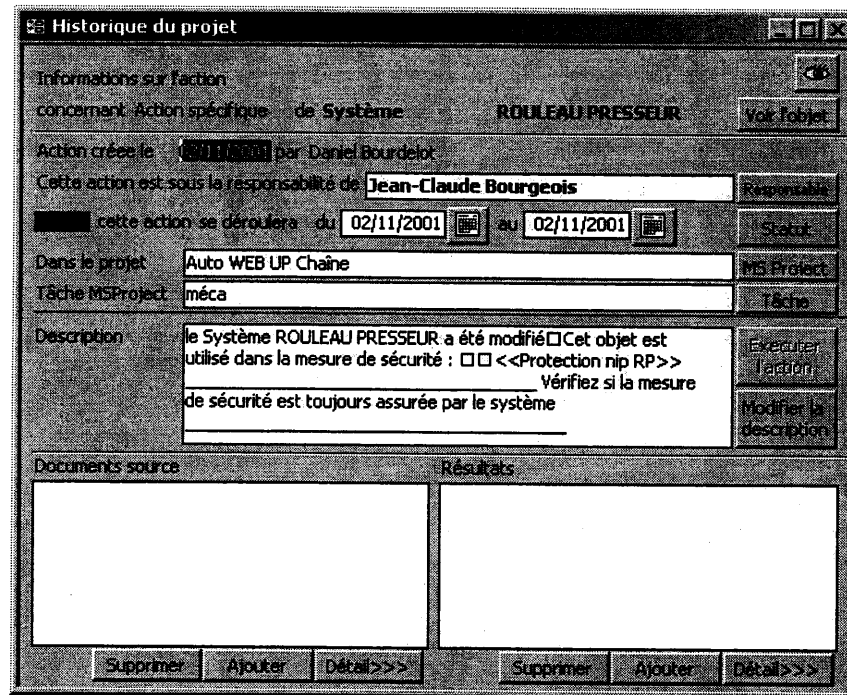
Veuillez vérifier le statut des actions ci-dessous.

Si certaines actions restent invalidées, il vous sera proposé de corriger le taux d'avancement de la tâche MS Project.

Liste des actions non validées de la tâche Meca du projet: E:\Démonstration\Bases de données\07\engchaine.mpp

Type	Type d'objet	Nom objet	Responsable
Action spécifique	Système	ROULEAU PRESSEUR	Jean-Claude Bourgeois

Détail >>> Fermer



On arrive ainsi à l'état final du scénario enregistré dans :

« [CD]:\Implantation\Démonstration\Base de données_08\SDT.mdb »

