

Janvier 2002

N° ISSN xxxx - xxxx

# 216

## CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION ET AU CONTROLE DES RISQUES DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION

**Armelle DIDELOT**

*Thèse de Doctorat en Génie des Systèmes Industriels  
Effectuée sous la direction scientifique de Elie FADIER  
Réalisée dans le cadre de l'étude A.8/4.013 «Intégration des conditions  
limites d'utilisation des équipements de travail, pour la prévention des  
risques associés, dès la conception des systèmes de production»  
du Département Homme au Travail*

**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**

## **RESUME**

Les démarches de conception, dans leur ensemble, ont montré leurs limites en matière de prévisibilité des risques. Les outils dont elles disposent, souffrent du manque de prise en compte à la fois des variabilités des situations de travail et des migrations que le système subit entre la phase de conception et la phase d'exploitation. Par ailleurs, un paradoxe mis en évidence par la littérature souligne que l'Homme, à travers cette activité, assure la sécurité et les performances des systèmes automatisés; d'où l'importance d'un élargissement de la phase de conception vers un processus couvrant la conception, l'implantation et les premières utilisations.

Les analyses de situations de travail que nous avons réalisées en utilisant la démarche MAFERGO confirment que face aux aléas et/ou dysfonctionnements, les opérateurs sont garants des objectifs de production. Ce fonctionnement dégradé est induit par les contraintes opérationnelles, par les migrations issues de la phase d'implantation et par des solutions techniques et/ou de sécurité ne couvrant pas toutes les situations. Dans ce cadre, nous montrons que les opérateurs développent des Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU) qui fragilisent la sécurité du système et qui comportent un risque aussi bien pour eux-mêmes que pour le système.

La définition des ALU a permis de décrire leurs caractéristiques et d'identifier leurs précurseurs (Conditions Limites tolérées par l'Usage) issus des phases amonts de l'exploitation. Au niveau du concepteur, une modélisation de la réussite et de l'échec de l'ALU lui permet de mieux comprendre ses origines et, si ce n'est de les éliminer, de faire en sorte qu'elles soient maîtrisables. Nous proposons finalement un modèle mettant en évidence tout le processus de migrations du système et des ALU associées.

## **ABSTRACT**

The design methods, on the whole, have shown their limits in terms of foreseeable nature of risks. The available tools suffer in the lack of taking into account, both the variability of work situations and the migrations that affect the system between the design and operation phases. Moreover, a paradox highlighted by the literature reveals that humans beings, through their activity, insure both the safety and the performances of automated systems. Therefore, it is essential to widen the design phase toward a process covering design, setting up and first uses.

Analyses of work situations performed by using the MAFERGO methodology, have confirmed that faced to unknown factors and/or dysfunctions, operators are responsible of the production target. This degraded operation is induced by operational constraints, migrations generated by the setting up phase and technical and/or safety solutions which do not cover all the situations. In this framework, we show that operators develop some Limit Activities tolerated by usage (LAU) which implied a risk as well for themselves and for the system.

The definition of LAU has allowed the description of their characteristics and the identification of their precursors (Limit Conditions tolerated by Usage) stemmed from the phases preceding the operation phase. Then, a modeling of the success and the failure of the LAU allows the designer to better understand its origins. Hence, LAU may be eliminated by the designer or at least may be controllable. Finally a model is proposed which points out entire process of migrations of the system and the associated LAU.

## Préface

Cette Note Scientifique et Technique, constitue le mémoire de thèse d'Armelle DIDELOT, thèse soutenue le 22 octobre 2001 à l'INPL.

Cette thèse s'insère dans l'étude INRS A.8.4/013 "Intégration des conditions limites d'utilisation des équipements de travail, pour la prévention des risques associés, dans la conception des systèmes de production".

La problématique de cette étude pluridisciplinaire, financée par l'INRS et co-financée 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 dans les 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).

---

## SOMMAIRE

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
---------------------	----------

### **PARTIE I : Réflexion sur l'intégration des risques dans les démarches de conception**

<b>Chapitre I : Le risque : concept, caractérisation et méthodes d'analyse</b>	<b>7</b>
I. Risque, question de points de vue	7
II. L'analyse des risques à travers différentes approches	15
III. Synthèse sur l'apport des différents types d'approches au niveau de la conception	50
<b>Chapitre II : Démarches de conception : A quel moment envisage-t-on le risque ?</b>	<b>52</b>
I. Description de l'activité de conception	52
II. Les démarches de conception : Approche succincte	59
III. Discussion sur la capacité des démarches de conception à intégrer les risques	67
IV. Discussion sur la manière d'appréhender l'intégration des risques à la conception (approches actuelles) : Une approche essentiellement séquentielle	71

### **PARTIE II : Analyse des risques en exploitation**

#### **Chapitre I : Description de l'activité du partenaire industriel : la société HEIDELBERG**

---

	<b>78</b>
I. La conception, source de migrations	78
II. L'implantation au carrefour des migrations	86
III. Synthèse	99

#### **Chapitre II : Analyses opérationnelles menées sur deux terrains industriels**

I. Présentation du domaine : l'imprimerie	101
II. Description des situations d'exploitation	105
III. Présentation de la méthodologie utilisée : MAFERGO	111
IV. Mise en œuvre de MAFERGO auprès des deux imprimeries	117
V. Synthèse sur l'Analyse de risques en exploitation	166

## **PARTIE III : Eléments pour une conception plus sûre**

### **Chapitre I : Des "*Activités Spécifiques*" aux Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)**

	<b>172</b>
I. Vers une définition des Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)	172
II. Recherche des facteurs et/ou circonstances initiant les ALU : Les Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)	190
III. Recherche d'éléments de "généralisation" des ALU	194
IV. CLU et retour en conception	198
<b>Chapitre II : Vers une conception plus sûre</b>	<b>200</b>
I. De la conception du risque à la construction de sécurité	200
II. Elaboration d'arbres logiques pour l'aide à la décision en conception	210
III. Du fonctionnement normal au fonctionnement opérationnel induit	219
<b>CONCLUSION</b>	<b>223</b>
Bibliographie	230
Annexes	241
Liste des figures	243
Liste des tableaux	245
Table des matières	246

---

## INTRODUCTION

---

Cette thèse s'insère dans le projet PROSPER (Programmes Systèmes de Production), intitulé : *Intégration de la prévention dès la conception des équipements (systèmes) de travail*, dont la description figure en préface. Ce projet implique plusieurs laboratoires de recherche et un partenaire industriel concepteur de rotatives d'imprimerie.

Cette recherche part du constat relativement classique, que le développement des nouvelles technologies, dans les systèmes de production, loin de faire disparaître l'action de l'homme en accroît l'importance tout en la rendant beaucoup plus complexe.

Les analyses ergonomiques mettent généralement en évidence qu'un système est rarement en fonctionnement nominal : il dérive progressivement en creusant l'écart entre ce qui est prévu à la conception et ce qui est observé en exploitation. Par conséquent, les opérateurs se retrouvent souvent face à des modes de fonctionnement dégradé, pour lesquels ils sont amenés à faire évoluer leurs tâches et à rechercher des méthodes de travail qui semblent mieux adaptées au contexte et aux contraintes opérationnelles.

Cette situation a pour origine deux aspects qui constituent les fondements de nos travaux.

Nous considérons premièrement, que sous l'effet d'un contexte global fortement concurrentiel, l'organisation de travail s'efforce de maintenir les performances de production, en faisant face aux différents aléas et défaillances perturbant le fonctionnement du système. Cependant, ce maintien des performances nécessite la mise en œuvre d'activités qui non seulement, divergent des tâches prescrites par la conception (phénomène classiquement observé en ergonomie), mais surtout se situent à proximité des "limites" au-delà desquelles on peut considérer que la performance et/ou la sécurité ne sont plus assurées. Cet aspect est décrit par Rasmussen (1997) sous la forme d'un *modèle de gestion globale des risques* (Figure 1), selon lequel l'action des opérateurs se situe dans une "enveloppe" de contraintes à partir de laquelle il est nécessaire de trouver le plus juste compromis entre la productivité et la sécurité. C'est une situation dynamique au cours de laquelle en voulant renforcer la productivité, on risque d'atteindre la limite de la charge de travail acceptable par l'opérateur et par conséquent de dégrader son niveau de sécurité ; a contrario en diminuant les cadences de travail, on pénalise la rentabilité de l'installation. De plus, les interactions des décisions prises par les différents acteurs du système appartenant à des niveaux hiérarchiques différents et ne disposant que

d'une représentation partielle et instanciée du système, jouent un rôle important dans ce processus de dérive.

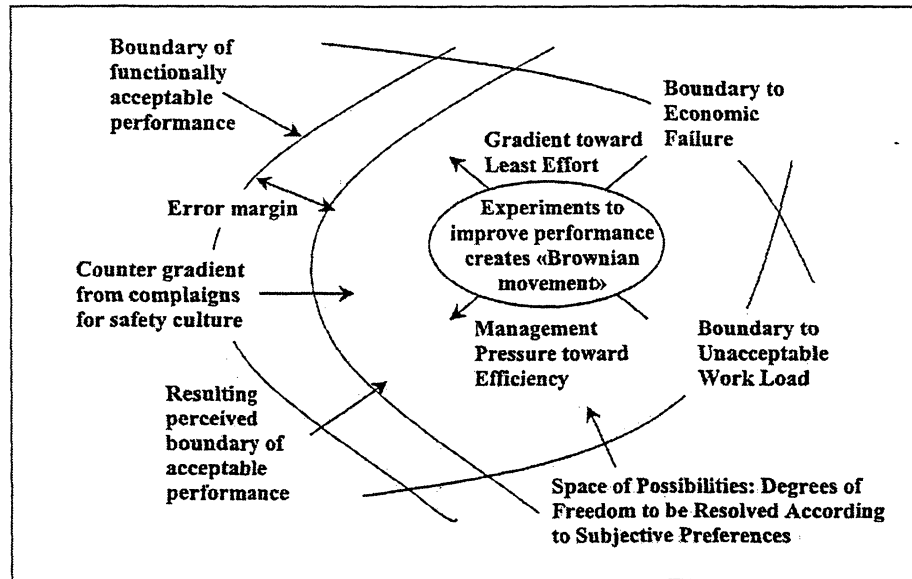


Figure 1 : Modèle de gestion globale des risques (Rasmussen, 1997)

Deuxièmement, pour comprendre réellement cette évolution, nous élargissons cette vision centrée sur l'utilisation du système et son contexte, au cycle de vie du système. En effet, l'évolution diachronique du système à travers les différentes étapes de son cycle de vie (Conception – Implantation – Exploitation) engendre à chaque instant des modifications plus ou moins profondes des limites définies (partiellement) d'une certaine manière à la conception. Nous considérons donc que les sources de risque émergent en exploitation ne sont pas uniquement à rechercher en local, mais également au niveau des phases amont à l'exploitation.

Dans ce cadre, notre recherche part tout d'abord de l'hypothèse selon laquelle pour répondre au plus près aux exigences opérationnelles, il s'agit pour les concepteurs, d'appréhender le système d'un point de vue global, c'est à dire d'élargir le savoir technique (qui reste pratiquement l'unique envisagé) à d'autres savoirs (humains, organisationnels...).

La deuxième hypothèse consiste à considérer que malgré cette ouverture vers d'autres savoirs, tout ne peut être prévisible à la conception du fait des inévitables migrations du système.

Notre travail vise donc à "opérationnaliser" ce processus de migration, afin d'aider les concepteurs si ce n'est à éliminer les situations à risques émergent à l'exploitation, au moins à

mieux les maîtriser. En effet, l'identification des facteurs de migration doit permettre d'apporter des éléments de réponses pour une conception du système plus en adéquation avec son environnement opérationnel futur.

Pour atteindre cet objectif, notre démarche se situe sur tout le cycle de vie du système et s'inscrit dans une logique ascendante (exploitation → conception), selon le schéma qui suit.

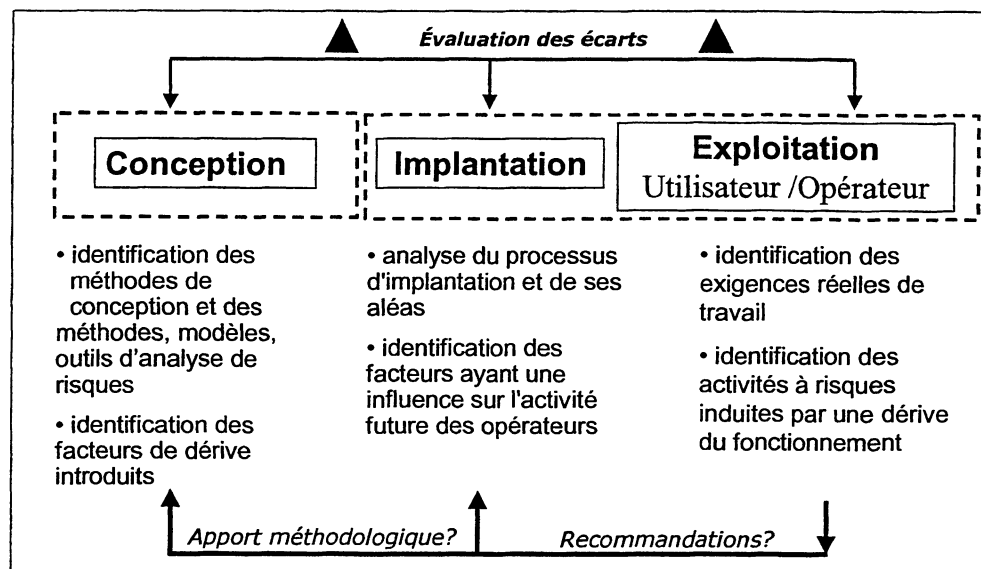


Figure 2 : Démarche de recherche

La présentation de notre travail est articulée autour de trois parties :

- Dans la première partie, nous montrons que si la prévention des risques relève d'une certaine complexité, c'est avant tout parce que la notion de risque intègre une diversité de connotations et de sens. Par conséquent, les méthodes et outils d'analyse de risques ne placent pas leur objet d'étude au même niveau. Dans ce cadre, une revue des différentes approches d'analyse de risques nous permet d'évaluer l'apport et les limites de chacune d'entre elles et de nous positionner par rapport à cette diversité de points de vue (Chapitre I). Une analyse descriptive de l'activité de conception et des démarches de conception nous permet par la suite, d'identifier les difficultés auxquelles doivent faire face les concepteurs pour intégrer la prévention des risques. Ces deux aspects nous permettent finalement de spécifier l'approche actuelle de la prévention des risques à la conception qui constitue le point de départ de notre réflexion (Chapitre II).



- Dans la deuxième partie, nous procédons à l'analyse opérationnelle des différentes phases du cycle de vie d'une rotative : Conception – Implantation – Exploitation. L'identification des modalités d'intégration des risques dans la démarche utilisée par notre concepteur partenaire nous permet d'en cerner les limites et d'envisager dès ce stade, l'introduction de quelques facteurs dont l'impact pourrait s'avérer néfaste sur l'exploitation du système. Le suivi d'une semaine du planning d'implantation d'une ligne d'imprimerie sur son site d'exploitation permet d'identifier des facteurs de migration introduits au cours de cette étape (Chapitre I). Finalement, nous mettons en évidence l'impact des deux phases précédentes sur l'exploitation, par une analyse opérationnelle des situations de travail. En effet, l'exploitation est une phase au cours de laquelle des risques non anticipés, non prévus, non couverts à la conception émergent et se traduisent par le développement d'*activités spécifiques* à risques. Une analyse approfondie de ces activités nous permet de remonter à leurs déterminants dont le concepteur ignore généralement les conséquences : cette analyse constituera le cœur de notre recherche (Chapitre II).
- La troisième partie consiste tout d'abord en une définition et une caractérisation de ces activités spécifiques appelées *Activités Limites tolérées par l'Usage* (ALU), ainsi qu'en une recherche de conceptualisation des facteurs les initiant, appelés *Conditions Limites tolérées par l'Usage* (CLU). La comparaison des ALU identifiées par une autre équipe participant au projet PROSPER (LAMIH) initiera la recherche de généralisation des concepts (Chapitre I). Nous montrons finalement qu'une démarche classique de conception telle que celle décrite dans la première partie, pose le problème du risque lié à la tâche et qu'une maîtrise efficace des risques passe inévitablement par un changement de regard sur la *phase* de conception élargie à un *processus* de conception. Dans ce cadre, pour aider les concepteurs à prendre en compte le processus de migration, nous avons modélisé sous forme d'arbre logique les ALU et CLU. Ces arbres constituent en quelque sorte une traduction synthétique des situations opérationnelles observées, afin que le concepteur en prenne connaissance et surtout qu'il puisse agir sur les scénarios les plus critiques ou éventuellement canalise certains scénarios vers des séquences sans risque. Tous ces aspects nous permettent finalement de développer un modèle retraçant l'évolution des ALU et CLU à travers ce processus, afin d'aider les concepteurs à mieux intégrer le concept de migration dans le cycle de vie du système et donc d'élargir leur démarche (Chapitre II).

---

PARTIE I :

REFLEXION SUR L'INTEGRATION DES RISQUES  
DANS LES DEMARCHES DE CONCEPTION

---

## Chapitre I :

### Le risque : concept, caractérisation et méthodes d'analyse

---

#### I. RISQUE, QUESTION DE POINTS DE VUE

C'est au XVIème siècle, dans le domaine de l'assurance, qu'émerge la notion de risque définie comme "*un mode de traitement spécifique de certains événements qui peuvent advenir à un groupe d'individus, ou plus exactement à des valeurs ou des capitaux possédés ou représentés par une collectivité d'individus, c'est à dire une population*".

Comme nous le verrons, cette définition qui assimile le risque à un mode de traitement, a subi des transformations importantes en traversant les époques.

Actuellement, si l'on se réfère à la définition générale du dictionnaire (Hachette), *le risque est un danger plus ou moins prévisible*. Pour mieux cerner cette notion, nous nous référons à la notion de danger qui est définie comme étant "*ce qui expose à un mal quelconque qui peut compromettre la sécurité ou l'existence de quelqu'un ou de quelque chose*".

Ces deux définitions confirment :

- que la définition initiale du risque a dérivé puisque l'on ne fait plus référence à la *notion de traitement*,
- qu'il existe de réelles "ambiguïtés" liées aux termes risque et danger se traduisant par des difficultés à exprimer leur sens propre.

Les sens et connotations attribués au terme risque sont nombreux. En effet, une revue de la littérature permet de se rendre compte que sa définition n'est pas la même selon le domaine qui l'élabore. Il n'existe pas à proprement parler de point de vue unanime. Et cela s'explique presque naturellement par le fait qu'**un système complexe n'est pas confronté à un seul type de risque, mais à des risques multiples**.

De ce fait, selon que l'on se situe dans le domaine de la Sûreté de Fonctionnement (SdF), de la gestion ou de la psychologie, les analyses ne portent pas sur le même objet d'étude. Chacune des approches étant centrée sur un objet d'étude qui lui est propre, il est par conséquent difficile d'appréhender de façon systémique les risques inhérents à un système industriel. Or, de nombreux travaux ont montré que cela s'avère indispensable<sup>1</sup>. Par exemple, Rasmussen

(2001) faisant un bilan de ses travaux, insiste sur le fait que même si les causes d'accidents sont à rechercher au niveau des erreurs humaines dans 70 à 80% des cas, lorsque l'on approfondit les analyses, on constate qu'en réalité, il existe une coïncidence complexe entre les erreurs, les violations et les fautes techniques. L'auteur souligne également que les accidents ne sont pas le fruit de coïncidences hasardeuses, mais bien au contraire d'une dérive systématique des performances de l'organisation qui est sous la pression d'une compétitivité importante.

Le but de notre analyse s'inscrit dans cette vision des accidents, intégrant au mieux les aspects humains, techniques et organisationnels, tout en étant conscient que l'on ne pourra jamais atteindre l'exhaustivité.

Nous abordons donc cette partie en réalisant un tour d'horizon des différents domaines qui abordent la question des **risques industriels** et qui s'attachent à les identifier voire les évaluer : l'objectif étant d'apprécier la portée de chacun d'entre eux et voir éventuellement quelles sont les complémentarités ou oppositions.

C'est tout d'abord dans le **domaine de la Fiabilité<sup>1</sup>**, devenue par la suite la **Sûreté de Fonctionnement (SdF)**, qu'ont été menées des analyses de risques. Les risques sont à ce niveau presque exclusivement **centrés sur les défaillances techniques** et résultent d'évaluations en termes de probabilité et de gravité. On citera, par exemple Villemeur (1988) qui considère **le risque comme la mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences.**

Actuellement, certains auteurs reviennent sur la notion de *mesure* qui ne leur semble pas adaptée. Par exemple, selon Dutuit (2001), ce terme fait référence à la notion de comparaison de valeurs de certaines grandeurs par rapport à une valeur étalon. Or, ce que l'on cherche à faire, c'est soit déterminer la valeur numérique d'une grandeur bornée, soit situer cette grandeur dans un intervalle divisé en classes de niveau disjointes. L'auteur propose donc les termes *détermination*, *évaluation* et *estimation*. Cela montre toute la difficulté liée à la notion de risque puisqu'au sein d'un même domaine, les points de vue ne sont pas forcément convergents.

Cette idée d'évaluation des risques renvoie aux notions de *risque objectif* et de *risque subjectif*. **Le risque objectif** repose sur des données observées, traitées selon différents

---

<sup>1</sup> Reconnue comme science de l'ingénieur par l'académie des sciences en 1962.

principes mathématiques, correspondant à des hypothèses plus ou moins explicitées (Chesnais, 1990). Il repose sur des mesures déterminées a posteriori selon une approche fréquentielle ou bayésienne (Dutuit, 2001 A).

**Le risque subjectif** quant à lui, concerne essentiellement le risque qui ne peut être évalué par des méthodes formelles (contrairement aux risques précédents). Cela consiste à réaliser une évaluation a priori qui nécessite le recours à des jugements d'experts exploités selon une procédure bayésienne (domaine des probabilités subjectives).

Toute la difficulté repose sur la recherche d'une complémentarité efficace entre le risque objectif, estimé à partir de données caractérisant une situation donnée, et le risque subjectif, évalué par un individu donné de cette situation.

Les risques estimés dans le domaine de la SdF correspondent en réalité à **une recherche d'optimisation des performances techniques** : le but est d'obtenir et/ou de concevoir un système techniquement fiable. C'est une **donnée qui figure prioritairement dans le Cahier des Charges (CdC)**. Elle s'avère donc indispensable à prendre en compte au niveau de la conception. La "stratégie" de réduction des risques dans ce domaine, consiste à intervenir au niveau de la réduction de l'occurrence des défaillances, ou d'interposer des défenses techniques, ou encore d'essayer de mettre en place un processus de tolérance aux fautes (Laprie et al, 1995).

De façon pratiquement parallèle, les recherches ont porté sur les aspects humains par le biais du courant de **la fiabilité humaine** considérant que les **risques inhérents au système sont largement induits par les erreurs humaines**. Ce courant s'inscrit donc dans une volonté de réduction des *erreurs* et pour cela, il s'est largement inspiré des principes quantitatifs de la SdF pour **évaluer la probabilité d'erreur humaine**. L'homme est alors considéré comme le maillon faible du système dont il faut prévoir les erreurs pour mieux les parer, éventuellement réduire l'intervention au maximum, ou mieux rechercher une élimination du système.

Ce point de vue a beaucoup évolué par la suite, avec le constat que malgré une automatisation croissante des systèmes, l'homme reste indispensable pour surveiller et intervenir en cas de dysfonctionnement. Les recherches ont alors porté sur **la connaissance du fonctionnement de l'opérateur humain par le développement des approches psychologiques**. Ces approches explicatives ne cherchent plus à considérer l'homme comme un simple exécutant, mais plutôt à l'envisager comme un acteur intelligent dont l'activité est à dominante mentale (Fadier, 1996).

Dans ce cadre, les risques doivent être envisagés du point de vue psychologique, selon lequel plusieurs notions sont abordées : risque subi, risque affronté (ou *prise de risque*), risque interne, risque externe ; c'est une approche qui vise à expliquer comment l'opérateur parvient à gérer le risque, comment il le perçoit, elle vise notamment à savoir si l'opérateur a délibérément choisi de mettre en œuvre une activité à risque ou bien s'il n'avait pas connaissance de ce risque... Bien que toutes ces notions soient importantes et inter-reliées, nous n'en développons que deux et les agrémentons par des exemples issus du terrain d'observation :

- *le risque est subi* lorsqu'un individu est obligé de prendre une décision par rapport aux éléments qui l'entourent, alors qu'il n'est pas maître de la situation critique à laquelle il est confronté, puisque c'est une tierce personne qui en a la maîtrise (dans le cadre des rotatives d'imprimerie, c'est par exemple le cas d'un opérateur qui, soumis à une pression temporelle importante, est contraint d'enlever manuellement du papier bourré dans la plieuse, alors que c'est son collègue qui manipule les commandes d'avance des organes mobiles susceptibles de lui broyer les mains<sup>2</sup>).
- *Le risque affronté* peut être défini classiquement comme la possibilité hasardeuse d'encourir mal avec l'espoir d'obtenir un bien. C'est l'opérateur lui-même qui décide de prendre ou non ce risque par rapport à différents critères que Goguelin et Cuny (1988) ont identifiés, tels que : l'absence de formation (qui peut conduire un individu à prendre un risque par non-conscience de celui-ci), l'appartenance à un groupe, les pressions organisationnelles, l'accoutumance au danger, une sécurité excessive qui peut paraître illogique ou contraignante... Dans le cadre des imprimeries, c'est le cas lorsqu'un opérateur décide d'intervenir en marche sur un organe, alors qu'il peut déclencher un arrêt du système.

Toujours dans ce courant que l'on peut qualifier d'anthropocentré, par opposition au courant technocentré de la SdF, Reason (1993) développe un point de vue organisationnel qui tente de recréer la genèse de l'accident à travers différentes dimensions socio-techniques. Le risque correspond à la coïncidence de défaillances et actes risqués, sur les différents niveaux constituant une organisation de travail.

---

<sup>2</sup> Sachant que la procédure préconisée consiste à ce que ce soit un seul opérateur qui manipule dans les organes et qui actionne les commandes.

Dans ce courant également, l'**ergonomie** s'attache **plus spécifiquement à prévenir les risques induits par l'écart existant inévitablement** (dans une certaine mesure) **entre la tâche prescrite et l'activité réelle** et vise à transformer le travail pour réduire cet écart. En effet, l'organisation du travail (prescrite par le concepteur ou l'encadrement) définit les contraintes et les règles formelles à respecter pour réaliser une opération. Dans ce cadre, la fiabilité de l'opération repose sur l'exécution correcte du travail prescrit et le respect des consignes rigoureusement définies. Or, de nombreux travaux ont montré que cette prescription ne peut jamais être respectée et son adaptation par rapport au contexte opérationnel induit généralement des risques pour les opérateurs, pour le système et parfois même pour l'environnement proche ou lointain.

Enfin, un dernier **courant** qualifié de **combinatoire** a également émergé : il **prend en considération à la fois les aspects quantitatifs de la fiabilité humaine et les principes de la psychologie explicative**.

En réalité, **les risques relatifs à l'activité humaine** (concernant la santé/sécurité des opérateurs), auxquels s'intéressent ces différentes approches anthropocentrées sont des données qui **font rarement partie du CdC défini par le client**, puisque la priorité est donnée aux performances techniques assurant la productivité de l'installation, c'est à dire aux risques de défaillances techniques. C'est pour cette raison que l'utilisation de ces approches reste relativement restreinte dans le monde industriel.

**Paradoxalement, les aspects de santé/sécurité sont à prendre en compte obligatoirement du point de vue de la législation.**

En effet, dès 1981, les machines mises sur le marché devaient répondre à des obligations de sécurité. Selon les risques qu'elles présentaient, elles devaient être soumises à un contrôle préalable avant leur commercialisation, ou être certifiées conformes à la réglementation par les constructeurs eux-mêmes (procédure d'auto-certification). Les Directives Européennes de 1989 ont repris ces principes et étendu le champ d'application de ces dispositions aux équipements de travail et aux équipements de protection individuelle. Ces directives ont mis en application ce qui a été défini comme la **"nouvelle approche" en matière d'harmonisation technique** : elles fixent les "exigences essentielles" de sécurité et renvoient vers la normalisation le soin d'élaborer des spécifications techniques permettant de répondre à ces exigences essentielles (Pietruszynski, 1996, Ciccotelli, 1997).

En d'autres termes, **l'approche normative** relative à la prévention des risques propose des solutions techniques commodes que les concepteurs utilisent pour arriver à satisfaire cette

obligation de résultat (i.e. le respect des exigences essentielles de la réglementation) (Soudry, 2000). Son application est plutôt simple à réaliser par rapport à la mise en œuvre d'une approche anthropocentrée, mais sa limite est qu'elle n'autorise pas (ou peu) une réelle intégration des aspects relatifs à la santé/sécurité.

Le risque n'est pas précisément défini par cette approche normative, il est envisagé en tant que phénomène dangereux à éviter et de ce fait, les normes procèdent à un listage des aspects matériels à appliquer.

Enfin, une dernière **approche qualifiée de socio-technique** s'attache à mettre en adéquation les dimensions humaines et techniques et **considère le risque plutôt comme un symptôme de dysfonctionnement du couple homme/système de travail ou homme/organisation du travail** (Favaro, 2001). Cette approche nous intéresse plus particulièrement, car elle envisage une complémentarité des points de vue.

Notre but n'est pas de plaider pour l'excellence de telle ou telle approche, mais plutôt de les aborder sous leurs aspects complémentaires, afin d'essayer de mener des analyses de systèmes dans leur globalité.

De notre point de vue, il est nécessaire d'analyser conjointement deux natures de risques élémentaires en perpétuelle interaction, en lien avec les travaux qui ont montré l'importance des interactions homme – machine (Figure 3) :

- les risques relatifs au système technique,
- les risques relatifs à l'Homme.

Nous utilisons donc les deux domaines fondamentaux en matière d'exploitation de systèmes industriels : la Sûreté de Fonctionnement<sup>3</sup> du système et la sécurité des opérateurs.

Selon la SdF, les risques sont plus spécifiquement liés aux composants intrinsèques du système technique. Pour caractériser cette famille de risques, nous nous sommes basés sur les concepts alimentant la définition de la SdF que nous avons interprétés en termes de risques :

- les risques liés à la **fiabilité** correspondent à un non-fonctionnement du système dans des conditions données pendant un temps donné. Cette notion concerne essentiellement l'apparition de défaillances,

---

<sup>3</sup> Selon Villemeur (1988), la Sûreté de Fonctionnement est définie comme l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Au sens large, elle est considérée comme la science des défaillances et des pannes.



- les risques liés à la **disponibilité** correspondent à un non-fonctionnement du système au moment où on le sollicite. Cette notion concerne les défaillances latentes qui empêchent la mise en marche du système,
- les risques liés à la **maintenabilité** correspondent à l'apparition d'un nouveau dysfonctionnement sur le système lors de la suppression du dysfonctionnement d'origine,
- les risques liés à la **sécurité** correspondent à la génération par le système d'événements indésirables pour le personnel, le public ou l'environnement.

En utilisant les notions issues de la SdF, on obtient un panel exhaustif des risques susceptibles d'affecter le système technique.

Pour caractériser les risques relatifs à l'homme, nous considérons l'interaction de celui-ci avec le système et le contexte d'utilisation ; dans ce cadre on peut discerner :

- les risques liés à la **sécurité** induits par une utilisation du système en adéquation avec les exigences opérationnelles, mais pas forcément conformes aux prescriptions de sécurité. Nous estimons qu'il peut exister deux types de causes à l'origine de ces risques :
  - des causes directes dans le sens où elles proviennent de l'activité de l'opérateur (par exemple : une erreur dans l'ouverture d'une vanne de gaz),
  - des causes indirectes indépendantes de l'activité de l'opérateur qui ne peut que les subir et qui sont dues à un manque de fiabilité du système (par exemple : l'explosion d'un composant).
- Les risques liés à la **santé** correspondant aux maladies, à la fatigue physique ou intellectuelle, au stress... peuvent être engendrés par de mauvaises conditions de travail (postures fatigantes et inadaptées, bruit, manipulation de produits dangereux, pression temporelle...).

Il est important de souligner qu'en plus de ces aspects socio-techniques, un autre type de risque conditionne la prise en compte des risques à la conception et favorise l'apparition des risques à l'exploitation : **le risque financier**.

**Au stade de la conception**, toute la difficulté réside en l'évaluation de l'investissement lié au projet. Cette évaluation doit être adaptée au prix de vente final du système à concevoir. Le concepteur<sup>4</sup> a la responsabilité de définir l'investissement nécessaire tout en optimisant le

---

<sup>4</sup> terme générique pour désigner toutes les entités en relation avec l'évaluation des moyens financiers pour la conception de machines.

compromis *coût de conception/réalisation – prix de vente du système – délais de conception*, pour pouvoir commercialiser à un prix le plus concurrentiel possible le système en question.

Ce choix de départ va conditionner tous les paramètres impliqués dans la conception du système et donc influencer la structure finale du système. On peut citer par exemple :

- les coûts et les délais alloués aux études préalables portant sur la définition de la mission du système,
- le nombre d'acteurs impliqués et la mixité ou non de la nature de leurs compétences,
- les moyens attribués pour la recherche de solutions nouvelles et innovantes...

**Ce risque financier peut donc être considéré comme initiateur des risques opérationnels** observés dans les situations de travail, puisque c'est lui qui conditionne les choix finaux (aux niveaux technologique, organisationnel, humain...) permettant la réalisation du système.

**Au stade de l'exploitation, la nécessité de rentabiliser l'installation** est à l'origine d'un **antagonisme entre la sécurité et la productivité** : comme nous le verrons par la suite, la difficulté à laquelle doivent faire face les opérateurs est de trouver un moyen pour prémunir d'un accident tout en maintenant la production, donc éviter les arrêts du système.

La Figure 3 récapitule les différentes natures de risques que nous privilégions dans notre réflexion.

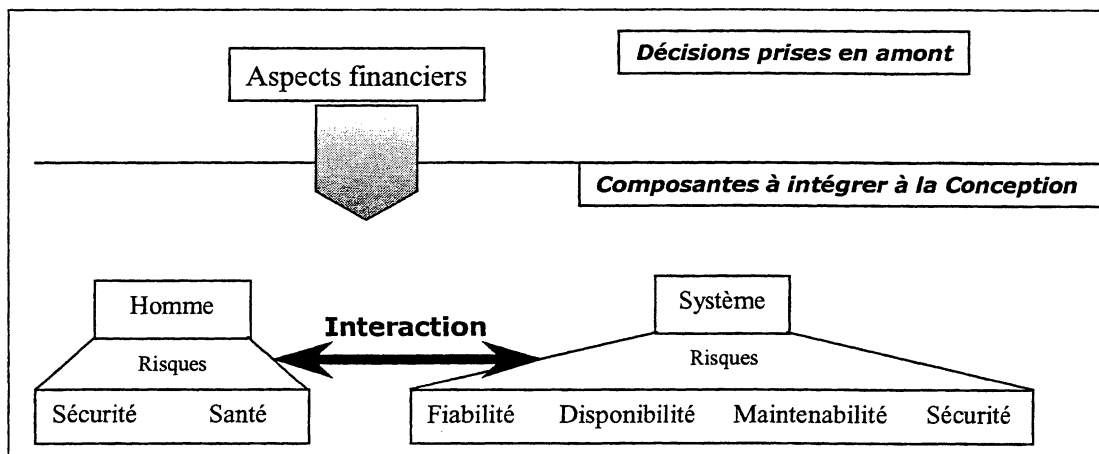


Figure 3 : Interaction entre les différentes natures de risques

Les risques liés à la sûreté de fonctionnement du système sont en grande partie gérables et "anticipables" au moment de la conception, car ils reposent sur des caractéristiques intrinsèques techniques du système. Par contre, les risques inhérents à l'activité humaine sont par nature très difficiles à anticiper, car ils apparaissent au carrefour de plusieurs dimensions :

contraintes techniques, contraintes opérationnelles, contraintes organisationnelles, caractéristiques inter – intra individuelles...

Pour conclure, nous dirons qu'il n'est pas simple de s'engager dans un essai de clarification du concept de risque. De nombreux séminaires (Ecole d'été d'Albi sur la "Gestion scientifique du risque : Science du danger, concepts, enseignements, et applications", 1999 ; Séminaires risque du CNRS, 2000, 2001) et organisations pluridisciplinaires (Observatoire de l'opinion sur les risques et la sécurité, Réseau ARI<sup>5</sup> - Groupe MADS<sup>6</sup>) s'attachent à le définir, mais finalement l'unanimité semble ne pas exister à l'heure actuelle.

Notre but est donc de voir dans quelle mesure chacune des approches décrites, analyse le risque (les aspects qu'elles parviennent à couvrir et ceux qu'elles n'intègrent pas), afin d'envisager une démarche permettant d'aborder les risques inhérents à un système socio-technique.

Nous avons discerné quatre types d'approches : l'approche centrée sur la sûreté de fonctionnement, l'approche centrée sur la dimension humaine, l'approche normative et un dernier type d'approche mixte qui semble plus réaliste et en adéquation avec la caractérisation des risques que nous venons de construire : l'approche socio-technique.

## **II. L'ANALYSE DES RISQUES A TRAVERS DIFFERENTES APPROCHES**

### **II.1. Approche technocentrée**

Cette approche technocentrée repose sur les fondements de la Sûreté de Fonctionnement (SdF) et pour laquelle nous décrivons les différentes étapes d'une démarche d'Analyse de risques, ainsi que les différents outils d'Analyse de risques existant actuellement (le type de raisonnement mis en jeu, les données sur lesquelles se basent ces outils), afin de **déterminer leur portée et leurs limites au niveau de la conception.**

#### **II.1.1. Les étapes d'une démarche d'analyse de risques**

Plusieurs auteurs (Villemeur, 1988 ; Favaro et al, 1990 ; Leroy et al, 1992) proposent des démarches générales d'analyse des risques, afin de guider les analystes et à partir desquelles

---

<sup>5</sup> Analyse du Risque Industriel.

<sup>6</sup> Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes.

nous avons réalisé une synthèse. Nous décrivons succinctement les différentes étapes d'une telle approche :

- l'analyse est d'abord précédée d'une **étape préliminaire** qui consiste à définir les objectifs de la démarche et qui conditionne tout son déroulement.
- l'étape suivante correspond à la **définition du système** à étudier qui consiste à réunir la documentation relative à ses caractéristiques techniques et fonctionnelles, en vue de réaliser une analyse fonctionnelle.
- **l'identification des risques liés au système** est réalisée grâce à des méthodes de nature inductive qui ont été développées pour permettre une identification plus systématique de ces risques.
- l'utilisation de ces méthodes aboutit à **une modélisation de la sûreté de fonctionnement et des défaillances l'affectant**. La mise en œuvre des méthodes inductives pour l'identification des risques conduit à sélectionner parmi ces derniers les plus dommageables. Il s'agit alors d'établir un modèle représentant correctement les liaisons de causalité entre chacun des dysfonctionnements et des événements primaires. D'une manière générale, l'analyste est amené pour cela à effectuer un certain nombre d'hypothèses.

Ces quatre premières phases constituent **l'analyse qualitative** qui permet d'identifier les défaillances et de les articuler les unes par rapport aux autres.

- **l'analyse quantitative** consiste à évaluer, à partir des modèles, la probabilité de matérialisation des risques évalués. Ces probabilités sont obtenues par le traitement mathématique du modèle et par la prise en compte des données relatives aux événements élémentaires.
- **la synthèse** des analyses qualitative et quantitative mettra en évidence, par exemple, les défaillances et leur combinaison qui compromettent la sûreté de fonctionnement du système ainsi que les composants les plus critiques ou les missions les plus importantes du système. Seront alors dégagées essentiellement des améliorations techniques (mise en place de redondances, amélioration de fiabilité de composants...), ainsi que quelques éléments touchant à la dimension humaine (modification des procédures, port de protections individuelles...) et organisationnelle (maintenance préventive de certains

composants...), susceptibles d'augmenter la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité ou la sécurité.

Les conclusions d'une Analyse de risques peuvent être très différentes selon les objectifs poursuivis. Lors du choix des solutions, il est important de rester vigilant sur le fait qu'en améliorant un aspect, on risque d'en détériorer un autre. Il est donc indispensable de traiter les différents aspects simultanément afin de trouver des compromis, en particulier entre la sécurité/fiabilité, d'une part et la disponibilité/productivité, d'autre part.

Villemeur (1988) souligne le fait que malgré un découpage de la démarche en plusieurs phases, « *certaines étapes restent très liées entre elles et mutuellement dépendantes* », traduisant le caractère interactif de la démarche. Il précise également que cette démarche a un caractère itératif puisque « *les premières conclusions de l'étude entraînent généralement des améliorations et modifications du système. L'influence de celles-ci est alors évaluée, et ainsi de suite jusqu'au respect de certains objectifs.* »

Une démarche d'analyse de risques repose sur la construction d'une représentation du fonctionnement et résulte de l'utilisation combinée de plusieurs outils d'analyse de risques.

De plus, elle peut être menée au cours des différentes phases du cycle de vie d'un système (Fadier, 1989) :

- à la conception, les méthodes dites prévisionnelles permettent de s'assurer au préalable que le système répond aux exigences de la sûreté de fonctionnement, avant de le livrer à l'utilisateur. Dans ce cas, la difficulté réside dans le fait qu'il faut se baser sur un système virtuel dont on ne connaît pas encore le fonctionnement opérationnel (analyses a priori).
- appliqués sur des systèmes existants, les outils d'analyse de risques permettent dans une certaine mesure de contribuer à leur amélioration. Nous soulignons par ailleurs, qu'il n'est pas aisé de procéder à une adaptation du matériel a posteriori (le champ d'action reste relativement restreint).

C'est le premier point qui nous intéresse plus particulièrement : comment assurer la prévention des risques dès la conception du système ?

Les outils d'analyse de risques se répartissent en deux grandes familles qui se différencient par leur technique de raisonnement (Ho, 1976 ; Lievens, 1976) :

- les méthodes inductives partent des causes de défaillances et remontent jusqu'aux conséquences que l'on souhaite éviter (*Bottom up*).
- les méthodes déductives sont au contraire des méthodes descendantes puisque l'on part de l'événement indésirable et on recherche toutes les causes susceptibles d'entraîner cet événement (*Top down*).

Nous verrons que ces deux types de raisonnement sont complémentaires, car si les outils utilisant des modes de raisonnement inductif permettent une identification systématique des risques, les outils basés sur un raisonnement déductif permettent de reconstituer les séquences d'événements conduisant à ce risque.

Dans ce cadre, nous développons quelques méthodes significatives d'analyse de risques, regroupées en trois familles : les méthodes d'analyse de risques prévisionnelles qualitatives, les outils de représentation combinatoire du risque (méthodes statiques), les méthodes dynamiques de fiabilité. Le but n'est pas de les décrire, mais plutôt de réaliser une analyse critique pour apprécier l'apport de chacune d'elles.

L'approche SdF est privilégiée au niveau industriel, car comme on l'a souligné précédemment elle permet de garantir les performances techniques du système, aspects prioritaires du CdC.

### ***II.1.2. Les méthodes d'analyse de risques prévisionnelles qualitatives***

Ce sont des méthodes inductives et purement qualitatives qui ont pour objectif principal la mise en perspective des sources de risques et la détermination de leur mode d'apparition.

Nous ne détaillerons pas toutes les méthodes de ce genre. Nous ne présenterons qu'une seule méthode, l'AMDE, considérée comme la plus significative et qui a constitué une base pour le développement d'autres méthodes (HAZOP<sup>7</sup>, APD<sup>8</sup>).

#### ***AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets)***

Cette méthode a été mise au point dans les années 1960 dans le domaine de l'aéronautique, puis elle s'est imposée peu à peu dans différents domaines tels que le spatial, le nucléaire, la chimie, l'industrie automobile... (Villemeur, 1988). C'est actuellement l'outil d'analyse le

---

<sup>7</sup> HAZard and OPerability study, cette méthode a été initialement développée par la société "Imperial Chemical Industries" au début des années 1970 (Villemeur, 1988).

<sup>8</sup> Analyse Préliminaire des Danger, cette méthode préalable à toutes les études de sécurité a été utilisée dans les années 1960 aux Etats-Unis par les industries chimiques, aéronautiques et nucléaires. (ISDF, 1994).

plus utilisé et l'un des plus efficaces parmi l'ensemble des techniques inductives disponibles (Fadier, 1992 ; Favarro et al, 1990). Cela se justifie par le fait qu'elle demande essentiellement du bon sens et de la réflexion plutôt que des connaissances théoriques approfondies (Leroy et al, 1992).

L'objectif de cette méthode est de recenser les modes de défaillances pouvant affecter les éléments d'un système, mais aussi d'analyser les conséquences de ces dysfonctionnements. Cette méthode consiste donc à considérer, les uns après les autres, tous les composants du système. Pour cela, elle nécessite une phase préliminaire de description fonctionnelle et structurelle du système afin de cibler dès le départ l'analyse à réaliser, i.e. la profondeur à atteindre (Fadier, 1989).

La méthode se divise en quatre étapes et se caractérise par une présentation sous la forme de tableaux :

- Etape 1 : Définition du système, de ses fonctions et de ses composants,
- Etape 2 : Etablissement des modes de défaillances<sup>9</sup> des composants et de leurs causes,
- Etape 3 : Etude des effets des modes de défaillances (en supposant un seul mode de défaillance sur un composant, les autres étant tous en état de fonctionner),
- Etape 4 : Proposition d'actions correctives et de mesures préventives pour l'élimination et la maîtrise des risques détectés.

Il est possible de compléter cette approche par une évaluation de la criticité (la méthode est alors appelée AMDEC) qui consiste à combiner un degré de gravité et une probabilité d'occurrence relatifs à une défaillance. Ces critères seront définis semi-qualitativement par "jugements d'experts" selon différentes classes de probabilité et de gravité.

Selon Laprie (1995), *"les tableaux résultant de l'AMDEC sont utiles pour la conception, en guidant certains choix et en permettant de détecter (et modifier) le plus tôt possible certaines lacunes"*.

Par son principe systématique d'étude de chaque composant, l'AMDEC permet à l'analyste d'acquérir une très bonne connaissance du système en l'obligeant à se poser des questions sur le rôle de chaque composant.

---

<sup>9</sup> On définit un mode de défaillance comme l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système

Cependant, l'AMDE(C) fait preuve de certaines limitations (Villemeur, 1988 ; Fadier, 1990 ; Laprie et al, 1995) :

- l'étude des modes de défaillances les uns après les autres ne permet pas de se rendre compte de l'effet combinatoire de certaines défaillances sur le système ou de l'enchaînement des événements conduisant à une défaillance.
- il est pratiquement impossible de déterminer tous les modes de défaillances de manière exhaustive.
- elle nécessite une prise en compte d'une quantité importante d'informations notamment dans le cas de systèmes complexes.
- la méthode fait preuve d'une certaine lourdeur lorsqu'il s'agit d'analyser tous les composants d'un système quelle que soit leur importance et conduit à la création d'un document volumineux qui pourrait devenir difficilement exploitable.

Néanmoins, Laprie (1995) souligne un aspect intéressant de cette méthode par le fait que sa mise en œuvre peut faire émerger certains aspects de la composante humaine. En effet, l'opérateur apparaît en tant que *cause de défaillances de composants* et en tant que *mode de compensation des défaillances matérielles*. Ainsi, on pourrait peut-être imaginer que cette méthode puisse procurer un point d'entrée pour inciter une coopération entre ergonomes et fiabilistes.

### ***Synthèse sur l'apport des outils d'identification de risque, à la conception***

Ces outils constituent une aide importante pour la détection de défaillances pouvant affecter un système, dès la phase de conception. Cependant, ils ne peuvent à eux-seuls apporter une représentation complète des risques auxquels est exposé le système, notamment en raison du manque de mise en relation des défaillances les unes par rapport aux autres, c'est à dire de représentation combinatoire. Par ailleurs, ces outils ne sont pas suffisants pour apporter une vision claire du rôle de l'homme au sein du système. Même si certaines méthodes n'occultent pas cette dimension, elles n'ont pas la capacité de réaliser une analyse approfondie des activités mises en œuvre par les opérateurs.



### **II.1.3. Les outils de représentation combinatoire des risques (méthodes statiques)**

Ce sont des méthodes dites *statiques* qui consistent à mener une analyse à partir de la structure et de la logique de fonctionnement du système, sans tenir compte de son évolution possible dans le temps.

Par ailleurs, elles sont mixtes dans le sens, où elles peuvent être inductives ou déductives ou les deux et elles permettent soit une analyse qualitative, soit une analyse quantitative. Nous ne détaillerons, ici encore, que quelques méthodes qui restent significatives, mais de nombreuses méthodes de ce type existent (MCPR<sup>10</sup>, MDS<sup>11</sup>, MTV<sup>12</sup>...).

#### **La méthode de l'Arbre d'Evénements (MAE)**

L'utilisation de cette méthode remonte aux années 70 aux Etats-Unis pour l'évaluation des risques dans les centrales nucléaires (Villemeur, 1988). Elle est très utilisée dans ce domaine pour l'identification significative d'accidents (Jeannette et al, 1985), notamment depuis la parution du rapport Wash-1400 (US Nuclear Regulatory Commission, 1975). Son principe dérive de la méthode des arbres de décisions utilisée dans l'analyse de décision (Villemeur, 1988).

Les arbres d'événements ont un formalisme essentiellement graphique : représentation sous forme arborescente dont chaque "branche" correspond à un événement (c'est à dire survenue d'une panne, déclenchement d'une parade...). Ces arbres permettent donc de représenter un ensemble de séquences d'évènements induites par un événement survenu initialement et appelé « événement initiateur ». Chaque séquence traduit donc une trajectoire du système, les conséquences obtenues peuvent être jugées acceptables ou inacceptables.

L'événement initiateur peut être normal ou anormal, externe ou interne au système étudié. S'il est anormal et interne au système, il est peut être l'une des défaillances envisagées dans l'AMDE dont l'arbre d'événements constitue un prolongement.

---

<sup>10</sup> Méthode des Combinaisons des Pannes Résumées (MCPR), cette méthode a été créée dans le domaine de l'aéronautique, conjointement par la Société Nationale des Industries Aéronautiques et Spatiales (SNIAS) et les Autorités de certification du ministère de l'air français, pour l'analyse de la sécurité des avions Concorde et Airbus (Villemeur, 1988). Son principe repose sur la détermination de manière inductive des combinaisons de défaillances identifiées avec l'AMDE.

<sup>11</sup> Historiquement, la Méthode du Diagramme de Succès (MDS) est la première à avoir été utilisée pour analyser des systèmes et permettre des calculs de fiabilité (Villemeur, 1988). Le principe de cette méthode consiste à construire un diagramme composé de blocs, chacun d'eux représentant une entité (composant, sous-système, voire une fonction), reliés par des lignes orientées indiquant les dépendances des entités entre elles. Le comportement des entités est binaire (fonctionnement/défaillance).

<sup>12</sup> Basée sur l'algèbre booléenne, la Méthode de la Table de Vérité (MTV) permet d'identifier tous les états (fonctionnement ou panne) du système à partir de comportements binaires (Villemeur, 1988).

La construction de l'arbre est réalisée à partir d'une logique binaire (échec ou réussite de l'événement). Par convention, les branches supérieures correspondent aux réussites des événements. Chaque événement conduisant à identifier deux états successifs possibles, un nombre  $n$  d'événements pris en considération entraînera  $2^n$  chemins possibles et par conséquent autant d'éventualités finales.

Les probabilités des séquences peuvent être calculées. Ce calcul est relativement simple quand tous les événements sont indépendants entre eux, mais peut devenir complexe pour certaines dépendances.

La Figure 4 illustre par un exemple le formalisme de l'arbre d'événements.

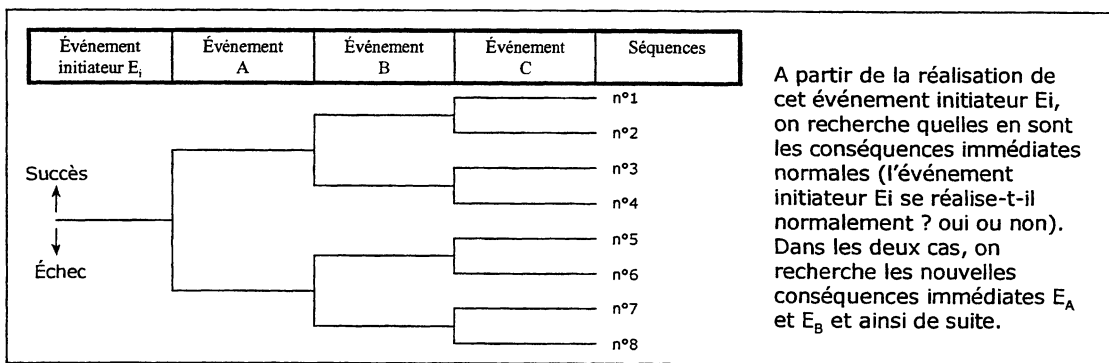


Figure 4 : Formalisme de l'Arbre d'Événements

A chaque branche de l'arbre d'événements peut être associé un arbre de défaillances qui permet de retracer le scénario de l'échec des événements identifiés dans l'arbre d'événements. Cette construction permet également le calcul de la probabilité d'occurrence d'une séquence (Figure 5).

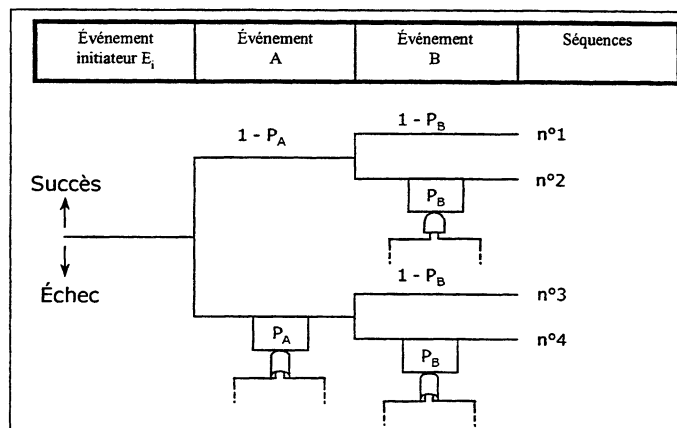


Figure 5 : Association des Arbres d'Événements et des Arbres de Défaillances

Chaque branchement de l'arbre constitue l'échec ou le succès d'une parade permettant d'éviter un incident ou un accident. Cependant, certains auteurs (Ducamp et al, 2000) suggèrent de procéder à des branchements multiples permettant de considérer d'autres alternatives que l'échec ou le succès : le semi-échec correspond, par exemple (pour une parade mettant en jeu deux composants), à une panne d'un seul des deux composants. Cette différenciation est réalisée dans le but de mieux maîtriser les incidents ou accidents en agissant sur les scénarios impliquant des composants défaillants.

Pour conclure, nous pouvons dire que l'arbre d'événements est un outil qui permet d'identifier toutes les conséquences d'un événement initiateur sur un système et de mettre en évidence les interactions entre sous-systèmes. La construction de l'arbre permet d'évaluer qualitativement le *poids* de chacun de ces sous-systèmes, c'est à dire identifier les sous-systèmes dont le dysfonctionnement entraîne des conséquences inacceptables et les sous-systèmes dont le dysfonctionnement n'induit pas un préjudice majeur sur le système. Ainsi, l'outil permettra d'estimer la robustesse du système. Cette méthode permet de s'assurer que les fonctions de sécurité liées à chaque sous-système sont suffisamment efficaces.

De plus, le calcul de la probabilité d'occurrence de chaque séquence permet de hiérarchiser les mesures à mettre en place.

Au niveau de la prise en compte de la dimension humaine, il est possible de transformer l'arbre d'événements du système en arbre d'événements des actions de l'opérateur (ISDF, 1994). Cette construction consiste à identifier les actions de l'opérateur qui permettraient de limiter les conséquences du dysfonctionnement d'un sous-système et ainsi, de juger de leur efficacité et faisabilité. Ce type de diagramme présente également l'avantage de permettre aux ingénieurs et aux fiabilistes de travailler sur les mêmes bases.

### ***L'Arbre de Défaillances (AdD)***

Cette méthode déductive a été créée en 1962 par la société Bell dans le cadre du programme pour le lancement du missile MINUTEMAN pour lequel elle a permis d'identifier et d'éliminer plusieurs points faibles (Lievens, 1976). Elle est couramment utilisée dans de nombreux domaines industriels tels que l'aéronautique, le nucléaire, la chimie... (Villemeur, 1988). Elle a fait l'objet de normes internationales (UTE C 20-318, CEI 1025, ECSS-Q-40-12) qui définissent notamment la symbologie à utiliser. Elle est très utilisée dans le domaine industriel (Fadier, 1992).

Dans son principe, la méthode repose sur la représentation graphique des combinaisons d'événements qui conduisent à la réalisation d'un événement indésirable unique et bien défini (événement de tête ou sommet) constituant le point de départ de l'analyse (Lievens, 1976).

Le raisonnement déductif consiste donc à construire un arbre formé de niveaux successifs tels que chaque événement soit engendré par un événement de niveau inférieur, pour finalement obtenir des événements élémentaires caractérisés par trois critères essentiels : ils sont indépendants entre eux, leurs probabilités peuvent être estimées et enfin, les spécialistes n'éprouvent pas le besoin de les décomposer en combinaisons d'événements plus simples.

La méthode permet donc d'atteindre les objectifs suivants :

- déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable unique,
- représenter graphiquement ces combinaisons au moyen d'une structure arborescente.

Pour Limnios (1991), la construction de l'arbre est un travail très vaste qui nécessite une connaissance approfondie du système complexe étudié :

- d'une part une connaissance "horizontale" en lien avec le chevauchement de disciplines variées (mécanique, chimie, électronique, informatique...),
- d'autre part une connaissance "verticale" correspondant à une bonne définition de l'événement indésirable qui dépend de la définition précise des liens logiques existant entre les différents composants de ce système et de leurs modes de défaillance.

Il est donc fortement conseillé de faire collaborer les différents spécialistes qui interviennent dans la réalisation du système, depuis le concepteur jusqu'à l'opérateur, pour la construction de l'arbre.

L'événement de tête peut être défini a priori comme étant un événement potentiel connu, caractéristique du système étudié et mis en évidence par l'expérience, en particulier par l'analyse des incidents qui se sont produits sur le système étudié ou sur des systèmes équivalents.

L'articulation des différents événements intermédiaires entre eux est réalisée en utilisant généralement des portes logiques : et, ou... L'AdD construit peut faire l'objet d'un traitement qualitatif qui repose sur l'algèbre de Boole, du fait de l'utilisation de ces portes logiques. Le traitement consiste à rechercher les *coupes minimales*, c'est à dire à rechercher la plus petite combinaison d'événements entraînant l'événement indésirable ; ainsi par définition, si un des événements d'une coupe minimale ne se produit pas, cette coupe ne se réalise pas et n'entraîne

donc pas un événement indésirable (Villemeur, 1988). Le résultat de ce traitement permet d'avoir une évaluation de la fragilité ou robustesse du système analysé. En effet, les coupes minimales d'ordre 1 constituent les maillons faibles du système et leur proportion par rapport aux autres coupes est un indicateur de la résistance du système aux défaillances.

Le traitement quantitatif consiste en un calcul de la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable et repose sur différents principes mathématiques (ISDF, 1994). Actuellement, des outils informatiques de plus en plus sophistiqués (rapidité du traitement, évaluation de l'incertitude...) sont développés pour réaliser les traitements qualitatif et quantitatif.

La construction de l'arbre doit être envisagée de la manière la plus exhaustive possible. C'est ce qui constitue un des biais de la méthode, car il est probable que l'analyste se contente consciemment ou inconsciemment d'envisager les défaillances les plus probables.

Il faut remarquer que bien que cette méthode ait été élaborée dans l'idée qu'elle serait appliquée a priori lors de la conception des systèmes, sa structure arborescente reste très intéressante pour la réalisation d'analyse a posteriori, notamment dans le cadre d'analyse des accidents. En effet, elle permet la reconstitution des scénarios dont l'apport est essentiel pour la compréhension d'une situation.

Cette méthode présente différents avantages quant à son utilisation à la conception. En effet, comme nous l'avons déjà souligné, elle est d'autant plus efficace si elle est construite et exploitée par des équipes pluridisciplinaires, rassemblant un grand nombre de généralistes et spécialistes d'origines diverses (Lievens, 1976). De plus, ses principes d'élaboration restent relativement simples pour être appréhendés par tous les experts participant au projet. Cette volonté de mise en commun des savoirs sur le système passe inévitablement par la confrontation des points de vue qui permet un enrichissement permanent de l'arbre.

L'arbre peut ainsi constituer un outil de dialogue favorisant la construction d'une représentation partagée (Fadier, 1988, 1990 ; Abramovici 1999).

De plus, la construction de l'arbre autorise l'insertion d'événements relatifs aux opérateurs chargés de piloter le système, sous la forme d'actions conformes ou non aux exigences opérationnelles. Ainsi, cette représentation peut donner un aperçu du rôle de l'Homme dans la réalisation de l'événement indésirable.

Néanmoins, cet outil comporte quelques limites, notamment en raison de la taille considérable que peut prendre l'arbre et qui par conséquent, peut rendre son interprétation qualitative (consistant à rechercher la cohérence entre certains événements) délicate.

Par ailleurs, son caractère statique limite son utilisation et on préférera parfois utiliser d'autres types de modélisation plus complexes, tels que les graphes de Markov, les réseaux de Petri stochastiques pour tenir compte de la dynamique des systèmes.

De plus, l'utilisation de l'arbre de défaillances suppose que les événements de base sont totalement indépendants entre eux. Or il n'est pas rare d'analyser des systèmes dont les événements de base sont liés par des relations de dépendance, c'est à dire quand la réalisation d'un événement favorise (dépendance stochastique) ou impose la réalisation d'autres événements (Villemeur, 1988 ; Carabaye et al., 2000).

Une difficulté est aussi qu'il n'y a pas de niveau imposé dans la décomposition, pas de seuil.

Enfin, L'arbre de défaillances ne permet pas de tenir compte de la temporalité des événements qui peuvent modifier leur état.

### ***La méthode du Diagramme Causes-Conséquences (MCC)***

Cette méthode a été créée au début des années 1970, par le laboratoire Riso au Danemark pour réaliser des analyses de fiabilité et de risque dans les centrales nucléaires des pays Scandinaves.

L'analyse par diagramme causes-conséquences est une combinaison, d'une part, de l'analyse déductive de l'arbre de défaillances et d'autre part, de l'analyse inductive de l'arbre d'événements. La représentation utilise les symboles de l'arbre de défaillances ainsi que des symboles spécifiques à cette méthode. Deux parties sont donc classiquement distinguées :

- une partie « causes » représentant les causes d'un ou de plusieurs événements « sommets » des arbres des causes ; ces événements sont par exemple des défaillances de composants, de sous-systèmes conduisant à des conséquences indésirables, redoutées ou inacceptables dans certaines conditions,
- une partie « conséquence » représentant l'étendue des conséquences envisageables lorsque se réalisent les événements « sommet », en tenant compte des diverses conditions de fonctionnement ou de défaillance de composant, ou de sous-systèmes (notamment systèmes de protection).

Le point de départ de la méthode est constitué par ce que l'on appelle un « incident initiateur ». Ensuite à l'aide de portes oui/non, on décrit séquentiellement pour chacune des actions à entreprendre ce qui se passe quand elle réussit et ce qui se passe quand elle échoue.

On arrête le diagramme lorsqu'on arrive à une situation stable (représentée par un hexagone) qui peut être aussi bien un état normal du système qu'un incident ou un accident plus ou moins grave.

Les diagrammes causes-conséquences permettent de décrire sur un diagramme unique à la fois le déroulement normal et le déroulement lorsque les événements dégénèrent. Ils constituent de ce fait une aide appréciable pour l'identification des scénarios constituant des risques prépondérants.

Cette méthode cumule donc à la fois les avantages des deux raisonnements utilisés par l'arbre d'événements et l'arbre de défaillances, ainsi que les limites déjà évoquées pour chacun d'eux. Selon Villemeur, elle reste difficilement applicable pour les ensembles de systèmes complexes en interaction.

### ***Synthèse sur l'apport des méthodes de représentation combinatoires de risque, à la conception***

Ces méthodes permettent de mettre en relation les différents types de défaillances pouvant affecter un système, en évitant de les traiter individuellement. Ceci permet d'éviter de mener des actions locales qui pourraient améliorer certains aspects aux dépens d'autres.

Elles sont difficilement utilisables d'emblée, elles nécessitent une phase préalable d'identification des différentes sources de risques, qui facilite grandement l'analyse combinatoire.

Elles permettent d'avoir une approche des aspects quantitatifs contrairement aux méthodes d'identification de risque.

La complémentarité des approches déductives et inductives donne une vision claire à la fois des causes et des conséquences d'un événement indésirable.

Certaines méthodes autorisent la prise en compte de la composante humaine qui reste néanmoins relativement sommaire ou bien qui figure lorsque l'on ne connaît pas réellement l'origine d'un problème (il est facile de conclure qu'une défaillance est due à une erreur humaine). L'homme est plutôt considéré comme un facteur externe au système.

Nous considérons donc que ces méthodes sont nécessaires, mais non suffisantes pour une analyse complète.

Elles peuvent être utilisées a priori sur un système à concevoir, à condition d'y accorder suffisamment de temps et de constituer des équipes pluridisciplinaires permettant une complémentarité des points de vue. Elles permettent notamment un approfondissement de la connaissance du système.

De plus, ces méthodes sont en général toutes supportées par des logiciels qui facilitent la construction des différents diagrammes : à partir de la structure fonctionnelle du système, le logiciel procède lui-même à la construction du diagramme (Arbre de défaillances, Arbre d'événements...) en envisageant tous les scénarios possibles combinant les défaillances de chaque composant. Cette aptitude réduit considérablement le temps d'analyse et facilite également l'évaluation quantitative (par exemple : Aralia Workshop, Sofia, Supercab +...).

Néanmoins, le caractère statique de ces méthodes constitue une vision restrictive du système, même si cette approche facilite l'analyse, il est intéressant d'avoir une représentation dynamique plus proche de la réalité.

#### ***II.1.4. Les méthodes dynamiques de fiabilité***

Les méthodes sont dites dynamiques lorsque le système est étudié à partir de sa structure et de sa logique de fonctionnement, mais surtout en tenant compte de son évolution au cours du temps. Le but de ces méthodes n'est pas d'identifier le risque ou de calculer des probabilités d'occurrence d'événements indésirables, mais plutôt de simuler les différents états que peut prendre le système. Ces états sont d'ailleurs dépendants les uns des autres. Simuler le comportement technique du système s'avère nécessaire au niveau de la conception.

##### ***La Méthode de l'Espace des Etats (MEE)***

La méthode a été développée pour l'analyse de la sûreté de fonctionnement de systèmes réparables. C'est dans les années 1950 qu'elle commence à être utilisée au niveau industriel et plus particulièrement pour les processus du type stochastique dits "processus markoviens"<sup>13</sup> (Villemeur, 1988).

Son principe repose sur la considération d'un système constitué de  $n$  composants, chacun d'entre eux ayant un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne, ce système étant supposé réparable.

Dans le cas de  $n$  composants à deux états,  $2^n$  états seront identifiables.

La mise en œuvre de la méthode nécessite donc :

- de recenser et de classer tous les états du système,
- de recenser toutes les transitions possibles entre ces différents états et d'identifier toutes les causes de ces transitions,

---

<sup>13</sup> Un processus est dit markovien si la probabilité conditionnelle de transition de l'état présent vers l'état suivant est indépendante du passé du système.



- de calculer les probabilités d'apparition des différents états ou le calcul des caractéristiques de sûreté de fonctionnement.

La Figure 6 présente un exemple simple à deux composants.

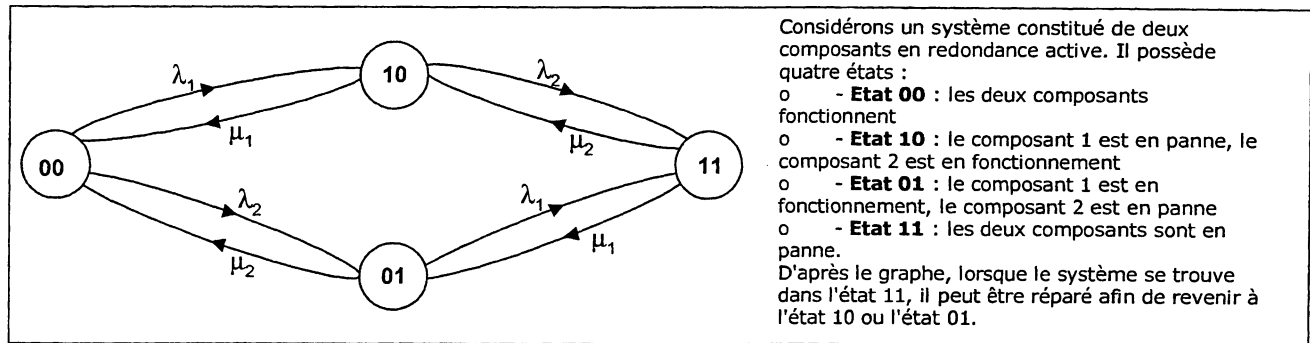


Figure 6 : Graphe d'état d'un système à deux composants

Le principal intérêt de la méthode est de pouvoir faire les calculs en fonction du temps (Jeannette et al,1985). Cet aspect permet notamment de prendre en compte les récupérations possibles au cours de la dégradation du système (Barbet et al, 1984).

De plus, la disponibilité du système peut être évaluée en écrivant les équations d'états et en les résolvant par des méthodes de résolution explicites analytiques et numériques (transformation de Laplace, discrétisation...).

Elle permet donc d'obtenir les données relatives à la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité. Elle autorise d'introduire à des instants donnés des opérations d'inspection ou de maintenance.

Par contre, il faut souligner que l'analyse quantitative peut devenir très complexe, voire impossible pour un système comportant un grand nombre d'états. On assiste alors à une explosion combinatoire. Cet outil peut être utilisé a priori en conception pour la prévision du comportement du système, basée sur les aspects techniques. Elle ne permet cependant pas de mettre en valeur les interventions humaines, donc de rendre compte du comportement opérationnel.

### Les réseaux de Petri (RdP)

C'est dans les années 1960-1962 que Carl Adam Petri, mathématicien allemand, a élaboré les réseaux de Petri qui depuis, ont donné lieu à de nombreuses recherches, notamment aux Etats-Unis au début des années 1970, mais surtout en Europe.

Les réseaux permettent de modéliser et de visualiser des comportements comportant parallélisme, synchronisation et partage de ressource.

Un réseau de Petri comporte deux types de nœuds :

- les places représentées par un cercle, symbolisent les différentes étapes du processus. Elles forment l'ensemble  $P_i$ ,
- les transitions représentées par des tirets, forment l'ensemble  $T_i$ .

Les places et transitions sont reliées par des arcs, représentés par des flèches, qui forment l'ensemble  $A_i$ . Des jetons sont utilisés pour rendre compte de l'aspect dynamique.

En effet, l'évolution d'un système décrit est représenté par l'évolution des marquages représentés par les jetons présents ou non dans les places et évoluant dynamiquement en fonction du tir et des transitions valides. Ainsi, le marquage du réseau représente l'état du système à un moment donné. Pour être valide, une transition doit avoir au moins un jeton dans chacune de ses places amonts. Elle peut alors être tirée et ce tir consiste à retirer un jeton dans chacune de ses places amont et à ajouter un jeton dans chacune de ses places aval. On obtient alors un nouveau marquage du réseau qui représente un nouvel état du système étudié. La Figure 7 présente un exemple de RdP.

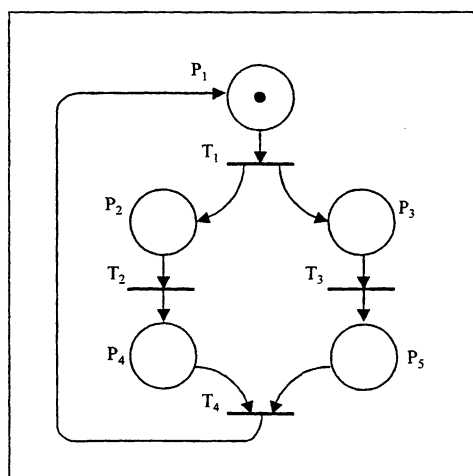


Figure 7: Exemple de réseau de Petri

Un RdP est dit *vivant* lorsque aucune transition ne peut devenir infranchissable. Un RdP est dit *sans blocage* lorsque toutes les transitions peuvent être franchies. La notion de *conflit*

traduit le fait d'avoir une même place en amont de deux ou plusieurs transitions. Cette situation implique alors une *décision* nécessaire pour départager les deux issues possibles (on trouve cette notion dans le cas d'un partage d'une ressource commune, par exemple).

Un RdP ayant des transitions gérées par des lois probabilistes est dit *stochastique*.

Cet outil utilisé à la conception permet de détecter a priori des erreurs de type conflit, partage des ressources... et donc d'obtenir une validation qualitative du fonctionnement.

Il existe différentes variétés de RdP qui permettent de mettre en évidence certaines caractéristiques du système. En effet, dans le cadre des RdP non autonomes :

- Les RdP synchronisés permettent de modéliser l'évolution d'un système soumis à des contraintes externes,
- Les RdP temporisés et les RdP stochastiques qui prennent en compte la variable temps, ont pour vocation d'évaluer les performances du système,
- Les RdP colorés facilitent la modélisation des systèmes de grandes tailles.

Les Réseaux de Petri peuvent être assimilés à un langage commun permettant un dialogue entre des représentants de disciplines variées.

Ils permettent de donner une vision relativement représentative du système, d'autant plus qu'il est possible de représenter des phénomènes stochastiques et déterministes sur un même réseau (en utilisant des transitions de différentes natures).

Cependant comme toute méthode de modélisation et d'évaluation, les RdP souffrent de quelques limitations. Citons les principales :

- Le nombre de places nécessaires à la représentation du comportement de systèmes de grande taille peut être très important,
- La vérification exhaustive de la pertinence du modèle RdP peut être ardue , voire impossible,
- L'exploitation qualitative (recherche des séquences d'événements conduisant à un ENS donné) d'un RdP n'est pas triviale, même en recourant au graphe des marquages,
- L'exploitation quantitative (estimation de la probabilité d'occupation de certaines places, durée de séjour dans ces places...) d'un RdP par traitement markovien n'est pas toujours possible et requiert alors de recourir à des techniques de simulation Monte-Carlo. Se pose alors le problème de l'estimation de la probabilité d'occurrence des événements rares, celle-ci pouvant exiger des durées de calcul prohibitives.

Actuellement, des travaux portent sur la **fiabilité dynamique des systèmes**, considérant le fait que les systèmes évoluent dynamiquement et que cette évolution est conditionnée aussi bien par les défaillances et les réparations successives de leurs constituants, que par les actions de régulation automatiques ou humaines auxquelles ils sont soumis. Cette modélisation permet une représentation beaucoup plus réaliste du système, par rapport aux outils classiques de SdF que nous venons de développer, en s'attachant à prendre en compte les interactions dynamiques existant entre d'une part, les paramètres physiques propres au procédé ou à l'environnement et d'autre part, le comportement nominal ou dysfonctionnel des composants constitutifs du système lui-même (Dutuit, 2001 B).

#### ***II.1.5. Synthèse sur l'apport des méthodes d'Analyse de risques basées sur la Sûreté de Fonctionnement, à la conception***

En règle générale, les méthodes explicitées permettent d'améliorer la compréhension du fonctionnement du système à concevoir et fournissent des éléments essentiels pour la prise de décision.

On a vu qu'il existe différentes variétés de méthodes, les unes permettant d'identifier les sources de risque, les autres combinant les défaillances entre elles, ces dernières reposant sur des lois mathématiques à la base de calculs de fiabilité.

En réalité ces méthodes ne sont que partiellement efficaces, si elles sont utilisées de manière isolée. En essayant de traiter les sources de risque une par une, il y a de fortes chances de passer à côté d'événements encore plus préjudiciables au système en occultant l'effet combiné de plusieurs événements indésirables.

Un récapitulatif des avantages et limites de chacune des approches figure dans le Tableau 1.

Type de méthodes	Type de raisonnement - Analyse	Avantages	Limites
Outils d'identification du risque : APR, APD, HAZOP, AMDE, AMDEC	Inductif Qualitative Et Pseudo-qualitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiles dès la conception des systèmes, identification "précoce" des sources de dysfonctionnements</li> <li>- Analyse méthodique des sources de risque</li> <li>- Approfondissement de la connaissance du système</li> <li>- Permettent une collaboration entre des spécialistes de différentes disciplines : construction d'une représentation partagée</li> <li>- Possibilité d'introduction de la dimension humaine dans le cadre de l'AMDEC</li> <li>- Méthodes supportées par des logiciels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation de "guides" pour certaines méthodes (APR, HAZOP) limitent en quelque sorte la recherche exhaustive de toutes les sources de risques</li> <li>- Ces méthodes restent insuffisantes pour une analyse complète des risques (pas d'analyse combinatoire des différents risques)</li> <li>- Difficulté d'identifier de manière exhaustive tous les modes de défaillances (AMDEC)</li> <li>- Documents rapidement volumineux, difficiles à traiter</li> <li>- Ne permettent pas une <u>réelle</u> prise en compte de la dimension humaine</li> </ul>
Méthodes mixtes et quantitatives statiques : MCPR, MTV, MTD, MAE, AdD, MCC	Inductif/ Déductif Qualitative/ Quantitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiles sur tout le cycle de vie du système</li> <li>- Evaluation de la robustesse du système (Arbres d'événements)</li> <li>- Possibilité d'identifier les séquences réalisées par l'opérateur (arbre d'événements des actions de l'opérateur) ou d'introduire des actions humaines (AdD)</li> <li>- Permettent un approfondissement de la connaissance du système</li> <li>- Permettent une collaboration entre des spécialistes de différentes disciplines : construction d'une représentation partagée</li> <li>- Apport intéressant des démarches mixtes (inductive/déductive) : cas du MCC</li> <li>- Evaluation quantitative de la fiabilité du système</li> <li>- Méthodes supportées par des logiciels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude très volumineuse pour des système complexes</li> <li>- Difficulté d'envisager de façon exhaustive tous les scénarios (AdD)</li> <li>- Basées sur des hypothèses qui induisent une limitation du caractère représentatif (ex. : indépendance des événements de base dans l'AdD)</li> <li>- Leur caractère statique est également limitatif</li> <li>- Nécessité d'y consacrer du temps et de mettre en œuvre les moyens suffisants</li> <li>- Globalement la prise en compte de la composante humaine reste sommaire</li> </ul>
Méthodes dynamiques de fiabilité : MEE, RdP	Qualitative/ Qualitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leur utilisation à la conception permet de réaliser une validation qualitative du fonctionnement (identification des différents états du système, erreurs de type conflit, partage des ressources, ...)</li> <li>- Représentation plus réaliste du fonctionnement : prise en compte de l'aspect dynamique</li> <li>- Obtention de données relatives à la FMD</li> <li>- Méthodes supportées par des logiciels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse difficile voire impossible pour un système comportant un grand nombre d'états</li> <li>- Nécessite d'y consacrer du temps et des moyens suffisants</li> <li>- La prise en compte de la composante humaine est pratiquement inexistante</li> </ul>

Tableau I : Récapitulatif des apports et limites des outils SdF

En théorie, ces outils sont tous utilisables dès la conception et permettent de limiter les erreurs de conception ou de parer à certaines situations à risque émergeant à partir d'un contexte prédéterminé. De plus, ces outils autorisent la prise en considération de données déterministes (basées sur une analyse a posteriori et un retour d'expérience), puisqu'en réalité le concepteur ne part rarement de rien et procède généralement à la réutilisation de solutions antérieures qu'il améliore en fonction de ses connaissances. Cette approche contribue largement à l'amélioration des performances techniques des systèmes.

Cependant, l'approche centrée sur la SdF est relativement restreinte en matière d'intégration des facteurs humains. En fait, cette approche part du principe que tout est prévisible et donc prescriptible, cela signifie que **toute action réalisée hors prescrit est considérée comme une erreur ou une violation**. Elle n'envisage en aucun cas les capacités adaptatives de l'opérateur en tant que ressources permettant d'améliorer les performances du système. Elle centre toute sa démarche sur une **amélioration de la robustesse du système** qui s'inscrit inévitablement dans une volonté de protéger la réussite de la mission du système des actions de l'opérateur.

**Par ailleurs cette approche s'avère incapable de prendre en compte toute la variabilité des situations opérationnelles.** En effet, lorsque le concepteur utilise ce type de méthodes, il n'assure la sécurité du système qu'a posteriori, en introduisant de nombreux dispositifs de sécurité visant généralement à bloquer les accès, déclencher des arrêts automatiques...qui en d'autres termes, réduisent considérablement la marge de manœuvre des opérateurs. En cas de conflit entre la sécurité et la productivité, la priorité est donnée à la sécurité. Toute anomalie du fonctionnement conduisant pratiquement systématiquement à un arrêt du système, la conduite devient alors rapidement contraignante et les objectifs de production sont difficilement atteignables ; à moins de contrer les différents dispositifs. Pour cela, les opérateurs développent inévitablement des modes opératoires spécifiques contournant ou neutralisant les sécurités et les exposant, en contre partie, à des risques. Cela montre toute l'opposition existant entre deux mondes : celui où tout est prévu et réglementé – celui comprenant des événements non prévus (de Terssac, 1992).

Nous verrons d'ailleurs par la suite, que cette façon de protéger le système peut être réalisée à l'aide des normes.

Ce type d'approche nécessite donc d'être complété par des approches intégrant la dimension humaine pour une analyse de risques dans toutes ses dimensions.

## II.2. Approche anthropocentrée

Cette approche se divise en deux courants : les approches centrées sur les aspects de la fiabilité humaine<sup>14</sup> et l'approche ergonomique. Elle s'intéresse principalement aux activités des opérateurs et leur rôle dans le système. Ces deux approches peuvent être différenciées au niveau de leurs objectifs (Neboit et al, 1990) :

- la première tente de diminuer l'occurrence des erreurs en mettant l'accent sur l'efficacité du système homme – tâche (il s'agit d'obtenir une conformité aux exigences de la tâche et l'absence d'erreur),
- la seconde vise à adapter la situation de travail en cherchant l'efficacité, c'est à dire le rapport de l'efficacité au coût pour l'opérateur (charge de travail, effort...). D'une façon générale, son objectif est surtout d'assurer la sécurité, la santé... en situation de travail.

Elles restent néanmoins étroitement liées, puisqu'elles visent toutes les deux à ce que la logique d'utilisation des systèmes soit prise en compte dès la conception.

### II.2.1. Les analyses de risques fondées sur la dimension humaine

C'est au début des années 1960 que l'attention a été portée sur le rôle de l'opérateur humain, par le biais d'une nouvelle discipline appelée "Facteurs humains" (Human Factors). Cependant, même si cette approche se centre sur les problèmes de fiabilité humaine, elle les aborde de la même façon que la fiabilité des composants techniques en la définissant comme: "*la probabilité qu'un individu effectue avec succès la mission qu'il doit accomplir, pendant une durée déterminée et dans des conditions définies*" (Rook, 1962). Ce point de vue réducteur assimile l'erreur humaine aux pannes ou défaillances que peut connaître le système. Quelques années plus tard, l'homme sera considéré du point de vue bénéfique de sa capacité adaptative en fonction des différents aléas pouvant survenir (Fadier, 1997). Les erreurs commises sont alors considérées comme la conjonction de plusieurs facteurs internes (fatigue, stress...) et externes (défaut de conception des interfaces...) à l'individu.

---

<sup>14</sup> La fiabilité humaine, en tant que discipline a été définie par la CEE en 1988, comme "*le corps de connaissances concernant la prédiction, l'analyse et la réduction de l'erreur humaine en se focalisant sur le rôle de l'homme dans une opération de conception, de maintenance et de gestion du système socio-technique*" (Neboit et al, 1990).

### II.2.1.1 les méthodes quantitatives

Les techniques d'évaluation de la fiabilité humaine (HRA : Human Reliability Assessment) ont fait l'objet de nombreuses critiques, démontrant qu'elles se fondent sur une vision beaucoup trop restrictive du fonctionnement de l'opérateur humain. Il existe de nombreuses méthodes qui se sont attachées à quantifier l'erreur humaine. *THERP (Technique for Human Error Rate Prediction*<sup>15</sup>) est certainement la plus connue. Elle a fait l'objet d'un manuel de 300 pages décrivant précisément ses procédures et son principe (*Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application*, Swain & Guttman, 1983).

L'aspect le plus critiquable réside dans le fait que ce genre de méthode a été mis au point en s'inspirant des modèles d'évaluation du domaine technique : les actions de l'opérateur sont considérées du même point de vue que celui du bon ou du mauvais fonctionnement d'une pompe ou d'une vanne (Reason, 1993). Le but est de pouvoir prédire les probabilités des erreurs humaines et d'évaluer les dégradations d'un système homme-machine susceptibles d'être causées soit par les erreurs humaines prises isolément ou en relation avec le fonctionnement des appareils, soit par les procédures opérationnelles ou les pratiques, soit par les autres caractéristiques du système.

La calcul de la probabilité d'erreur élémentaire repose sur une relation combinant des probabilités et un facteur en relation avec les caractéristiques de l'opération et de l'interface homme-machine, le stress de l'opérateur, la non-récupération de l'erreur...

Les valeurs des probabilités sont données par une vingtaine de tables qui ont été conçues dans l'idée d'intégrer les différents paramètres relatifs à la situation. L'analyste doit ajuster les probabilités nominales d'erreur en fonction de son appréciation des effets des facteurs locaux de formation de l'activité (Reason, 1993).

Plusieurs auteurs ont montré que ce type de méthode présente l'intérêt principal de sensibiliser les ingénieurs aux liens existants entre certains choix de conception et leurs conséquences sur l'activité des opérateurs.

Néanmoins, le principe de découpage de la tâche en actions élémentaires a été largement critiqué, notamment en raison de la non cohérence avec les principes psychologiques de pensée qui procède rarement de façon linéaire et descendante, ou encore à cause de la non additivité des actions élémentaires pour constituer la tâche globale.

---

<sup>15</sup> Technique de Prédiction du Taux d'Erreur Humaine.



De plus, ce type de méthode a pour vocation de se concentrer essentiellement sur les erreurs en délaissant les aspects intégrant les fautes issues par exemple de mauvais diagnostics ou de choix de procédures inappropriées.

Quant à l'évaluation à partir de banques de données, elle pose le problème de la transférabilité de ces données (issues en partie d'expérimentations en laboratoire), vers des situations réelles d'exploitation. En ce sens, selon Reason (1993), une étude impliquant onze équipes issues de onze pays différents a mis en évidence la grande variabilité des résultats quantitatifs obtenus par THERP, due notamment à la difficulté de faire entrer la complexité de la réalité dans des modèles relativement simples. De plus, l'auteur soulève le danger lié à l'utilisation de cette approche par des personnes inexpérimentées pour lesquelles la validité des résultats obtenus est loin d'être assurée.

L'erreur a donc été longtemps perçue comme une "faiblesse intrinsèque" de l'opérateur (Cellier, 1990). Elle est perçue négativement du point de vue de ses conséquences comme des activités mises en œuvre par les opérateurs qui n'ont pas permis de réaliser le but assigné (la tâche) (Fadier, 1997). Les efforts doivent donc être portés sur des méthodes s'attachant à rechercher préférentiellement l'origine des erreurs : l'erreur peut être le résultat d'une définition insuffisante de la tâche, d'une inadéquation de celle-ci avec les exigences de fonctionnement de l'opérateur. Dans ce cas, on ne parle plus d'erreur, mais du résultat d'une compétence contrariée face à un dispositif inadéquat.

Identifier et analyser les erreurs permet indéniablement de localiser les carences du système.

### ***II.2.1.2 Les approches qualitatives***

Nous présentons ici quelques modèles qui ont marqué l'avancée sur les connaissances scientifiques en matière de capacités et de limites psychologiques et physiologiques humaines issues d'études expérimentales, qui nous intéressent plus particulièrement. Les modèles développés seront donc utilisés pour la conception de systèmes techniques adaptés au fonctionnement de l'opérateur humain et en vue de prévoir les erreurs humaines qui sont considérées comme la traduction d'inadéquations entre les exigences de la tâche et les capacités physiques, physiologiques et psychologiques de l'homme.

***Le modèle de prise de décision de Rasmussen (Step-ladder model) : une vision psychologique***

Rasmussen (1980) s'est préférentiellement intéressé aux erreurs graves commises par les superviseurs de systèmes industriels, en particulier dans les situations d'urgence sur des installations dangereuses. Pour cela, il distingue trois niveaux de comportement :

- niveau basé sur les automatismes ("skill-based") : l'activité humaine est contrôlée par des configurations mémorisées d'instructions préprogrammées et représentées comme des structures analogues dans un domaine espace-temps.
- niveau basé sur les règles ("rules-based") : c'est une résolution de problèmes familiers, dont les procédures sont contrôlées par des procédures mémorisées (ex.: règle de production), du type : *si (état) alors (diagnostic)* ou *si (état) alors (action de remédiation)*.
- niveau basé sur les connaissances (knowledge-based) : les actions sont liées à une situation nouvelle et doivent être planifiées en utilisant des processus conscients et analytiques ainsi que les connaissances stockées en mémoire.

En liaison avec ces trois niveaux, il décrit un processus de prise de décisions en huit étapes (modèle non linéaire) qui met en évidence les nombreux raccourcis dans les séquences de raisonnement, offrant une vision plus réaliste du fonctionnement des opérateurs. Mais les approches actuelles de la cognition ont montré les limites d'une telle approche. Selon De Keyser (2001), cette approche privilégie les connaissances par rapport aux mécanismes cognitifs et délaisse totalement les mécanismes cognitifs qui sous-tendent le modèle.

***Le modèle de Reason (1993) : une vision organisationnelle***

L'auteur s'est intéressé à l'étiologie des accidents dans les systèmes complexes. Dans ce cadre, il a considéré les éléments de base de la production comme des modules de base communs à tous les systèmes complexes.

Pour chacun d'entre eux, il est alors possible d'identifier les lacunes pouvant favoriser et/ou provoquer l'erreur de l'opérateur conduisant à un accident. Cinq niveaux ont été identifiés (Figure 8) :

- 1) le niveau organisationnel dans lequel les décideurs établissent les buts du système dans son ensemble, mais également l'affectation des ressources entre la production et la sécurité,
- 2) le niveau de supervision dans lequel les stratégies des décideurs sont mises en œuvre,

- 3) le niveau des pré-conditions qui correspond à l'ensemble des qualités présentées par les machines (fiabilité) et le personnel (compétence, motivation...),

*Ces trois premiers niveaux peuvent faire l'objet de défaillances latentes.*

- 4) le niveau des activités de production concerne les performances effectives des personnes et des machines. A ce niveau, une série d'actes risqués, volontaires ou non peuvent être réalisés par les opérateurs (défaillances actives),
- 5) le niveau des défenses comprend les diverses mesures de sécurité mises en place, afin de prévenir les atteintes prévisibles telles que blessures, dommages et pannes coûteuses. Il représente le dernier garde-fou avant l'accident/incident.

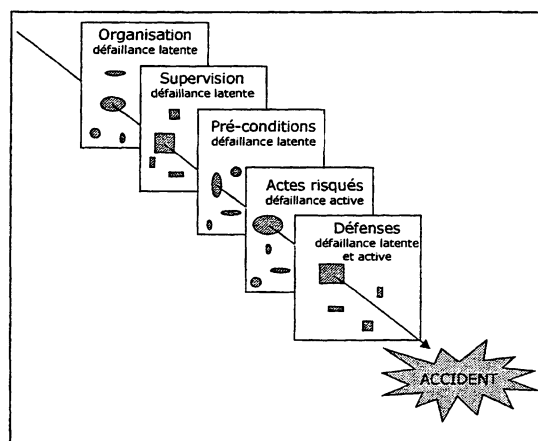


Figure 8 : Dynamique de la causalité de l'accident (Reason 1993)

Selon Reason (1993), ce qui est important dans ce type de représentation, c'est la manière dont elle dépeint les contributions humaines comme des faiblesses ou des "créneaux" dans les plans de base de la production.

Par ailleurs, l'auteur a également établi une classification des actes risqués (Figure 9) en considérant qu'ils sont bien plus qu'une erreur ou une violation : ce sont des erreurs ou des violations commises en présence d'un danger potentiel.

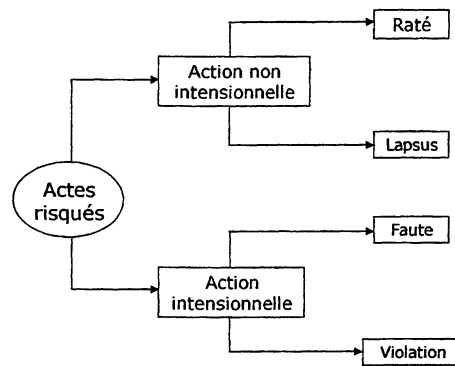


Figure 9 : Les différents actes risqués (Reason, 1993)

Contrairement aux autres, le modèle de Reason montre la genèse de l'accident à travers les différents niveaux définis : tout ne dépend pas de l'opérateur, il est simplement l'un des derniers maillons qui est censé rattraper une séquence incidentelle.

Ces deux approches sont censées aider les concepteurs à réfléchir sur le rôle de l'homme dans le système et de montrer qu'il se trouve plus souvent confronté à des situations de récupération d'incident ou accident qu'à des situations de fonctionnement nominal. Ces modèles ont également pour vocation de restituer la complexité des mécanismes cognitifs de l'homme.

### II.2.2. Discussion sur l'apport des approches anthropocentrées, à la conception

Sur le modèle des outils d'analyse de la fiabilité technique, les méthodes de la fiabilité humaine ont tenté dans un premier temps, de mesurer le taux d'erreur que l'opérateur est susceptible de commettre. Ce courant prédictif quantitatif a été développé dans une volonté d'évaluer le rôle de l'homme dans les systèmes pour pouvoir optimiser la fiabilité globale du système. Pour cela, ces méthodes proposent de décrire d'un point de vue analytique l'ensemble des activités des individus, afin de mettre en évidence les classes d'erreur susceptibles d'engendrer des risques pour le système. Ainsi, l'erreur humaine est assimilée du point de vue fonctionnel aux défaillances qui affectent le système technique. Les méthodes de quantification de l'erreur sont donc critiquables sur différents points :

- elles incitent à pratiquer un réductionnisme excessif en ignorant les particularités du fonctionnement de l'être humain, tant du point de vue psychologique que du point de vue physiologique : l'homme est capable de s'adapter, de poursuivre des buts multiples, de traiter l'information de façon globale (Leplat, 1985), à l'inverse du système technique,

- elles utilisent des banques de données ayant pour but de faire une estimation systématique des probabilités d'erreurs humaines et pour lesquelles on peut douter de la validité des données puisqu'elles reposent sur des sources très variées et mal maîtrisées et qui ne sont pas toujours transposables sur les systèmes traités,
- ces méthodes reposent donc pour une grande partie sur "l'intuition de l'analyste" (Fadier et al, 1987),
- généralement, la redondance constitue la seule solution d'optimisation de la fiabilité humaine. Or, si la redondance technique fait preuve d'efficacité ; cette solution reste insuffisante concernant la dimension humaine, notamment parce qu'elle pose certains problèmes sociaux, tels que des conflits entre individus, la sous-estimation de la notion de dépendance entre individus...

Dès lors, ce type de méthodes vise à la conception de systèmes avec l'objectif d'éviter les fautes de l'opérateur. Dans cet esprit, ces méthodes tendent à l'extrême vers une suppression progressive de celui-ci au sein des systèmes. Une alternative bénéfique a toutefois consisté à essayer d'implémenter des fonctions techniques de tolérance aux fautes lors de la conception du système technique. Ce type de fonction permet d'une part de réduire les conséquences des fautes de l'opérateur et d'autre part, d'éviter de lui faire perdre le contrôle du processus (Laprie et al, 1995).

Les modèles qualitatifs explicatifs permettent une meilleure définition de la tâche en tenant compte des activités mises en jeu. Cela permet notamment d'établir une classification des erreurs ayant des caractéristiques communes pour faciliter la mise en place de solutions conjointes et d'avoir une estimation des capacités limites des opérateurs.

Néanmoins, le caractère descriptif de ce type de méthode induit en lui-même une limite, car les résultats de l'analyse sont difficilement intégrables dans un processus de conception.

### II.2.3. Rôle de l'ergonomie en conception

Historiquement, cette discipline est apparue pratiquement simultanément aux approches de la fiabilité humaine. L'ergonomie<sup>16</sup> est considérée comme une discipline ayant pour objectif d'adapter la situation de travail en cherchant l'efficacité du travail, mais surtout d'assurer la santé/sécurité des opérateurs (Neboit et al, 1990).

Selon Daniellou (1992), il existe plusieurs types d'intervention pour lesquels on peut différencier plusieurs types d'ergonomes :

- l'ergonome-expert qui porte un avis sur la définition des moyens de travail à partir de ses connaissances propres,
- l'ergonome-fournisseur de réalité qui se base sur une analyse de l'activité dont il restitue les résultats au concepteur, mais bien souvent sans la participation des opérateurs,
- l'intervention de l'ergonome telle que vue par Theureau et Pinsky (1987) qui place l'ergonome comme un acteur de la conception.

Les deux premiers types induisent différents biais du fait du manque de fondement des résultats promulgués. L'approche de Theureau et Pinsky s'inscrit dans une volonté de compréhension, puis d'intégration de données fondées à partir de cas existants, dans le processus de conception.

Dans ce cadre, l'outil principal dont dispose l'ergonome est l'analyse du travail (basée sur l'observation des comportements) qui repose sur l'idée qu'il existe une construction permanente par l'opérateur des modes opératoires (passage de la tâche prescrite à l'activité réelle), Daniellou (1992) identifie quatre points essentiels pour cette approche :

- l'activité n'est pas indépendante des caractéristiques de l'opérateur,
- la situation de travail est socialement déterminée et l'opérateur n'est pas maître d'un ensemble de déterminants,
- compte tenu des objectifs fixés, des moyens attribués, des caractéristiques de l'opérateur, celui-ci tente à chaque moment d'élaborer des modes opératoires appropriés,
- les stratégies impliquées mobilisent tous les niveaux d'organisation de l'action humaine, depuis des schèmes très automatisés jusqu'à des projets de vie.

---

<sup>16</sup> L'ergonomie est définie comme "le corps de connaissances scientifiques, relatives à l'homme et nécessaire pour concevoir des outils, des machines, des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité" (Wisner, 1973).

L'analyse ergonomique du travail doit non seulement s'attacher à la compréhension des stratégies "racontables", mais aussi et surtout à la mise en évidence et l'explication des mécanismes d'apparition non conscients de certains modes opératoires (les aspects cognitifs liés à la tâche).

L'intervention de l'ergonome ne va pas de soi. En réalité, il existera toujours une distorsion entre le caractère opérationnel des réponses attendues par le concepteur et la complexité des facteurs inhérents à la situation de travail que l'ergonome doit s'efforcer de comprendre et d'intégrer. Dans ce sens, Pinsky et Theureau (1987) ont d'ores et déjà soulevé le *paradoxe de l'ergonomie de conception* mettant en évidence que compte tenu que la base de travail de l'ergonome repose sur l'analyse de l'activité dans des situations de travail existantes, il faudrait attendre que les situations de travail soient conçues pour les analyser. En d'autres termes, c'est au cours des dernières phases du projet que l'ergonome dispose de la plus grande visibilité sur la situation conçue, or à ce stade, l'intervention ergonomique s'avère trop tardive. Elle risque de remettre en cause des solutions techniques inadaptées et d'engendrer de ce fait, des coûts de modifications importants.

Pour tenter de pallier cette difficulté majeure, les auteurs ont été amenés à formaliser une méthode d'étude du "*cours d'action*"<sup>17</sup> qui consiste en l'étude détaillée des comportements et des communications, en relation avec les verbalisations des opérateurs dont l'objectif est de comprendre la structuration interne de leur activité. La méthodologie permet donc de comprendre le sens que donnent les opérateurs à leurs actions. Pour pouvoir apporter des éléments au processus de conception, l'approche va ensuite consister, à partir des situations existantes analysées, à tenter de recréer des situations expérimentales qui soient les plus proches des situations futures. Les situations observées servent donc de référentiel à partir duquel on extrapole les situations probables.

Dans la même lignée, Daniellou (1987) formalise ce type d'intervention ergonomique, dans les projets industriels, en proposant une méthodologie qui reprend les étapes de la conception et y insère le rôle de l'ergonome (Tableau 2).

---

<sup>17</sup> C'est l'activité d'un (ou plusieurs) acteur(s) engagé(s) dans une situation, qui est significative pour ce (ou ces) dernier(s), c'est à dire racontable et commentable par lui (ou eux) à tout instant (Theureau, 1992).

PHASES DU PROCESSUS	RÔLE DE L'ERGONOME
ETUDES PRELIMINAIRES Faisabilité / Rentabilité	Enrichissement des objectifs par intégration du contexte
ETUDES DE BASE Rédaction du cahier des charges décision de démarrage	Analyse de l'activité en situations de référence
ETUDES DE DETAIL Spécifications	Définition de l'activité future possible en tenant compte des dysfonctionnements et de la variabilité du contexte
REALISATION	
ESSAIS Fonctionnement	Contrôle du fait qu'il existe au moins un mode opérateur compatible avec l'activité de l'opérateur
DEMARRAGE Début de fabrication	Analyse de l'activité

Tableau 2: Approche linéaire séquentielle du processus de conception (Daniellou, 1987)

Pour cela, la méthodologie prévoit que les reconstitutions des activités futures se déroulent au sein des réunions de groupes de travail, auxquelles participent des concepteurs, des opérateurs et l'ergonome. Cette reconstruction n'est possible que si les deux conditions suivantes sont remplies : les concepteurs doivent fournir aux membres du groupe de travail des propositions techniques accompagnées de supports (plans, maquettes...) et les ergonomes disposent de Situations d'Actions Caractéristiques futures probables identifiées au préalable qui feront l'objet de la réunion (Figure 10) (Garrigou, 1992).

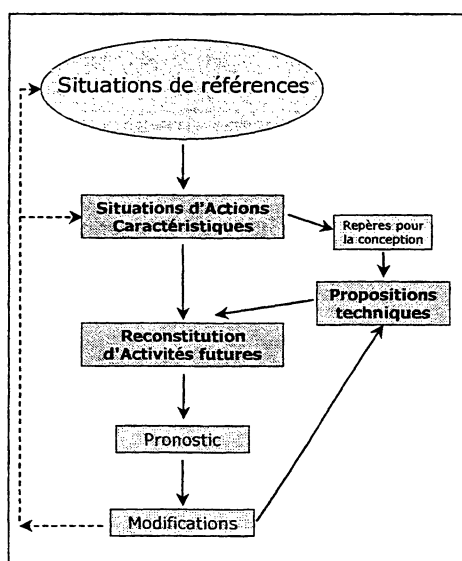


Figure 10: Démarche d'ergonomie de conception (Daniellou, 1992)

Daniellou (1992) nuance toutefois la notion "d'activité future probable" en précisant que "l'ergonomie ne va pas viser à prévoir, pour les contraindre, tous les gestes et tous les raisonnements des opérateurs qui travailleront dans le futur atelier". En réalité, il s'agit



d'évaluer "*l'espace des formes possibles de l'activité future*" : c'est à dire faire en sorte que des marges de liberté suffisantes existent pour faire face à la variabilité industrielle, compte tenu de la diversité des individus et de leur variabilité interne.

Ce type de démarche encourage la participation des opérateurs (utilisateurs finaux) dans le processus de conception. Néanmoins, pour valoriser leur participation, il est nécessaire de faire face à quelques biais (Maugey, 1996) :

- l'utilisateur final peut manquer de connaissances techniques,
- il est souvent représenté par d'anciens opérateurs qui ne sont plus confrontés à la réalité quotidienne du travail (impliquant une perte de compétences),
- il a des difficultés à analyser seul son activité et à verbaliser ses besoins (l'ergonome a pour rôle de formaliser cette logique opératoire),
- la présence de l'utilisateur semble majorer les conflits entre les acteurs.

L'ergonomie est donc une discipline qui vise à introduire des connaissances sur l'homme dans le processus de conception. Ces connaissances doivent être confrontées à celles des concepteurs, techniciens et spécialistes du processus, pour mettre en adéquation les exigences des deux entités : l'homme et la machine.

### **II.3. Approche normative**

**La sécurité des machines est une obligation de la législation<sup>18</sup>.**

Dans ce cadre, pour aider les concepteurs à respecter les exigences essentielles énoncées par la Directive "nouvelle approche" (E 09-000, 1993), les instances de normalisation ont développé un certain nombre de prescriptions. En effet, les normes n'ont en aucun cas un caractère obligatoire, elles viennent en appui des directives européennes.

Ces prescriptions sont développées sous la forme de spécifications techniques à travers différents textes, ordonnés selon une nomenclature : des normes de sécurité fondamentale (type A), des normes valables pour un groupe de machines (type B), des normes s'appliquant à des machines particulières (type C).

---

<sup>18</sup> 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'accidents 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 (Directive Européenne 89/392/CEE).

L'approche normative est une référence, pour les industriels, en matière de prévention des risques à la conception. Elle leur garantit une conformité des systèmes au regard de la "loi".

Ces normes prennent en considération le fait que l'équipement de travail peut être mal utilisé, victime de pannes ou dangereux pour l'opérateur, **mais elles ne permettent pas ou difficilement de prendre pas en compte la variabilité des situations.**

Telles qu'elles sont élaborées, les normes traduisent **deux politiques différentes** (Didelot et al, 2000).

La première concerne la sécurité liée à des problèmes techniques connus et maîtrisés, pour lesquels les normes apportent des solutions concrètes à appliquer directement sur le système. Elles se positionnent selon une politique "**d'Obligation de Moyens**" qui permet aux concepteurs d'éviter de rechercher des solutions techniques aux problèmes de sécurité (gain de temps) et d'engager des études spécifiques. Cependant, elles ont tendance à réduire la marge de manœuvre des industriels qui appliquent directement les consignes sans chercher un moyen radical qui permettrait d'éliminer "à la source" le risque au lieu de le masquer. Cette politique consiste essentiellement en la mise en place de protecteurs, boutons poussoirs ou encore des commandes protégées qui peuvent parfois gêner les opérateurs dans l'exécution de leurs tâches. Les solutions posent donc le problème du "risque omniprésent" : si l'installation d'un protecteur est considérée comme un obstacle à la production, l'opérateur est tenté de le retirer et s'expose à nouveau aux risques que le concepteur avait cru annihiler.

Cette approche qui reste actuellement la plus utilisée, se limite donc à l'étude des aspects techniques du système et ne s'intéresse pas assez à la prise en compte des situations de travail. Elles ne couvrent pas actuellement (ou de manière insuffisante) les problèmes liés :

- à la mixité technologique dans un même système (un système est amené à évoluer au cours de sa vie),
- aux modes de fonctionnement non nominaux,
- aux modalités d'usage liées à l'utilisateur...

**Néanmoins, cette démarche présente l'avantage de préserver le concepteur d'une quelconque responsabilité en cas d'accident, puisqu'il possède les éléments pour prouver que le système répond aux exigences normatives, même si elles restent inadéquates au regard de l'activité réelle des opérateurs.**

La deuxième politique appelée politique d'"**Obligation de Résultats**" laisse le choix des solutions aux concepteurs du moment que les objectifs de sécurité sont atteints. Comme elle est non directive (elle impose peu de procédures), elle incite à mener des analyses spécifiques autorisant la prise en compte de la dimension humaine. Elle permet d'envisager les problèmes de sécurité dans la globalité du système.

Cette façon d'envisager la prévention répond aux principes énoncés par la directive "nouvelle approche" qui stipule que *"les produits doivent être conformes aux exigences essentielles lorsqu'ils sont mis sur le marché. C'est aux fabricants de déterminer comment il convient de concevoir et construire/fabriquer leurs produits afin d'assurer cette conformité; ils peuvent choisir de mettre en oeuvre à cette fin, différentes techniques"*.

L'application de cette politique nécessite de la part du concepteur une plus grande réflexion sur les aspects de sécurité (il n'y a pas de solution unique), néanmoins elle participe à une intégration des aspects de sécurité en amont du projet et permet de ce fait, de limiter les coûts relatifs aux modifications à réaliser en fin de conception (relatifs à des aspects auxquels le BE n'aurait pas pensé). La sécurité est donc, dans ce cas, envisagée comme un investissement.

**Le point délicat de cette approche se situe au niveau juridique. En effet, en cas d'accident, le concepteur devra prouver que la solution technique de sécurité (non préconisée par les normes) qu'il a mise en place, répond au plus près aux exigences de l'activité réelle et de la sécurité. Le problème est qu'il ne dispose pas d'étude de référence dans ce cas.**

Le Tableau 3 résume et confronte les particularités de chacune des approches.

Politique d'Obligation de Moyens	Politique d'Obligation de Résultats
Défensive Passive Statique Déterministe Sectorielle	Offensive Active Dynamique Probabiliste Globale
Culpabilise Coût	Responsabilise Investissement

Tableau 3 : Comparaison entre une politique de sécurité basée sur l'obligation de moyens et celle basée sur un obligation de résultat (Fadier, 2001)

### ***II.3.1. Apports et limites des normes actuelles***

L'esprit de 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. Les normes résultent d'un large consensus impliquant des concepteurs, des utilisateurs, le préventeur et le législateur. C'est pour cette raison qu'elles sont relativement exhaustives par rapport à la nature des dangers pris en considération.

Cependant, elles ne sont pas toujours aisées à appliquer, étant donné la diversité des recommandations précises à mettre en place. Les concepteurs ont donc plutôt tendance à appliquer ces directives directement sur un composant spécifique sans prendre en considération l'ensemble systémique de l'installation (vision sectorielle). De plus, les normes renvoient parfois à des notions complexes à appliquer, telles que l'estimation et l'appréciation des risques (décrit dans l'EN 1050) pour lesquelles les concepteurs manquent en général d'outils, de méthodologies et éventuellement de connaissances.

Elles ne permettent pas à l'heure actuelle une totale prise en compte des principes ergonomiques : on voit encore souvent des protections retirées, ou des sécurités contournées. Finalement, l'intégration des prescriptions normatives dans le processus de conception reste difficile. En ce sens, des travaux récents (Blaise, 2001) ont abouti au développement d'un "outil d'assistance informatique" pour les concepteurs, qui a consisté à extraire toute la connaissance contenue dans les normes (traduction des textes normatifs par le formalisme NIAM) pour la mettre à disposition des concepteurs tout au long de leur démarche.

Pour conclure, on peut dire que la création des normes relatives à la sécurité a été bénéfique pour la réduction des accidents graves, comme nous le verrons dans la partie II par une analyse des accidents survenus dans les imprimeries. Cet aspect conforte l'idée que la création et le développement d'un système normatif est nécessaire, mais non suffisant.

#### II.4. Approche socio-technique

Pour finir sur cette revue des différentes approches en matière de prévention des risques, nous abordons quelques approches permettant d'appréhender les interactions homme-machine.

C'est le cas notamment, de l'approche développée par Millot (1988, 1999) qui s'intéresse à la supervision des procédés automatisés et à l'ergonomie. L'auteur propose une approche centrée sur la coopération homme-machine qui s'insère dans le courant de l'automatique humaine (human engineering) et dont l'objectif est de "réintroduire" l'homme au sein des systèmes automatisés en établissant une répartition dynamique des tâches entre l'homme et la machine. Cela nécessite une évaluation tant du point de vue des critères techniques liés à la performance du système, que du point de vue ergonomique concernant essentiellement l'évaluation de la charge de travail.

Maline (1994) quant à lui, part du principe que deux démarches concourent à la conception d'un système : celle développée par l'ingénierie et celle utilisée par l'ergonomie. Elles présentent selon l'auteur des similitudes méthodologiques et des complémentarités. En ce sens, il propose d'utiliser des outils de simulation communs aux domaines de l'ingénierie et de l'ergonomie, pour la conception de systèmes.

Enfin, d'autres types d'approches qualifiées de combinatoires (dans le sens où leur démarche implique l'utilisation de différents outils relatifs à la SdF et à l'ergonomie) ont été développées, telle que la Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes (MADS) qui a pour but d'appréhender le danger à travers plusieurs actions (Groupe MADS, 1994) :

- Représenter les systèmes d'où sont issus et sur lesquels s'appliquent les Evénements Non Souhaités (système source, système cible).
- Mettre en relation les systèmes source et cible afin de modéliser le "processus de danger".
- Identifier, évaluer, maîtriser, gérer et manager les Evénements Non Souhaités dans des systèmes complexes et variés, a priori (prévention) et a posteriori (retour d'expérience).

Dans ce cadre, la méthodologie identifie quatre types de systèmes pouvant être considérés tour à tour comme source de danger ou cible de danger : l'individu (l'opérateur par exemple), la population, l'écosystème, l'installation. C'est par la notion de *points de vue* que seront

identifiés les domaines dans lesquels se situent les effets du système source sur le système cible et les outils et méthodes nécessaires à leur analyse et maîtrise<sup>19</sup>.

Finalement, une approche nous intéresse plus particulièrement : MAFERGO (Méthodologie d'Analyse de Fiabilité et d'ERGonomie Opérationnelle) (Guillermain et al, 1990 ; Fadier et al, 1996) permet une analyse opérationnelle en combinant les outils de l'approche fondée sur la fiabilité technique du système et ceux fondés sur l'approche ergonomique. Cette méthodologie est détaillée dans la partie II de ce mémoire, puisque c'est l'approche que nous avons privilégiée dans le cadre de l'analyse des systèmes d'imprimerie.

### **III. SYNTHÈSE SUR L'APPORT DES DIFFÉRENTS TYPES D'APPROCHES AU NIVEAU DE LA CONCEPTION**

A partir de cette revue des différentes approches d'analyse de risques, nous pouvons conclure qu'il paraît illusoire d'intégrer les risques à la conception en ne prenant en compte qu'un seul des deux points de vue : celui centré sur le système technique – celui centré sur l'homme.

Les problèmes liés à la prévention ne peuvent se résoudre si chacune des disciplines s'ignore et propose des solutions qui n'avantagent qu'une dimension de l'ensemble socio-technique.

Or, toute la difficulté vient notamment du fait que selon les domaines le concept de risque ne fait pas appel aux mêmes notions. Dès lors, il est très difficile de couvrir l'intégralité des risques inhérents à un système : La SdF reste centrée sur l'occurrence des défaillances techniques, les approches relatives à la fiabilité humaine tentent de comprendre et d'explicitier le fonctionnement de l'opérateur humain, l'ergonomie vise à réduire les écarts entre tâche prescrite et activité réelle et l'approche normative reste quant à elle relativement vague sur la définition du risque, mais propose essentiellement des solutions techniques à appliquer pour le masquer. Dans ce cadre, notre caractérisation des risques qui se positionne sur l'interaction entre les risques définis à travers les concepts de la SdF et les risques liés à la santé/sécurité, doit nous permettre d'avoir un nouveau regard sur les situations de travail. Aux vues des apports et limites de chacune des approches (Tableau 4), nous verrons **que l'approche socio-technique réalisée avec MAFERGO permet d'appréhender le risque selon cette caractérisation.**

---

<sup>19</sup> Exemple : Système source = Installation ; Système cible = Opérateur ; Points de vue = Ergonomie, Sécurité du travail, Conditions de travail.

Nous avons vu par ailleurs que la plupart des méthodes décrites se heurtent à la difficulté de prendre en compte a priori **la variabilité des situations de travail** (variabilité de l'entreprise, diversité et variabilité des individus). Or, cet aspect est à l'origine de nombreux risques (inadéquation du système conçu avec son environnement de travail spécifique).

Approches	Portée/apports	Limites
<b>Techno-centrée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles assurent la fiabilité technique du système</li> <li>- Existence d'outils de différentes natures permettant de prévoir de nombreux modes de défaillances</li> <li>- La plupart de ces outils sont utilisables à la conception</li> <li>- Ils permettent une coopération entre acteurs de disciplines diverses</li> <li>- Existence de supports informatiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles reposent sur des modèles simplifiés (qui peuvent parfois s'éloigner de la réalité)</li> <li>- Elles induisent une tendance à ne retenir que les modes de défaillances les plus probables</li> <li>- Pour être réellement efficaces, elles nécessitent de mettre en œuvre des moyens financiers importants (acteurs, temps...)</li> <li>- Elles ne prennent que sommairement l'Homme en considération</li> </ul>
<b>Anthropo-centrée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles s'efforcent de prévoir l'impact des défaillances techniques sur l'activité des opérateurs, c'est à dire "l'activité future probable" liée au système</li> <li>- Elles viennent donc compléter l'approche fondée sur la sûreté de fonctionnement</li> <li>- Elles prennent en considération les principes systémiques, la variabilité des situations et des individus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles nécessitent de faire appel à des spécialistes (type ergonomes) dont les industries courantes ne disposent pas forcément</li> <li>- Elles nécessitent de mettre en place des moyens financiers importants, mais ne garantissent pas toujours le respect du rapport coût/efficacité, de ce fait elles ne pénètrent pas réellement le monde industriel ou sont réalisées trop tard.</li> <li>- Elles pointent la variabilité des situations, mais ne proposent pas toujours de solution applicable</li> </ul>
<b>Normative</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles permettent de répondre aux exigences législatives,</li> <li>- Elles ont été créées à partir d'un large consensus impliquant concepteurs – utilisateurs – préventeurs – législateurs (exhaustivité relative)</li> <li>- Elles permettent de mettre en place des préconisations précises de sécurité (obligation de moyens)</li> <li>- Quand ce n'est pas possible elles encouragent la formation et l'information sur les risques inhérents au système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles ne sont pas toujours évidentes à appliquer (diversité des recommandations)</li> <li>- Elles ont tendance à recommander une solution à "plaquer" sur un système sans prendre en compte les principes systémiques</li> <li>- Elles n'autorisent pas l'intégration des principes ergonomiques</li> </ul>
<b>Socio-technique</b>	Elles permettent une réflexion sur la situation de travail dans toute ses dimensions	Elles nécessitent d'y consacrer suffisamment de temps et de mettre en œuvre les compétences nécessaires : aspects liés à la difficulté de travailler sur l'interface

Tableau 4 : Synthèse sur l'apport et les limites des différentes approches pour la conception

Nous nous intéressons à présent à la capacité d'intégration de tels outils par les démarches de conception. Dans ce cadre, nous décrivons tout d'abord l'activité de conception : ses caractéristiques, ses contraintes, ses acteurs... Puis nous verrons quelles sont les démarches existantes pour mener à bien un projet de conception.

## **Chapitre II :**

### **Démarches de conception : A quel moment envisage-t-on le risque ?**

---

#### **I. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION**

Pour évaluer la capacité d'intégration des risques par les démarches de conception, nous nous interrogeons tout d'abord sur la notion d'activité de conception : les modes de raisonnement, la logique appliquée, les exigences, les difficultés, les contraintes, les acteurs impliqués, l'objet de conception, etc. Ces différents aspects seront abordés, sans aller trop loin dans la description, pour nous intéresser également à la manière dont est organisé le projet de conception et identifier les données et méthodes utilisées pour la prise en compte des risques.

Le processus de conception a été longtemps considéré comme une organisation de type industriel réunissant des ingénieurs de différents domaines (modèle de l'entrepreneur<sup>20</sup>, modèle taylorien<sup>21</sup>), chacun ayant des buts précis et fonctionnant selon une approche descendante des problèmes. Actuellement, avec l'émergence de nouveaux paradigmes (en particulier celui de la complexité<sup>22</sup>), la conception voit son champ, son organisation et ses modes de fonctionnement se transformer et évoluer, notamment en raison de la prise de conscience de l'élargissement des tâches et des domaines qui la concernent.

---

<sup>20</sup> Dans ce modèle, formalisé en 1934 par Schumpeter, la conception d'un nouveau produit s'identifie à la naissance et au développement d'une firme. La figure clé du modèle est l'entrepreneur, créateur du produit, fondateur de l'entreprise, qui rassemble dans sa personne la compétence technique, la compétence sociale de l'animation, de la coopération innovatrice, et assume personnellement le risque (Midler et al., 1997).

<sup>21</sup> Modèle qui prône pour le morcellement et la spécialisation du travail.

<sup>22</sup> Selon Morin (1996), la complexité se caractérise par l'extrême quantité d'interactions et d'inférences entre un très grand nombre d'unités. Elle comprend également des incertitudes, des indéterminations, des phénomènes aléatoires. La complexité est liée à un certain mélange d'ordre et de désordre.



### **I.1. La conception est une activité de résolution de problèmes**

Selon plusieurs auteurs, l'activité de conception comporte des caractéristiques qui l'apparentent à une activité de résolution de problèmes :

- le concepteur doit atteindre un but (un produit avec une fonctionnalité particulière définie par le client) pour lequel il ne dispose d'aucune procédure prédéfinie, réutilisable (dans le cas d'une réelle innovation) (Bonnardel, 1999),
- le problème de départ est généralement mal défini, flou, incomplet, le concepteur a en charge de développer, affiner, compléter cette représentation initiale délivrée par le client (Bonnardel, 1999),
- au fur et à mesure que le projet avance, la connaissance sur le sujet augmente, mais les possibilités de choix diminuent (Midler, 1996),
- les problèmes étant extrêmement larges au départ, leur résolution appelle en conséquence une multitude de solutions potentielles (Bonnardel, 1999). En réalité, on remarque qu'il y a généralement une co-construction du problème et de la solution (de Terssac, 1996).

Ces différents points traduisent en partie la complexité inhérente à la phase de conception. L'intégration des risques s'insère dans cette problématique, elle possède elle-aussi des caractéristiques relatives à une activité de résolution de problèmes.

Il est important de souligner qu'avant même d'être une activité de résolution de problèmes, la conception consiste à construire ce problème (Daniellou, 1992 ; Wisner, 1996).

### **I.2. La conception est une activité collective : pluralité d'acteurs et de compétences**

Selon de Terssac (1996), le processus de conception doit être considéré comme un collectif de différents acteurs ayant des compétences diverses et porteurs de contraintes variées. La conception peut d'ailleurs être assimilée à *un lieu de construction d'une intelligence collective* qui, pour être efficace, passe nécessairement par :

- la coopération entre les composantes de l'entreprise, mais également avec ses partenaires externes (Perrin , 1999). La difficulté réside dans le fait que ce n'est pas parce que l'on met en présence différentes compétences individuelles, que l'on aura forcément une "fusion" collective des connaissances et des savoirs, sans laquelle on ne peut parler de conception (de Terssac, 1996).

- la coordination : l'approche de la conception a longtemps été assimilée à un processus qui, pour élaborer un produit ou un système, était amené à le décomposer afin que chaque métier traite (séparément) les parties relatives à son domaine, tout en s'efforçant néanmoins de respecter le but commun assigné en termes de contraintes techniques, financières, économiques (Soubie et al, 1996). Le cloisonnement des compétences est alors prédominant. Or, l'élaboration de solutions ne peut être envisagée tout en ignorant l'interdépendance de celles-ci par rapport aux différentes composantes du produit ou du système. Elle nécessite une coordination.

Dans ce cadre, les acteurs doivent faire face à deux natures de difficultés :

- d'une part, l'appropriation et la traduction des concepts d'autrui (nécessité pour chaque acteur de s'approprier les idées et éléments émis par les autres partenaires),
- d'autre part, la confrontation des idées (chaque acteur ayant une vue propre du système, il est nécessaire de débattre pour trouver des compromis).

En ce sens, la structuration du projet nécessite l'utilisation d'objets intermédiaires (CAO, graphes fonctionnels, maquettes virtuelles ou physiques, bases de données...) qui permettent le partage d'une vision commune du produit. Selon Darses (1992), *"l'idée de base de ces outils est que concevoir, c'est accomplir une réduction progressive d'un espace de recherche initialement très large : un moyen efficace de réduire cet espace est alors de formuler, propager et de satisfaire les contraintes liées au problème"*. Le problème est que ces outils sont basés sur le fait que la conception consiste en la résolution de problèmes successifs. Cette approche par résolution de contraintes est insuffisante dans les cas de conception de systèmes complexes, pour lesquels la nécessité de revenir sur certains choix de solutions s'impose. Utilisés trop tôt, ils peuvent par leur rigidité, avoir tendance à bloquer certains retours en arrière ou réévaluations de certains choix.

Hatchuel (1996) souligne également l'existence d'une prescription réciproque qui résulte d'un processus d'apprentissage croisé entre les différents partenaires du projet (client, chef de projet...). Les prescriptions se durcissent au fur et à mesure que le projet progresse, induisant un caractère limitatif au niveau des choix.

Cet aspect de prescription aura un impact fort au niveau de l'intégration des risques, car les choix dictés dès le départ, par certaines entités, vont induire des contraintes au niveau des solutions à envisager en terme de fiabilité et santé/sécurité.

La mise en commun des idées, des compétences et des points de vue nécessite une synchronisation cognitive des acteurs en termes de réflexion et de décision : il faut s'assurer que les acteurs partagent un même savoir général pour appréhender la situation et qu'ils possèdent les connaissances relatives à l'état de la situation. Selon De Terssac (1992), pour atteindre un but assigné, il est indispensable de construire un "référentiel opératif commun".

### **I.3. Progression et répartition du projet dans le temps en fonction des différentes contraintes (coût, délais, qualité)**

Les caractéristiques de l'activité de conception exposées jusqu'à présent montrent qu'il s'avère difficile de structurer efficacement le projet, or cela semble indispensable pour réussir à mettre en adéquation les composantes du triptyque coûts – délais – qualité.

L'irréversibilité croissante du processus induit un poids important sur les décisions prises dès le début du projet. En effet, Midler (1993) a mis en lumière le paradoxe selon lequel plus on progresse dans le projet, plus on a de connaissances sur le sujet et moins on a de marges de manœuvre pour modifier et améliorer en conséquence le système en question. Plusieurs auteurs (Calvez, 1992 ; Perrin, 1999 ; Meinadier, 1998) ont également souligné l'impact financier des toutes premières décisions sur le coût final inhérent au système conçu.

De la même façon, Meinadier (1998) montre que la conception en tant que telle, induit un faible coût au regard des autres phases du cycle de vie du système, pourtant, c'est elle qui détermine la quasi totalité des coûts du cycle de vie et qui conditionne toute l'activité future de production. On voit ici toute la portée du risque financier qui a été évoqué dans le Chapitre I.

La conception est donc une activité vouée à évoluer dans un cadre de contraintes et un espace de décisions, structuré par des prises de position successives des différents acteurs du projet.

En ce sens, l'intégration des risques doit être pensée dès les premières phases du projet, car les modifications aval (en rapport avec les prescriptions normatives par exemple) ont toutes les chances de s'avérer relativement onéreuses et de ne pas être harmonieuses par rapport à la globalité du système.

### **I.4. Pour qui conçoit-on ?**

Il est important de préciser que dans le processus de conception, si le concepteur est considéré comme l'acteur principal, le client-demandeur occupe lui aussi une place prépondérante. Cependant, la notion de demandeur doit être clarifiée, car la demande est loin d'être formulée par l'utilisateur direct du système. En réalité, *"les besoins des utilisateurs sont souvent inférés*

*par le concepteur à partir des spécifications formulées dans le cahier des charges. Généralement c'est le client demandeur qui est en contact avec le concepteur"* (Fadier, 1998 B). Cela signifie que les besoins réels en termes d'exploitation/d'utilisation du système (accessibilité, posture, protection contre le bruit...) ne sont pas des données directes du cahier des charges. En réalité, c'est surtout en termes de performance et de coût que seront exprimés préférentiellement les besoins.

Les utilisateurs finaux étant généralement tenus à l'écart du processus de conception, c'est l'une des raisons du décalage préexistant entre d'une part, le système conçu et l'utilisation théorique et d'autre part, le système implanté et l'utilisation réelle qui en est faite par les opérateurs.

La Figure 11 montre les différents espaces relativement cloisonnés à l'intérieur desquels le système évolue, depuis sa conceptualisation jusqu'à son utilisation, ainsi que les exigences, les interactions et les acteurs concernés à chaque stade :

- La conception est un espace d'échanges et de négociations entre le client-demandeur et le concepteur (représentant les différents métiers), dans lequel le cahier des charges sera rédigé. A ce stade, le système est conceptualisé.
- La réalisation est un espace d'échanges essentiellement entre le concepteur (le Bureau d'Etudes en général) et l'intégrateur (ayant pour fonction de procéder à l'assemblage des éléments entre eux). Par rapport aux choix technologiques, la tâche consiste ici à faire en sorte que le système soit constructible, matérialisable, pour cela certains compromis et ajustements seront nécessaires.
- L'implantation est un espace au cours duquel le système est installé chez le client dans un environnement spécifique (en terme d'espace, de disponibilité des ressources...). Le système neuf implanté va donc subir des ajustements en conséquence et fera l'objet des premières utilisations pendant lesquelles les opérateurs seront éventuellement formés.
- L'exploitation est une phase au cours de laquelle le système doit remplir des objectifs de rendement et de qualité, toute la responsabilité repose alors sur les opérateurs (derniers maillons de la chaîne) qui sont en relation avec le client-demandeur (la direction généralement) en attente de performances de production.

Cette schématisation a pour but de matérialiser le cloisonnement entre les acteurs intervenant dans les différentes phases du cycle de vie du système. Même si le but commun générique à chaque espace est la "mise en fonctionnement" du système technique, néanmoins les

contraintes liées à chaque espace, les données disponibles et les acteurs (et donc les savoirs) sont différents et ne communiquent pas de façon optimale. On voit donc la nécessité d'une mise en relation entre le client-utilisateur et le concepteur par une conception participative ou retour d'expérience.

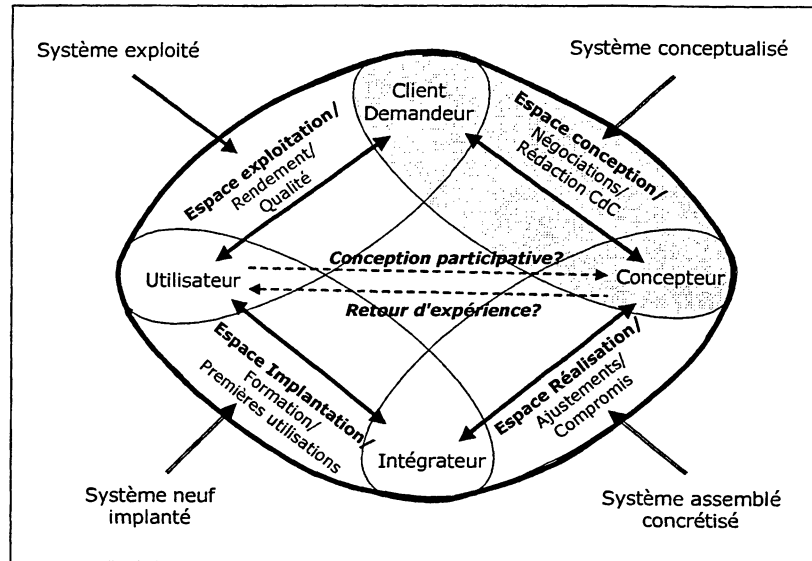


Figure 11 : Représentation des espaces au sein desquels le système évolue

### I.5. L'objet de conception

Il existe une gamme relativement large de situations de conception depuis la conception de produits jusqu'à la conception de situations de travail. Les choses ne seront pas abordées de la même façon selon que l'on traite de la mise au point d'un produit ou du moyen pour le fabriquer (impliquant l'élaboration de modes opératoires par exemple). Le niveau de conception conditionne les approches de conception à mettre en œuvre. En ce sens, Fadier (1998 B) identifie cinq niveaux de conception distinctifs.

Selon la Figure 12, notre objet d'étude correspond à la conception des rotatives et leur utilisation et non aux moyens à mettre en œuvre pour leur fabrication. Les rotatives sont des systèmes que l'on peut qualifier de complexes :

- leurs propriétés et leurs comportements résultent de l'interaction de plusieurs constituants (sous-systèmes),
- ils sont généralement hétérogènes à différents niveaux : en terme de concepts utilisés (fonctions, flux...), en terme de technologie (logiciel, mécanique, électronique...), en terme de métiers,

- ils mettent en jeu la dimension humaine : un système est conçu par des hommes, pour des hommes.

Leur décomposition en sous-systèmes qui est à la base de la plupart des approches de conception, implique par conséquent une perte de connaissances et donc de maîtrise sur le fonctionnement réel de ce système (le tout est plus que la somme des parties).

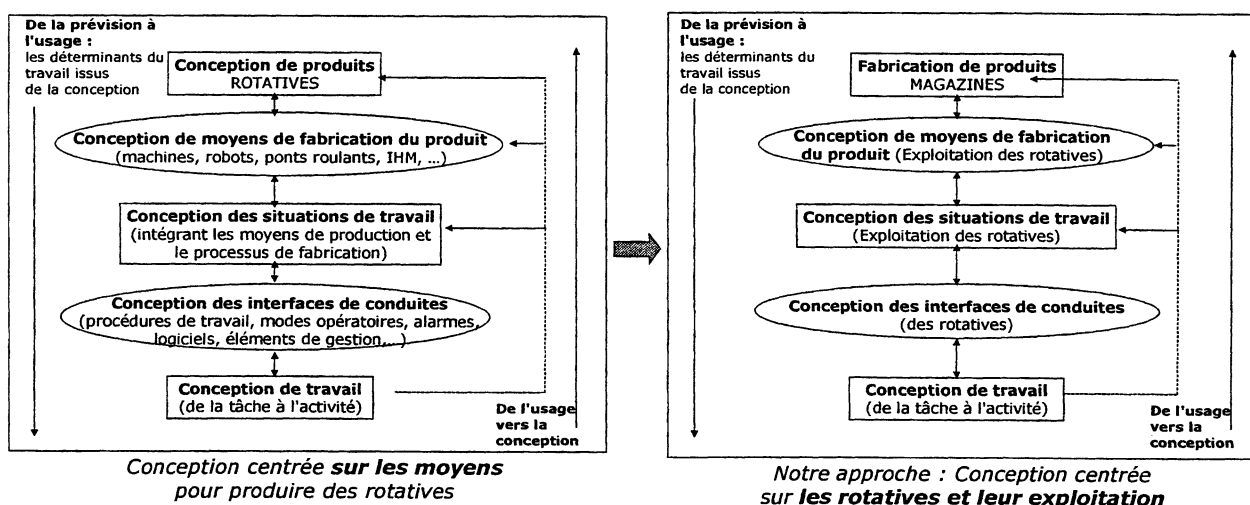


Figure 12 : Les différents niveaux d'une conception : de la conception du produit à celle de l'activité, adaptée de Fadier (1998 B)

### I.6. L'analyse des risques comme moyen pour structurer l'activité de conception

Aux vues des caractéristiques de l'activité de conception, il semble que les méthodes d'analyse de risques dans leur ensemble, peuvent participer à la "structuration" de l'activité de conception. En effet, on a pu souligner dans le chapitre I, le fait qu'elles contribuent à un partage d'une représentation commune du système et qu'elles constituent un bon outil d'échange des idées, puisqu'elles sont destinées à être utilisées en groupe de travail intégrant des représentants de différents domaines.

L'utilisation combinée de ces outils (identification des sources de risque, analyse causale des risques, analyse de l'activité des opérateurs...) est capable de mettre en évidence les inadéquations liées à l'exploitation du système et donc d'éviter suffisamment tôt les retours en arrière souvent onéreux. Utilisés rigoureusement, ces outils permettent d'avoir une traçabilité des évolutions technologiques, des améliorations réalisées sur les systèmes, en les enrichissant par des données déterministes. Ils permettent d'éviter les erreurs de conception et d'anticiper certains problèmes.

Néanmoins, leur mise en œuvre nécessite de mobiliser suffisamment de ressources humaines, d'y consacrer suffisamment de temps, ces deux aspects engendrant des coûts. Les concepteurs soumis à un contexte concurrentiel excessif ont beaucoup de réticences à accorder autant de moyens pour des études préliminaires dont ils ne connaissent pas les retombées.

## **II. LES DEMARCHES DE CONCEPTION : APPROCHE SUCCINCTE**

Consécutivement aux problèmes liés à l'activité de conception, différentes approches de conception tentent de fédérer les acteurs autour de la construction d'un but commun.

Les approches de conception se scindent en deux courants de pensée : l'approche technocentrée et l'approche anthropocentrée. Ces deux approches ne concentrent pas leurs efforts au même niveau, car si pour la première l'effort est centré sur le système technique, la seconde place l'homme au centre du processus.

### **II.1. Conception technocentrée**

C'est l'approche de conception la plus ancienne. Son objectif est principalement centré sur le développement du processus technique et les composants intrinsèques du système à concevoir. Elle s'attache essentiellement à trouver des solutions techniques à un problème posé.

L'outil de base de cette approche est l'analyse fonctionnelle (AF X 50-150) dont le rôle est d'analyser les fonctions auxquelles doit répondre le produit ou le système pour pouvoir fonctionner. Il aboutit à l'élaboration du cahier des charges fonctionnel.

Cette approche privilégie les composantes techniques au détriment des dimensions humaines et sociales. L'opérateur n'est pris que sommairement en compte (ergonomie de "surface"), il hérite le plus souvent des fonctions que le système technique ne peut pas remplir (Bainbridge, 1982 ; Garrigou, 1994 ; Rabardel, 1995 ; Fadier, 1995).

#### ***II.1.1. Apports et limites des approches séquentielles et concourantes***

Les approches essentiellement utilisées selon le modèle technocentré de conception sont les **méthodes séquentielles** et **l'ingénierie concourante** dont les caractéristiques sont synthétisées dans le Tableau 5.

L'ingénierie concourante reste la mieux adaptée pour une prise en compte des risques par l'utilisation de différents outils, du fait de son principe permettant la participation d'acteurs touchant aux différentes phases du cycle de vie.

De par son principe de planification linéaire dans le temps<sup>23</sup>, la conception séquentielle semble n'autoriser une prévention des risques qu'en termes d'obligation de moyens, puisque les aspects sécuritaires ne sont pas prioritaires par rapport aux données techniques.

Ces deux approches reposent généralement sur l'Analyse fonctionnelle qui induit elle-même des biais que nous explicitons.

---

<sup>23</sup> En réalité, cette démarche n'est que partiellement descendante, car de nombreuses itérations relativement coûteuses sont en général réalisées.



	Approche séquentielle	Approche Concourante
<b>Fondement /Principe/ Caractéristiques</b>	Principe simple reposant sur : - une planification linéaire du projet dans le temps, - un découpage hiérarchique et technique basé sur l'organigramme de l'entreprise (Clark et al, 1988).	Apparition fin des années 1980 <sup>24</sup> . Volonté d'une mise en adéquation du triptyque : coût – qualité – délais. Prise en compte de l'ensemble du cycle de vie (depuis sa définition jusqu'à son démantèlement) – Approche qui intègre le développement simultané des produits et des processus associés, incluant la fabrication et le soutien logistique.
<b>Avantages</b>	- Ne perturbe en rien la structure de l'entreprise (culture bureaucratique) (Navarre, 1993). - Evite les effets destabilisateurs des projets sur la structure de l'entreprise. - Permet une structuration cohérente du projet étape par étape.	- Implique la participation d'acteurs touchant aux différentes phases du cycle de vie (coopération, coordination...). - Autorise une résolution spontanée de problèmes (sans lourdeur de procédures hiérarchiques). - Reste basée sur une logique opportuniste tout au long du projet. - Permet une réduction des coûts induite par le fait qu'elle nécessite moins de modifications en fin de projet. - Elle permet l'intégration d'intervenants externes (exemple du Modèle Conception Distribuée <sup>25</sup> (Salaud 1995 ; Jouffroy, 1999)).
<b>Limites</b>	- Ne permet pas de relation entre les entités amonts et les entités aval induisant un rétrécissement du champ d'action au fur et à mesure des prescriptions. - Engendre de ce fait généralement des dépassements des coûts importants liés aux modifications réalisées en fin de projet (Chanan et al, 1994).	- Difficultés liées à la construction d'un référentiel opératif commun. - Difficultés liées à la collaboration, la coordination des différents acteurs.

Tableau 5 : Apports et limites des approches séquentielles et concourantes

<sup>24</sup> Le concept émerge tout d'abord dans l'industrie japonaise. Puis en 1982, suite à des études comparatives de la compétitivité des firmes japonaises et américaines, la Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) des Etats-Unis remet en cause le modèle séquentiel de développement. En 1986, l'IDA (Institut of Defense Analyses) propose le concept de concurrent engineering (IDA report R338) (Bossard, 1997).

<sup>25</sup> Salaud (1995) reprend les fondements de l'ingénierie concourante et propose le Modèle de Conception Distribuée (MCD) qui comporte trois pôles (Fonctionnel – Structurel – Fabrication) représentés respectivement par un acteur et ayant chacun un objectif local particulier émergeant au cours des interactions entre chacun des modules. L'approche a pour objectif de favoriser la convergence des points de vue par la mise en œuvre de conditions nécessaires et suffisantes. Pour ce faire, elle se centre sur les échanges de communication (réalisés par l'intermédiaire des outils et supports manipulés au cours de la conception), pour en faire l'élément principal permettant l'émergence de l'objet à concevoir, mais également l'émergence de l'organisation des acteurs entre eux. Dans la même lignée, Jouffroy (1999) reprend le MCD et y insère cinq nouveaux modules dont le module H.E.S. (Hygiène Ergonomie Sécurité) dédié aux aspects sécuritaires au sens large, dans un souci d'intégrer au plus tôt les exigences relatives à l'utilisation du système.

### II.1.2. L'Analyse Fonctionnelle (AF)

C'est principalement sur l'Analyse Fonctionnelle (NF X 50-151) que reposent les approches classiques de conception. Cette approche consiste basiquement à passer des besoins aux fonctions puis aux composants structurant le système (Figure 13).

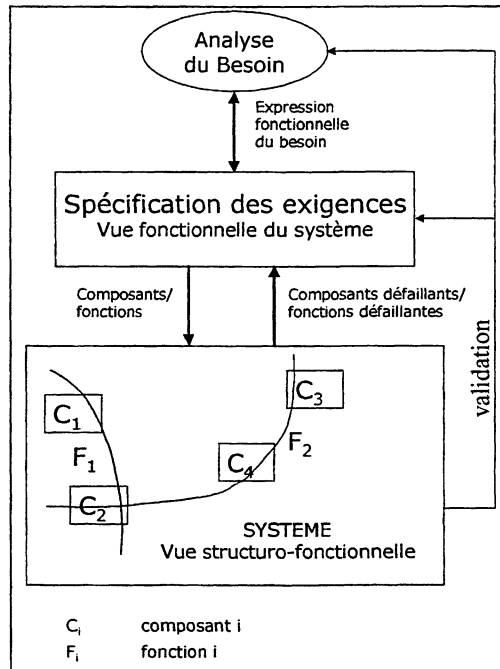


Figure 13: Représentation d'une démarche générique de conception basée sur l'analyse fonctionnelle (adaptée de Amoussou, 1999)

Pour cela une diversité d'outils jalonne le déroulement de la démarche. Vadcard (1996) a en effet, recensé 72 outils autorisant entre autre : une approche pluridisciplinaire du besoin, la créativité, la définition des solutions, la matérialisation de solutions...

Des méthodes telles que RELIASEP<sup>26</sup> permettent d'intégrer les exigences de la SdF applicables au produit depuis sa conception jusqu'à son industrialisation (Pitton, 1997).

Une limite relative à ces outils est qu'ils se basent sur une décomposition du système principal considéré comme compliqué en ses sous-systèmes, jusqu'à l'obtention d'un problème simple. Or, dans le cas particulier des systèmes de production, les systèmes sont rarement compliqués, mais bien souvent complexes de par leurs caractéristiques. En effet, la représentation sous forme de "boîte noire" (formalisme généralement utilisé) est essentiellement destinée à une

<sup>26</sup> Méthode conçue par la SEP (Société Européenne de Propulsion)

représentation technique du système et n'autorise pas ou peu la prise en compte des autres dimensions.

Les outils généralement utilisés permettent de formaliser les aboutissants des différentes étapes et de pouvoir situer l'avancement du projet en terme de coût, qualité, délais (Meinadier, 1998).

Généralement organisée sous la forme de plateau-projet, la démarche favorise la rencontre des acteurs, donc l'intégration, la mise en commun des idées, la construction d'un référentiel commun.

Une des limites liée à cette approche réside dans le fait que **les exigences de sécurité sont plutôt envisagées en termes de contraintes d'utilisation à résoudre** et pour cela, les concepteurs utilisent les normes et recourent à deux stratégies (Nicolas, 1996) :

- soit ils attribuent aux utilisateurs des caractéristiques à partir d'une réflexion basée sur le "bon-sens" : ils leur prêtent certaines compétences et limites a priori (pour lesquelles on peut fortement douter de la validité puisqu'elles ne sont pas fondées sur une analyse de l'activité),
- soit ils se mettent à la place des utilisateurs et leurs prêtent leur propres capacités et limites, ce qui là encore ne garantit en rien refléter la réalité.

Les concepteurs réalisent d'ailleurs souvent une simulation langagière qui consiste à reconstituer oralement des scénarios à partir de "morceaux" de solutions afin d'alimenter la réflexion et d'argumenter sur certains choix.

D'autre part, l'approche fonctionnelle s'inscrit dans une dialectique construction/résolution de problèmes alors que son objectif premier est la définition du problème. En effet, les problèmes sont trop souvent abordés du point de vue des solutions. Autrement dit, avant même que la fonction ne soit réellement bien définie, une solution est évoquée (Darses et al, 1996).

De ce fait, les chances de renouveler les concepts et de trouver des solutions plus adaptées à la vie opérationnelle du système sont très minces. Bonnardel (1992) a mis en évidence que la solution recherchée en priorité par le concepteur est généralement préexistante (solution standard), déjà utilisée dans le domaine de conception considéré. Lorsque cette solution n'est pas satisfaisante, on recherche une solution préexistante possédant des caractéristiques opposées à la précédente (solution alternative). Mais lorsque aucune de ces solutions n'est

satisfaisante, en dernier recours, le concepteur peut proposer des éléments de solution nouveaux pour élaborer une solution nouvelle.

En ce sens Bonnardel (1992) et Fadier (1998) identifient trois types de conception :

- *la conception totalement innovante* (innovatrice) relativement inexistante, qui se définit par le fait qu'aucun système du même type ne préexiste et qui nécessite donc l'élaboration de solutions nouvelles,
- *la re-conception* (conception adaptatrice) qui est relativement bien pratiquée, correspond à l'apport de nouvelles solutions technologiques au sein d'un système préexistant (couramment pratiquée dans le domaine automobile dans lequel certaines options innovantes viennent se greffer sur une automobile qui garde néanmoins la même fonctionnalité), ou bien la solution évoquée est déjà en partie physique, mais certaines de ses caractéristiques doivent être modifiées,
- *l'amélioration de systèmes existants* (conception répétitive) s'apparente quant à elle, plus à de la correction d'une solution standard en fonction du contexte d'utilisation qu'à de la conception proprement dite, les marges de manœuvres étant extrêmement restreintes.

Largement pratiqué au niveau industriel, ce dernier type de conception présente quelques limites en termes de prise en compte des risques, car le concepteur ne cherche pas à revoir le concept de certaines fonctions, mais plutôt à ajouter des protections ou des barrières sur des solutions techniques existantes qui auront tendance à cacher le danger, mais en aucun cas ne l'élimineront.

## **II.2. Conception anthropocentrée**

Consécutivement aux progrès réalisés en matière de fiabilité humaine et d'ergonomie, notamment concernant la conduite des systèmes industriels, les approches de conception tendent à évoluer "timidement" depuis les approches technocentrées vers les approches anthropocentrées qui intègrent la dimension humaine et la notion d'activité.

En effet, la philosophie adoptée par ce type d'approche consiste à centrer les efforts de conception sur le rôle des hommes dans les systèmes complexes et pour cela les concepteurs doivent essayer d'assister les opérateurs dans l'accomplissement des objectifs opérationnels dont ils ont la responsabilité (Rouse, 1991).

Dans cette optique, l'approche anthropocentrée fait appel à des notions issues de différentes disciplines complémentaires parmi lesquelles l'ergonomie occupe une place centrale. La Figure 14 représente en grisé, la contribution de chacune des disciplines.

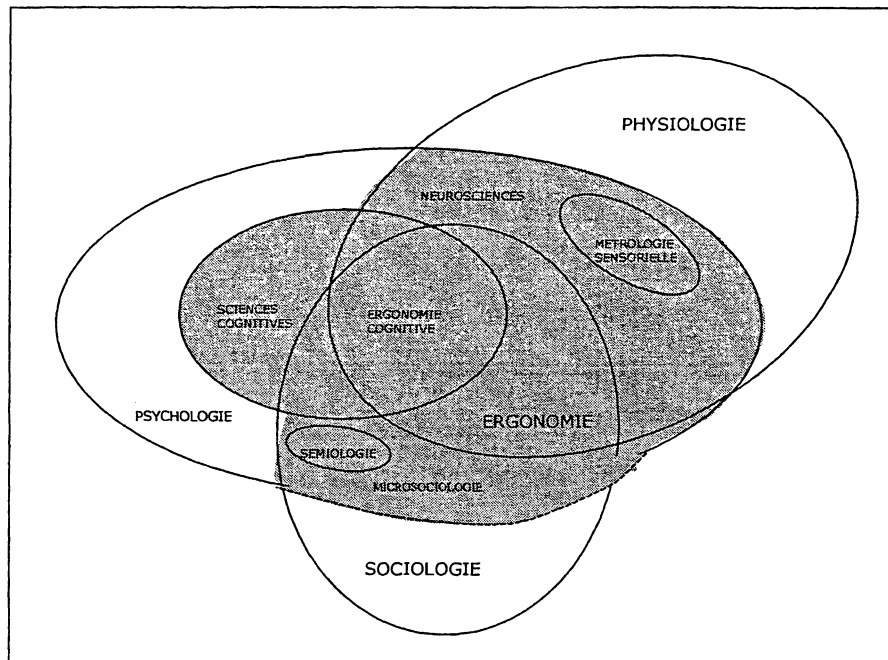



Figure 14 : Positionnement des domaines constitutifs de l'ingénierie anthropocentrée   
(Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 1997)

L'approche anthropocentrée s'attache à la compréhension d'éléments du type physiologique, psychologique, etc. qui sous-tendent l'activité humaine. Elle tente donc de mettre en adéquation les réflexions centrées sur le système avec celles centrées sur l'homme.

Elle repose essentiellement sur les cinq caractéristiques suivantes (Corbett, 1988) :

- elle s'appuie sur les compétences existantes des utilisateurs,
- elle cherche à augmenter les degrés de liberté laissés aux utilisateurs pour définir et adapter leur activité de travail,
- elle vise à faciliter les communications sociales (formelles et informelles) entre les opérateurs,
- elle tente de réduire les divisions du travail,
- elle propose de développer un environnement de travail plus compatible avec la santé/sécurité et l'efficacité du travail.

En ce sens, quelques approches ont été proposées, elles considèrent toutes explicitement trois pôles engagés dans les situations d'utilisation d'un instrument (Rabardel, 1995) :

- le sujet (utilisateur, opérateur, travailleur, agent...),
- l'instrument (l'outil, la machine, le système...),
- l'objet vers lequel l'action à l'aide de l'instrument est dirigée (matière, objet de l'activité de travail, autre sujet...).

A titre d'exemple, quelques approches peuvent être explicitées :

- l'approche COST (1991) propose un modèle tripolaire Homme – machine – objet qui, malgré une centration sur la machine, part du principe que si la machine a pour rôle d'aider l'homme dans l'accomplissement de sa tâche, celui-ci doit néanmoins subir un apprentissage pour bénéficier de cette aide. C'est un point de vue que l'on pourrait qualifier de "donnant-donnant". Le problème essentiel de cette approche est que l'interaction entre le sujet et l'objet médiatisée par l'instrument est absente,
- l'approche anthropocentrique du collectif, tel que le modèle de Engeström (1991), repose sur un modèle triadique dans lequel le système est considéré comme une totalité dynamique unifiée comprenant le sujet (opérateur et/ou collectif de travail), les instruments (outils conceptuels et matériels) et l'objet. Ces trois pôles sont reliés par des médiateurs : instruments, règles et divisions du travail.
- l'approche psychologique centrée sur le sujet, tel que l'approche de Norman (1991) propose également un modèle triadique (sujet – artefact – tâche) dans lequel le système est considéré comme une seule entité "sujet + artefact" face à la tâche. L'artefact est alors considéré comme un amplificateur des capacités fonctionnelles du système. Il prend également en considération le fait que les transformations de la tâche entraînent des exigences cognitives nouvelles nécessitant des capacités cognitives très différentes de celles prévues initialement.

L'ergonomie constitue donc un élément central permettant la prise en compte des caractéristiques de l'activité des opérateurs, afin de réduire l'écart entre l'utilisation théorique prévue à la conception et l'utilisation réelle, notamment grâce à un élargissement de son champ d'intervention<sup>27</sup> qui se traduit par le passage d'une ergonomie de correction à une ergonomie de conception, d'une ergonomie physique à une ergonomie cognitive, enfin d'une

---

<sup>27</sup> Cela ne signifie pas que les champs originaux aient été abandonnés, ils se sont simplement ouverts à d'autres domaines de recherche.

ergonomie individuelle à une ergonomie collective. L'ergonome (en accord avec les autres disciplines telles que la physiologie, la psychologie) vise également à faire en sorte de prendre en compte la plus grande variété de spécificités inter-individuelles (partant du principe que l'utilisateur moyen n'existe pas).

Néanmoins pour générer des solutions nouvelles qui soient adaptées aux exigences opérationnelles, l'intégration de l'ergonomie doit se faire le plus en amont possible, c'est à dire lors des étapes cruciales telle que la spécification fonctionnelle. Dès lors, la définition de la structure organisationnelle du projet de conception joue un rôle important.

D'autre part, les observations et analyses de l'activité réelle doivent intervenir comme complément pour vérifier la cohérence des différents choix technologiques. De plus, les interventions de l'ergonome et du client/utilisateur sont complémentaires : le rôle de l'ergonome réside essentiellement au niveau de la compréhension, puis la traduction des besoins, des exigences et des difficultés des opérateurs en données intégrables à la conception, ce ne sont cependant que des interprétations plus ou moins valides. La conception participative par l'implication des utilisateurs, peut donc également constituer un enrichissement pour le développement du système.

### **III. DISCUSSION SUR LA CAPACITE DES DEMARCHES DE CONCEPTION A INTEGRER LES RISQUES**

A travers la description succincte des grands courants de démarches de conception et des outils permettant de passer des concepts aux solutions techniques, notre volonté était de montrer qu'il existe une variété de modèles potentiellement utilisables dans l'industrie. Cependant, leur capacité en matière d'intégration des risques est variable.

**L'approche séquentielle** semble peu propice à une intégration des risques. Elle privilégie la rationalisation par la réutilisation de solutions (qui n'ont pas forcément fait leurs preuves en termes de sécurité) et l'application des normes constitue la base de la prévention des risques. Les aspects de sécurité sont envisagés en tant que contraintes, pensées au cours des dernières phases, c'est à dire en fonction des solutions déjà en place, donc en aucun cas de façon harmonieuse et systémique (par rapport à la globalité du système). Certaines contradictions entre l'usage et la mission du système seront dès lors introduites.

**L'ingénierie concourante**, de par son principe d'organisation favorisant la coopération entre des acteurs ayant des compétences variées, présente des prédispositions pour une prise en compte des risques, le plus amont possible du processus. Cependant, les aspects concernant la rentabilité et la performance technique restent prépondérants, car ils sont définis prioritairement par le cahier des charges. Les questions de risque sont de ce fait plutôt envisagées en termes de fiabilité des composants techniques, la sécurité relevant alors de préconisations dictées par les normes concernant la sécurité des machines.

Ce type d'approche confère donc des points d'entrée à l'utilisation d'outils de la sûreté de fonctionnement, mais en aucun cas n'intègre la dimension humaine en tant que composante opérative ; c'est à dire l'homme en tant que facteur de fiabilité en termes d'adaptation, d'intelligence, de réactivité...

C'est en partie à cause des limites liées à l'analyse fonctionnelle, que ces deux approches restent cantonnées à l'intégration de critères essentiellement techniques et non humains. La solution technique doit répondre au besoin du client par l'intermédiaire du cahier des charges, le plus rapidement possible et à moindre coût.

**L'approche anthropocentrée**, quant à elle, reste relativement "marginale" dans le monde industriel. La mise en adéquation de l'usage et de la mission du système constitue son objectif central, mais sa mise en œuvre demeure essentiellement informelle et manque de structuration. L'usage de données issues de différents domaines en lien avec les sciences humaines permet certes d'envisager des modes opératoires plus proches de la réalité, mais cette approche n'a pas encore été suffisamment éprouvée, principalement pour deux raisons : d'une part les méthodes à utiliser manquent de visibilité, d'autre part elle tend à laisser de côté les aspects techniques du système.

Ainsi, ce bilan sur la portée des démarches de conception nous amène à penser qu'il devient nécessaire de changer de regard sur les systèmes de production qui sont encore envisagés selon la dialogique "approche centrée sur le système technique" – "approche centrée sur l'Homme". Toute la réflexion doit porter sur une appréhension de la "situation de travail" dans laquelle l'homme et le système *coopèrent pour atteindre une performance donnée d'une mission bien déterminée* (Fadier, 1998 B).



En effet, même s'il existe un cloisonnement entre d'un côté les approches technocentrées, de l'autre les approches anthropocentrées, il s'avère beaucoup plus fécond, en pratique, d'essayer de les concilier.

Il semble que ce type d'approche ne puisse être envisagé sans la participation des usagers du système qui concourent à une définition plus opérationnelle des besoins.

De plus, le bilan sur les approches d'analyse de risques a montré qu'elles nécessitent d'y consacrer suffisamment de ressources et de temps. En réalité, lorsque les concepteurs utilisent **des outils d'analyse de risques**, on se rend compte qu'ils sont essentiellement **centrés sur la fiabilité technique du système qui est une donnée du cahier des charges**. Dans ce cadre, ils s'attachent plus particulièrement à réduire le nombre de défaillances techniques ( $\lambda$ ) et le temps de réparation ( $\mu$ ). **Pour les problèmes de sécurité, les solutions appliquées généralement en fin de conception, sont essentiellement issues des recommandations normatives** qui font preuve d'une exhaustivité relative, mais qui surtout préservent de toute responsabilité en cas d'accident.

**C'est bien à ce niveau qu'il existe un paradoxe, puisque les données de sécurité obligatoires du point de vue de la législation ne sont prises en compte qu'en fin de conception, alors que les données de fiabilité technique sont prises en compte prioritairement dans le CdC.** Cette façon de procéder répond à une logique concurrentielle qui vise avant tout à l'obtention de performances (productivité) satisfaisantes pour le client-demandeur, ignorant les aspects relatifs à l'utilisation du système et notamment les aspects de santé/sécurité.

En fait, les concepteurs prennent en compte un certain niveau de données ergonomiques qui concernent par exemple : l'aspect des boutons (couleur, forme...), en d'autres termes ils pratiquent de l'ergonomie de "surface", nécessaire, mais non suffisante (Fadier, 1999).

En réalité, **les choix de conception sont effectués sur la base de critères uniquement économiques et techniques. Les concepteurs basent de surcroît leur démarche sur des hypothèses implicites sur le travail humain, porteuses de nombreuses difficultés** et dont on peut donner des exemples (Daniellou, 1988) : une stabilité supposée de l'opérateur humain, une forte stabilité des processus (les conduisant à supposer que l'opérateur n'a qu'une tâche de surveillance), une haute fiabilité des capteurs et actionneurs, une description du raisonnement humain basée sur une analogie avec le fonctionnement d'un ordinateur...

L'opérateur est d'ailleurs considéré comme étant potentiellement nuisible au système. Or, la complexité accrue des systèmes conduit celui-ci à appliquer de moins en moins les procédures

préalablement définies, et de plus en plus à découvrir des solutions à des problèmes originaux qui n'ont pu être explicitement prévus. Il constitue en fait une réelle ressource pour le système.

A l'issue de cette revue des différentes approches de conception, plusieurs questions apparaissent cruciales pour notre recherche : **Ou s'arrête la conception ? Doit-on continuer à la considérer comme une simple phase s'arrêtant au stade de la matérialisation du système ?** Ou doit-on plutôt l'envisager comme un *processus* s'élargissant jusqu'aux premières utilisations du système, tel que Perrin (1991) le préconise également. Les premiers usages permettent de juger du décalage entre l'utilisation théorique telle que vue par le concepteur et l'utilisation réelle opérationnelle avec toutes les difficultés qu'elle implique, afin de réajuster le système. De plus, Rasmussen (1991) souligne que face à un fonctionnement dégradé d'un système complexe, les opérateurs doivent parfois effectuer une reconfiguration des composants, souvent en cours de production pour assurer la sécurité et la production. Or, si ce type d'intervention n'a pas été prévu par le concepteur, la tâche devient en fait une continuation du travail de conception qui n'a pas été achevé par le concepteur. Elle nécessitera par conséquent le même type de savoir, mais dans des conditions beaucoup plus difficiles.

Comme l'a également appuyé Rabardel (1995), la conception se poursuit dans l'usage, au cours du processus d'appropriation de l'outil par les opérateurs.

De la même façon, la phase d'implantation du système sur son site sera considérée comme une étape déterminante dans la vie du système qui fera l'objet de modifications en fonction des contraintes de terrain (espace disponible dans l'atelier de production, aménagement pour l'alimentation en consommable...). C'est une des premières phases qui mettra en exergue les insuffisances introduites par l'ingénierie. Elle devra également faire face aux difficultés liées à la recherche d'une compatibilité entre les différents sous-systèmes lors de l'assemblage complet du système (Neboit et al., 2000).

L'implantation est typiquement une phase de vérification, de validation et d'adaptation aléatoire, dans le sens où les modifications seront réalisées essentiellement de façon informelle en fonction des opportunités qui se présentent et de l'expérience et du savoir-faire du responsable technique de cette implantation.

La Figure 15 présente un récapitulatif des points essentiels abordés dans cette partie.

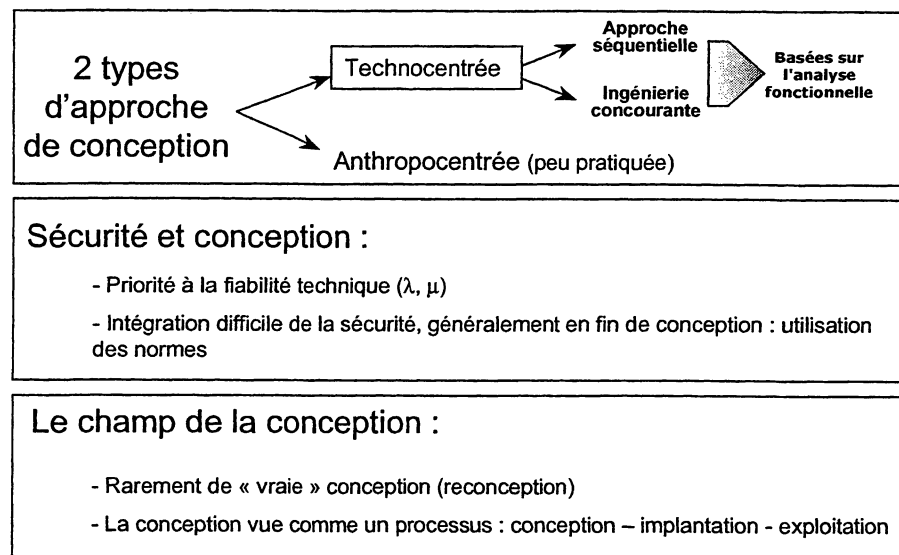


Figure 15 : Les points clés de la conception

Ces différents points feront l'objet d'une analyse menée auprès du concepteur partenaire du projet, dans le but de mettre en relation les éventuelles insuffisances liées à la démarche de conception et les difficultés rencontrées au niveau de l'implantation et de l'exploitation du système.

#### **IV. DISCUSSION SUR LA MANIÈRE D'APPREHENDER L'INTEGRATION DES RISQUES A LA CONCEPTION (APPROCHES ACTUELLES) : UNE APPROCHE ESSENTIELLEMENT SEQUENTIELLE**

Les approches de la conception classiquement mises en œuvre sont essentiellement basées sur la satisfaction des besoins du client-demandeur, généralement exprimée en termes de performances techniques, à moindre coût et en respectant des délais généralement serrés.

Dans ce cadre, nous avons formalisé un modèle qui schématise les approches actuelles de la conception et qui met en évidence la logique et les insuffisances relatives à cette démarche (Figure 16Figure 15). Ce modèle s'insère dans le cycle de vie du système comprenant : conception – implantation – exploitation.

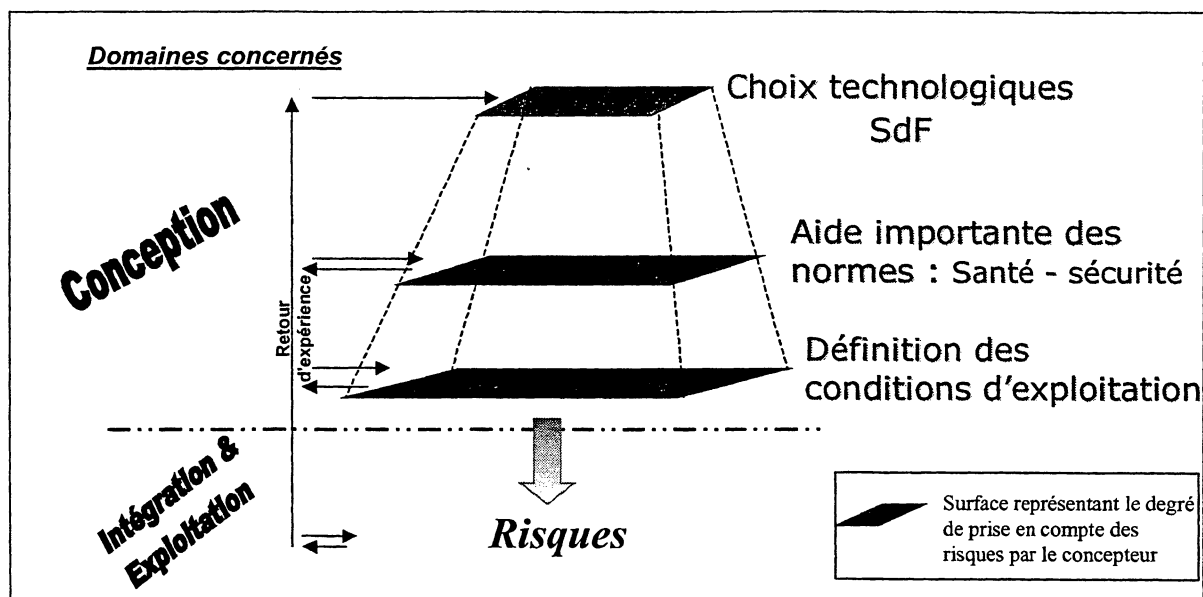


Figure 16 : Approche séquentielle de la conception

Nous considérons donc que la prévention des risques dans les démarches de conception actuelles est envisagée selon une *approche séquentielle*, qui se décompose en trois niveaux principaux :

- Le premier niveau représente les choix de solutions techniques réalisés par le concepteur qui répondent aux besoins exprimés par le client dans le CdC (démarche technocentrée). Le concepteur intègre à ce stade, quelques aspects ergonomiques de type "ergonomie de surface" (couleur, design...), mais base surtout sa démarche sur la fiabilité des composants (études SdF).  
Ce premier palier a une surface restreinte qui est proportionnelle à l'attention portée par le concepteur aux problèmes de risques liés à l'utilisation du système.
- Une fois le système réalisé techniquement, le concepteur doit, au regard de la loi, mettre en place les dispositifs nécessaires permettant d'assurer un niveau de sécurité suffisant lors de l'exploitation du système et qui s'avèrent indispensables pour commercialiser le système. Pour cela, il utilise les normes en vigueur et répond à l'obligation de moyens qu'elles délivrent. Le système est alors "enrichi" par différents dispositifs de sécurité.  
La surface de ce niveau est supérieure à celle du précédent, car c'est seulement à ce stade que le concepteur concentre ses efforts sur des moyens techniques permettant de protéger les opérateurs des éléments dangereux qui constituent le système technique (éléments mécaniques mobiles, coupant, chauffant...).

- Finalement, pour garantir les performances techniques et la sécurité des opérateurs, le concepteur définit des conditions d'utilisation.

A ce niveau, on peut considérer que la maîtrise théorique des risques est maximale, la surface de ce niveau est supérieure aux précédentes.

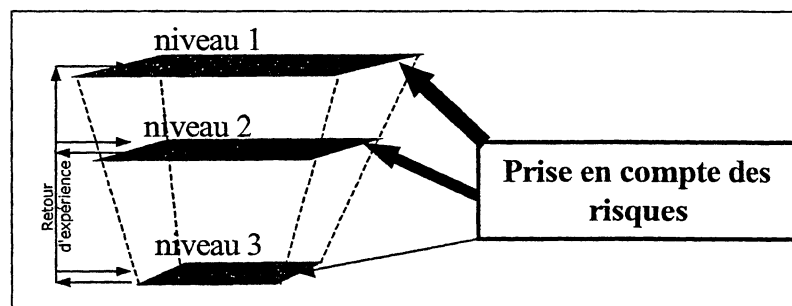
Néanmoins, malgré toutes ces précautions, le système commercialisé ne répond pas au contexte opérationnel :

- L'implantation du système sur son site nécessite des adaptations en fonction des contraintes de terrain.
- En exploitation, on constate des situations de conflit au cours desquelles **les utilisateurs favoriseront inévitablement la productivité** (vue comme la rentabilité des investissements) **à la sécurité** (vue comme un coût et des contraintes). De nombreux risques émergent alors, traduisant un écart entre le système prévu et le système opérationnel. Les circonstances et contraintes opérationnelles, ainsi que les défaillances et aléas dont est sujet le système, contraignent les opérateurs à développer des activités qui sortent du cadre prescrit. On constate dans de nombreux cas que les inadéquations des interactions Homme-machines se traduisent par un accroissement du risque pris ou provoqué par l'opérateur. Cet aspect s'explique souvent par le fait que face à un risque jugé plus ou moins improbable, une protection permanente reste difficilement acceptée (Monteau, 1997). Le problème réside dans le fait que c'est généralement par un processus de retour d'expérience que les industriels surmontent temporairement les différents incidents rencontrés en cours de production. On pallie ces incidents par des dispositifs surajoutés souvent gênants et peu efficaces accentuant alors, un antagonisme productivité/sécurité déjà manifeste (Monteau, 1992).

D'une façon plus générale, cette situation est induite par une dérive du comportement global de l'organisation sous l'influence de pressions fortes vers l'efficience, dans un contexte global d'environnement compétitif, tel que Rasmussen (1997) le décrit dans son modèle de gestion globale des risques.

Cette approche retrace par ailleurs, la vision diachronique du système selon laquelle à chaque phase du cycle de vie (conception – implantation – exploitation), le système évolue en fonction des contraintes et du contexte opérationnel auquel il est exposé.

Aux vues des limites relatives à cette approche séquentielle, notre objectif consiste à envisager la prise en compte des risques beaucoup plus en amont de la démarche de conception et surtout d'intégrer cette vision diachronique, selon le modèle de la Figure 17. Un changement de regard sur la prévention des risques à la conception est nécessaire. Dans ce cadre ne devrait-on pas, comme le suggère Rasmussen (1997), considérer les exigences de santé et sécurité, non comme des contraintes (difficilement intégrables dans la logique fonctionnelle), mais comme des fonctions du système à part entière.



*Figure 17 : Prise en compte des risques en amont de la démarche de conception*

Ce modèle constitue la base de notre réflexion. En ce sens, la partie II consiste en une analyse opérationnelle des trois phases significatives : Conception – Implantation – Exploitation, dans le but d'identifier les dérives initiées à chaque niveau. L'analyse de ces facteurs de dérives nous permettra de redéfinir ce qu'est le processus de conception et d'identifier des leviers permettant d'améliorer la prise en compte de la sécurité dans les démarches de conception.

---

PARTIE II :  
ANALYSE DE RISQUES EN EXPLOITATION

---

## INTRODUCTION

Nous avons montré dans la partie I, les difficultés liées à l'identification puis à la maîtrise des risques dès la phase de conception, ce constat provient notamment du fait même que la définition du concept de risque ne fait pas à ce jour l'unanimité et que les différentes méthodes d'analyse de risques existantes nécessitent un investissement relativement important (coût, temps, disponibilité et engagement des personnes...) pour être réellement efficaces.

Le deuxième point important est que la conception ne doit plus être perçue comme une simple phase se limitant à une recherche de solutions réalisée par les bureaux d'étude, mais bien au contraire comme un processus qui débute dès la recherche des concepts et s'étend jusqu'aux premières utilisations du système.

La deuxième partie (*Analyse de risques en exploitation*) de ce mémoire a pour premier objectif de démontrer par un cas concret cette réalité.

Le but ultime de cette analyse de risques en exploitation consiste :

- d'une part, à mieux cerner les risques dont le concepteur ignore l'existence puisqu'ils surviennent dans des conditions qu'il n'a pas imaginées,
- d'autre part, à trouver des solutions quant à une re-conception plus adaptée intégrant les aspects de la vie opérationnelle ou mieux encore, à trouver des solutions permettant une intégration plus efficace des risques dès la conception.

Nous analysons donc les différentes phases du cycle de vie du système, depuis la conception jusqu'à l'utilisation pour suivre l'évolution de certains facteurs introduits aux phases de conception et d'implantation et pour comprendre leur impact sur l'utilisation du système et notamment sur l'activité des opérateurs, lorsqu'ils sont combinés à des circonstances spécifiques.



## **Chapitre I :**

### **Description de l'activité du partenaire industriel :**

### **la société HEIDELBERG**

---

A travers les analyses menées par les équipes chargées d'intervenir auprès du concepteur, nous cherchons à mettre en évidence les points qui nous semblent essentiels en vue de comprendre les modalités d'intégration des risques dans sa démarche de conception.

Les analyses menées à ce niveau ont fait l'objet d'une double approche :

- une analyse de la *démarche de conception* menée par le CRAN : les données de départ, une recherche de caractérisation de la démarche selon des modèles connus ou non...
- une analyse de *l'activité de conception* menée par le LEI : les modalités d'intégration de la sécurité, les modalités de construction de connaissances et de représentations en relation avec la sécurité et l'ergonomie selon différents métiers et objectifs de conception, le partage de connaissances, les formes d'interactions collectives (coopération, collaboration des acteurs dans la recherche de solutions...).

#### **I. LA CONCEPTION, SOURCE DE MIGRATIONS**

##### **I.1. HEIDELBERG, Leader sur le marché de la rotative**

Concepteur, fabricant et distributeur de rotatives offset, Heidelberg Web Systems SA assure également l'installation et le service après vente de l'ensemble de ses produits. La société fait partie du groupe Heidelberger Druckmaschinen AG, premier fournisseur mondial de matériel pour les industries graphiques, qui emploie 26000 personnes dans le monde et dont le siège social est situé à Heidelberg (Allemagne). Son chiffre d'affaires s'élève à 5,3 milliards d'Euros.

La division *rotatives* emploie 3000 personnes sur 5 sites : Dover (siège de la division Web Systems dans le New Hampshire, USA), Durham (USA), Montataire (France), Boxmeer (Pays-Bas) et Dayton (Ohio, USA). Montataire (1000 personnes) est le site principal. Sa production est à 85% destinée à l'export, principalement pour Europe occidentale et l'Amérique du Nord, avec des développements commerciaux importants en direction de l'Asie, de l'Europe de l'Est (Pologne) et de l'Amérique Latine. Les sites américains et français sont à l'origine de machines différentes, complémentaires dans la gamme et destinées

au marché mondial. Le site hollandais est spécialisé dans le développement de dérouleurs et sécheurs.

## **I.2. Démarche de conception de la société Heidelberg : description succincte**

Selon les travaux de Hasan (2000, 1999) la démarche de conception comporte les caractéristiques explicitées ci-après.

### ***I.2.1. Une démarche qui repose sur deux entités principales***

Ces deux entités principales dont nous décrivons brièvement le rôle, comprennent chacune plusieurs services :

- La Direction Marketing (le concepteur) qui comprend les différents Bureaux d'Etude (BE) relatifs aux développements mécanique et électronique, à l'analyse des dysfonctionnements, au dépôt de brevets et application des normes... Ces BE sont responsables de la conception et de la réalisation des composants propres<sup>1</sup> à Heidelberg.
- La Direction Commerciale qui est chargée de prendre en compte les exigences des clients et de rédiger un cahier des charges correspondant à une nomenclature de ligne spécifique à partir d'une nomenclature standard. Son rôle est donc de constituer une ligne telle que le client la demande, pour cela elle devra apporter des modifications et des adaptations aux éléments standards.

La démarche de conception suit dans les grandes lignes le processus suivant :

Le cycle de vie du produit commence par les spécifications générales qui sont réalisées soit par la Direction Marketing, soit à partir de retours de terrain issus des interventions réalisées au cours de l'analyse d'un problème-client ou lorsque ce dernier exprime une demande spécifique.

La conception préliminaire et détaillée est alors réalisée par les différents BE et en coopération avec le service sécurité. Ce service intervient durant toute la progression du processus de conception.

Les services de la Direction Commerciale ont, quant à eux, pour rôle de définir puis d'intégrer les exigences du client au niveau de la ligne d'imprimerie et de réaliser les tests nécessaires pour vérifier la conformité par rapport au CdC.

---

<sup>1</sup> En effet, comme on l'a précisé précédemment les composants ne sont pas tous fabriqués sur le site de Montataire.

L'évolution de la ligne chez le client est par la suite suivie en vue d'améliorer les performances. D'éventuelles modifications et améliorations peuvent être mises en œuvre pendant la période de garantie ou en phase d'exploitation.

Il a été mis en évidence que lorsqu'il s'agit d'intégrer des nouvelles exigences dans le CdC, l'équipe projet effectue une recherche de solutions en utilisant l'Analyse de la Valeur qui permet de départager les différentes propositions qui sont faites par les projeteurs.

### ***1.2.2. Un standard "virtuel"***

Il semble néanmoins qu'il n'existe pas à proprement parler de modèle de ligne standard. D'ailleurs, un entretien avec un représentant du service après vente, nous a confirmé que les acteurs de la conception ont des difficultés à définir ce qu'est le standard, puisqu'en réalité les spécificités liées aux exigences des clients sont directement introduites dans le CdC. En fait, le standard existe sous forme de plans auxquels sont ajoutées les spécificités.

Cela signifie que les tests en laboratoire ne sont jamais réalisés sur une ligne complète. Seules certaines parties de la ligne sont montées en laboratoire (prototype) pour être testées et ce sont généralement des parties qui relèvent d'innovations techniques par rapport aux anciens modèles.

### ***1.2.3. Un processus de conception en V***

Une analyse fonctionnelle du processus de conception (réalisée avec SADT) a permis de mettre en évidence que les différents bureaux réalisent des tâches qui se chevauchent et impliquent des allers-retours entre eux.

Ce processus s'apparente globalement au modèle en V (Figure 18).

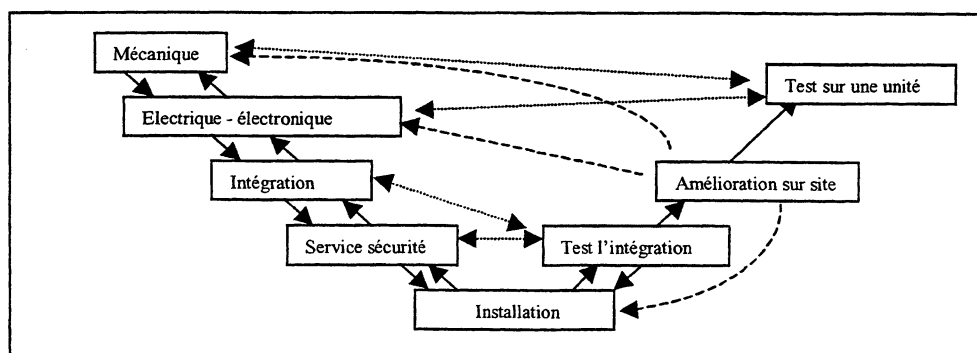


Figure 18: Processus de développement chez Heidelberg selon le modèle en V (Hasan, 2000)

### **I.3. Quelques caractéristiques de l'activité de conception**

Selon les travaux du LEI (De la Garza, 1999 – 2000), l'activité de conception fait l'objet de certaines formes d'interaction collective (comme cela a été évoqué dans la première partie de ce mémoire) qui peuvent être caractérisées par les différents points suivants.

#### ***I.3.1. Des modes de coopération mixtes : formels et implicites***

Les processus collectifs analysés résultent d'un réseau fonctionnel induisant des régulations collectives selon deux axes : la structure organisationnelle (c'est à dire en respectant la "structure hiérarchique") et les retours du terrain, i.e. l'exécution du travail (qui sont plutôt intégrés indépendamment de la "structure hiérarchique"). Par exemple, du fait de la certification ISO 9001, la mise en place d'une coordination préalable et la définition de modes de coopération entre les acteurs sont favorisées. Néanmoins, même si cette certification permet d'avoir un suivi formel de l'organisation et du déroulement du processus, ainsi qu'une capitalisation des connaissances, elle ne couvre pas l'ensemble des formes d'action collectives. En effet, la conception est une activité itérative et dynamique, qui nécessite des ajustements au quotidien pour gérer les différentes contraintes économiques, techniques, temporelles, pour analyser un problème, pour évaluer un choix, une solution, etc. Ainsi, on observe sur le terrain :

- des coordinations contextuelles pour faire face aux aléas et exigences du travail, souvent en relation avec des ajustements temporels et organisationnels,
- des modes de coopération et de collaboration qui se construisent au cours du processus de conception. La coopération caractérise plutôt les acteurs travaillant sur un même objet et ayant un but commun à court ou à moyen terme. La collaboration, quant à elle, renvoie à la création de réseaux pour faire face à un problème particulier, dans lequel les acteurs n'ont pas forcément un but commun. Par exemple, lors des essais de la plieuse, des réseaux spontanés pouvaient se créer réunissant le responsable des essais, le responsable qualité, des techniciens, un ingénieur du BE, une personne de la fabrication, un projeteur. Ce réseau avait pour objet de se concerter et de prendre une décision sur une pièce posant problème pour la modifier ou la refaire (De la Garza et al, 2000).

### **I.3.2. Modalités de confrontation, concertation, négociation**

C'est par l'intermédiaire de revues de conception (modalités formelles) que les acteurs discutent de points particuliers en fonction de l'état d'avancement du projet. Ces revues de conception impliquent la constitution de réseaux formels établis à l'avance selon les besoins, qui ont pour objet de se concerter afin de faire un choix, de résoudre un problème, de trancher sur un aspect technique ou de sécurité particulier. Ces "réunions" contribuent donc à la coordination des acteurs autour du projet.

Dans cette optique, des objets intermédiaires du type plans, calculs, dessins et plus récemment une maquette à l'échelle 1, servent de support à la construction d'un référentiel opératif commun partagé, du moins par les acteurs de la conception présents à ce moment là, permettant des processus de concertation et de négociation nécessaires à la prise de décision quant au choix d'une solution technique ou autre.

Cette concertation reste également très présente au moment des tests sur le prototype à l'échelle 1.

D'autre part, des réunions informelles et des constitutions spontanées de réseaux (près de la machine à café, dans un bureau...) font également partie des modalités de concertation, de type implicite.

La concertation et la coordination sont deux conditions nécessaires à la coopération et à la collaboration des acteurs de la conception.

### **I.4. Modalités d'intégration des risques dans le processus de conception**

Pour savoir si les acteurs de la conception utilisent des méthodes d'analyse de risques, nous avons réalisé un questionnaire que les équipes chargées d'intervenir auprès de la société Heidelberg, pouvaient soumettre aux différentes personnes concernées. Ce questionnaire visait à savoir :

- si des outils d'analyse de risques sont utilisés et lesquels,
- si non, est-ce qu'ils connaissent certains outils de ce genre,
- est-ce qu'ils envisagent d'en utiliser à l'avenir,
- comment perçoivent-ils les obligations réglementaires en matière de sécurité.

Le questionnaire n'a pu être réellement soumis aux différents acteurs néanmoins, à ce stade, les analyses ont révélé qu'aucun outil formel n'est utilisé pour l'intégration des risques. En réalité, il existe une intégration de certains aspects issus du retour d'expérience, mais il s'agit

essentiellement de litiges entre le concepteur et le client, qui constituent donc plutôt des obligations.

Tout au long du projet, c'est le responsable sécurité qui est chargé de l'intégration officielle de la sécurité, mais il n'existe pas à proprement parler de phase particulière pour une étude spécifique d'intégration d'objectifs de sécurité ou d'ergonomie.

D'ailleurs, il semblerait que les risques en tant que tels ne soient pas explicitement considérés. En effet, les spécifications générales du système constituant le CdC, sont surtout exprimées en termes de performances attendues (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) et les risques pour l'opérateur (sécurité) ne sont vus presque exclusivement que sous l'angle de la sécurité réglementaire.

Ainsi deux modalités d'intégration de la sécurité qui s'articulent au cours du processus de conception ont été discernées :

- **des modalités explicites collectives d'intégration de la sécurité** : ce type de modalité est considéré comme constituant des voies directes, en relation avec différents documents internes de référence, des documents provenant de la maison mère, des normes européennes, des directives européennes... Cet ensemble de données constitue une base de connaissances communes favorisant l'existence d'un "référentiel opératif commun" à la plupart des acteurs de la conception. Ces voies directes peuvent de ce fait favoriser une intégration collective de la sécurité.
- **des modalités implicites et individuelles** : ce type de modalités (voies indirectes) s'explique par la diversité des métiers impliqués, les objectifs propres à chaque acteur, l'expérience de chacun, le retour d'expérience formel ou informel, la connaissance du terrain et des situations de travail...

Des critères d'ergonomie ou de sécurité peuvent alors être intégrés ou proposés à n'importe quel moment du processus de conception en relation principalement avec quatre axes : accès machine/cartérisation - emplacement des commandes - flux de circulation - passages papier. Ces axes n'apparaissent pas de façon systématique dans le processus de conception, ni chez les différents acteurs. Il s'agit d'une démarche empirique et en relation avec les initiatives de chacun. Ce type de connaissances n'est pas forcément capitalisé.

Ainsi, les équipes chargées d'analyser le processus de conception ont pu s'apercevoir que la sécurité est inscrite dans une perspective essentiellement constituée de contraintes qui cherche à répondre aux objectifs du cadre législatif et normatif et qui oublie de fait, la mise en adéquation de ce cadre avec le contexte réel d'exploitation.

Les limites du processus de conception résident dans le fait que la sécurité est perçue comme une composante à considérer de façon parallèle aux objectifs liés à la performance technique du système (issus du CdC). En d'autres termes, les modalités d'intégration de la sécurité, d'une façon générale, se réalisent par des voies indirectes, et non à des phases spécifiques du projet et de façon systématique.

### ***La conception : introduction de facteurs de migrations***

La démarche globale étant dépourvue de principes systématiques d'intégration de la sécurité, il arrive que les concepteurs oublient certains principes évidents tels que dans l'exemple qui suit : sur un prototype de plieuse, il a été remarqué par l'organisme de contrôle de la sécurité qu'un bouton de commande a été placé beaucoup trop en hauteur, par oubli. Par la suite, ce bouton a été rabaissé à une hauteur de 1,80 m, ne pouvant être installé plus bas du fait de la présence d'autres éléments techniques qu'il était impossible de déplacer à ce stade de la conception. Par cet exemple, on voit que le concepteur introduit lui-même des facteurs de migration, au sens défini par Rasmussen (1997), qui auront une influence sur l'activité future probable des opérateurs.

La démarche d'intégration de la sécurité par voie directe consiste donc en l'application de principes normatifs (en réponse à une obligation de moyens), consistant principalement à "bloquer" le risque par la mise en place de dispositifs de protection, par l'éloignement de l'opérateur, par l'élimination de certaines tâches par motorisation (on cache le risque, mais on ne l'élimine pas). Relativement peu de tentatives de facilitation de la tâche par l'augmentation des accès par exemple sont effectivement réalisées, car ce type de démarche nécessite une réflexion plus profonde (Didelot et al, 1999 A).

Cette recherche plus approfondie de solutions s'apparente à la Directive "nouvelle approche", qui encourage les concepteurs à répondre à une obligation de résultats concernant le domaine de la santé et de la sécurité (E 09-000, 1993), cet aspect a été évoqué dans la première partie de ce mémoire.

Certaines limites (insuffisances) liées à l'approche utilisée par le concepteur Heidelberg ont d'ores et déjà été mises en évidence, notamment par l'exemple suivant : lors des revues de conception concernant la plieuse, il a été détecté une inaccessibilité de manettes situées au dessus du triangle<sup>2</sup> au niveau du premier pli (en entrée de plieuse). L'opérateur doit néanmoins pouvoir y accéder en cas de problème. Dans la configuration actuelle, le seul accès possible consiste à monter sur une rambarde, en équilibre, ce qui comporte évidemment un risque pour l'opérateur. Actuellement, on ne sait pas si le concepteur a procédé à une modification de cet accès, dans le cas contraire, cet élément constitue lui-aussi un facteur de migration se répercutant sur l'activité future probable des opérateurs.

### **I.5. Synthèse sur la démarche de conception**

Cette analyse montre d'une part que le concepteur n'utilise pas d'outil de sûreté de fonctionnement du type méthodes d'identification de risques (AMDE, APR) ou méthodes d'analyse combinatoire (AdD, Arbre d'événements) qui permettraient de constituer une base de données, d'avoir un suivi des défaillances du système en connaissant l'origine des dysfonctionnements et en évaluant leur impact sur le système socio-technique; alors que le type d'organisation semble en partie le permettre.

D'autre part, la pratique de l'ergonomie est informelle et dans ce cadre, nous nous situons plutôt dans ce que Daniellou (1992) définit comme "l'ergonomie sans ergonomes", c'est à dire réalisée par les acteurs habituels de la conception qui essaient d'intégrer certains principes. Cette approche comporte des biais que nous avons précisés par ailleurs.

En outre, les difficultés des concepteurs sont liées au fait que le CdC ne contient que des spécifications générales du système, essentiellement définies en terme de performances attendues. Ces spécifications nécessitent donc une interprétation de la part des projeteurs pour les transformer en fonctions techniques à satisfaire. Pour cela, ils font appel à l'Analyse Fonctionnelle par le biais de l'Analyse de la Valeur qui est limitative du point de vue de la recherche de solutions techniques, comme nous l'avons évoqué dans la première partie de ce mémoire.

---

<sup>2</sup> Le triangle est constitué de la bande papier qui pénètre dans la plieuse en étant pliée une première fois longitudinalement.



Cet état de faits nous amène à penser que le concepteur suit une logique de conception qui ne permet pas de réflexion construite et ordonnée sur la situation de travail (Février Quesada, 2001). Le système est envisagé en dehors de tout contexte opérationnel. Ainsi, par la vision réductrice qu'ont les concepteurs du système, il est fort probable qu'en fin de compte cette démarche se caractérise par le fait que tous les risques ne sont pas prévus et ne sont pas maîtrisés et que des facteurs de migrations soient introduits.

## **II. L'IMPLANTATION AU CARREFOUR DES MIGRATIONS**

### **II.1. Rappel du contexte**

Comme nous l'avons souligné dans la première partie de ce mémoire, l'implantation du système sur site représente une phase cruciale dans la vie du système. C'est pour cette raison que nous avons voulu suivre une semaine du planning d'implantation. Ces observations ne permettent donc de n'avoir qu'un aperçu de ce qu'est réellement une implantation, néanmoins nous nous sommes efforcés de tirer le maximum d'éléments de cette période. Ces observations nécessiteraient d'être prolongées et comparées à d'autres chantiers du même type, mais cela n'a pu être réalisé dans le cadre de ce projet.

Le but ici est de comprendre comment les acteurs de cette phase parviennent à rendre opérationnel, un système qui n'a été pour le moment considéré qu'en dehors de tout contexte opérationnel. L'étude consiste à montrer que cette phase serait à l'origine de certaines migrations impliquant des risques qui émergent en phase d'exploitation.

Cette phase ayant pour rôle la mise en adéquation de contraintes liées au terrain d'exploitation à celles liées au système technique théorique, il est intéressant de comprendre comment sont ajustés les différents paramètres constitutifs de ces deux pôles.

Ces observations ont été menées au cours de la huitième semaine du projet d'implantation et avec la collaboration de Mme Elodie Dequaire-Falconnet de l'UTC puisque cette équipe a procédé par la suite à une analyse approfondie de l'exploitation de cette ligne. Cela représentait donc pour nous une opportunité.

Cette période d'observation a donc débuté lorsque tous les composants de la ligne étaient livrés, montés et installés dans l'atelier de production. Nous avons donc suivi les **phases « terminales » d'installation** de la ligne, c'est à dire au début de la huitième semaine du projet qui en compte treize (Cf. planning en Annexe 2). Cette période nous intéresse plus particulièrement car elle représente une phase "charnière" du projet dans le sens où les tâches

à accomplir à ce stade correspondent réellement à l'opérationnalisation du système (interfaçages entre sous-systèmes, raccordements divers, mise sous tension des éléments, premiers essais...).

A l'issue de cette semaine, les clauses du contrat stipulaient que les premières impressions doivent être réalisées, même si la ligne n'est pas opérationnelle à 100% (affinage des réglages, opérateurs accompagnés par le démonstrateur). Tout retard dans le projet est à la responsabilité de la société Heidelberg.

Le système implanté est une M600 (Figure 19) qui comporte classiquement les éléments suivants :

- un dérouleur avec débiteur intégré (acheminement automatique des bobines, collage automatique),
- cinq groupes : noir, bleu, rouge, jaune et une couleur spéciale (installée au groupe 1), chaque groupe imprimant est équipé d'un système autoplate (chargement automatique des plaques),
- un sécheur,
- un refroidisseur,
- une plieuse,
- une coupeuse.

Par la suite nous reviendrons plus en détail sur la constitution et le principe de fonctionnement d'une ligne d'imprimerie.

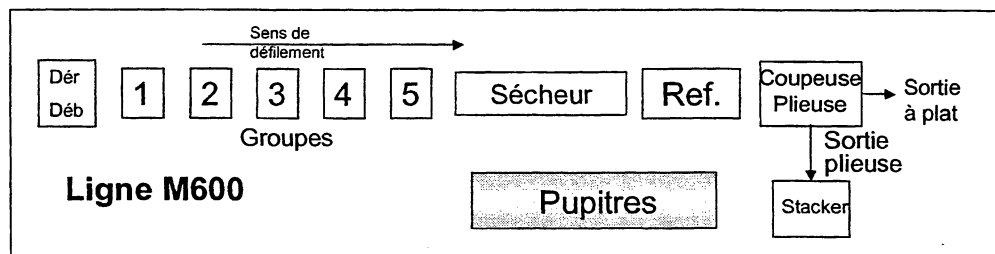


Figure 19 : Configuration de la M600

## II.2. Les acteurs impliqués dans cette phase du projet

Pour comprendre le déroulement d'un projet d'implantation, nous avons tout d'abord recensé les différents acteurs intervenant simultanément ou successivement sur le site, en discernant deux entités principales : l'entité concepteur, l'entité utilisateur.

### **II.2.1. Au niveau du concepteur**

L'équipe de montage est toujours<sup>3</sup> composée de la même façon :

- **Un démonstrateur** chargé de tester le fonctionnement de la ligne, puis d'accompagner les opérateurs dans l'utilisation de la ligne,
- **Un chef monteur** chargé de réaliser les montages mécaniques et techniques de l'installation,
- **Un électricien** chargé de mettre en place les interfaces entre les différents composants et d'assurer le fonctionnement de la partie software.

Ces différents intervenants étaient présents tous les jours sur le site.

En cas de problèmes sur le terrain, ces différents acteurs sont en contact avec **un représentant du SAV** de la société Heidelberg, qui est le chef du projet. Cet acteur est également un interlocuteur privilégié avec la Direction de l'imprimerie cliente. Sa présence sur le terrain est donc occasionnelle, pour faire le point sur l'état d'avancement avec l'équipe de montage.

Par ailleurs, des acteurs appartenant à **des sociétés sous-traitantes** pour l'installation de sous-systèmes non fabriqués par Heidelberg (sècheur, dérouleur, sortie à plat, réceptionneuse), interviennent ponctuellement au cours du projet. Généralement ces sociétés sont étrangères. Elles ne sont pas toutes présentes au même moment sur le site d'implantation. Leur intervention dépend de l'état d'avancement de l'implantation de la rotative et des essais déjà réalisés.

### **II.2.2. Au niveau de l'utilisateur**

Les dernières étapes de la phase d'implantation<sup>4</sup> se déroulent en présence des **équipes de conduite**. Les opérateurs suivent des formations sur site avec les différents intervenants présents, en complément d'une formation "théorique" (sur simulateur) délivrée par le concepteur. Au niveau de la formation sur site, c'est toujours le démonstrateur Heidelberg qui assure la formation sur la totalité de la ligne.

---

<sup>3</sup> Exceptionnellement, dans le cas observé, un ingénieur nouvellement embauché au BE était présent dans le cadre d'une formation pratique. Il était chargé d'étudier les difficultés rencontrées par le monteur pour les rapporter aux différents BE concernés (mais plus particulièrement au niveau de la plieuse).

<sup>4</sup> Lorsque tous les composants sont sur site et que l'interfaçage est en cours.

**Les équipes de maintenance** viennent de façon occasionnelle lorsqu'elles sont disponibles. Il n'y a pas à proprement parler de formation formelle. Les membres de l'équipe de montage font le point sur différents éléments critiques qu'il est nécessaire de prendre en compte pour la bonne marche du système (graissage des moteurs, entretien des filtres...).

De plus, des membres de l'encadrement sont présents, tels que **le chef d'atelier** qui a participé à quelques étapes du montage en collaboration avec l'équipe Heidelberg, **le responsable qualité** qui avait un rôle de traducteur pour la formation des opérateurs sur certains matériels étrangers, **le Directeur** du site qui suit l'avancée des travaux.

Ces acteurs sont variables d'un site à un autre et sont propres à l'organisation interne de l'imprimerie.

D'autre part, **des sociétés externes** (choisies par l'imprimerie cliente) ont participé à l'implantation pour l'installation des équipements annexes : installation électrique, raccordement en eau, etc.

Ces sociétés étaient présentes tous les jours sur le site.

Le Tableau 6 présente un récapitulatif des acteurs présents durant cette semaine et leur rôle au sein du projet.

Acteurs de l'implantation	Acteurs de l'exploitation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>1 monteur</b> : montage mécanique – hardware.</li> <li>• <b>1 électricien</b> : mise en place interfaces – fonctionnement de la partie software.</li> <li>• <b>1 démonstrateur</b> : test du fonctionnement – accompagnement des opérateurs (formation).</li> <li>• <b>1 jeune ingénieur du BE</b> (présence exceptionnelle) : étude des difficultés rencontrées par le monteur.</li> <li>• <b>Le responsable SAV</b> (présence occasionnelle) : interlocuteur privilégié avec la direction de l'IC.</li> <li>• <b>1 intervenant d'une société externe</b> : installation sécheur et dérouleur.</li> <li>• <b>1 intervenant d'une société externe</b> : installation coupeuse.</li> <li>• <b>1 intervenant d'une société externe</b> : installation stacker.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>L'équipe de conduite</b> : observations et réalisation de tâches annexes (enlèvement de papier...).</li> <li>• <b>2 opérateurs de maintenance</b> : observations principalement – pas d'intervention.</li> <li>• <b>Le chef d'atelier de la zone rotatives M600</b> : prend connaissance de l'avancement des travaux.</li> <li>• <b>Le responsable qualité du site</b> : s'intéresse à l'avancement des travaux – participe à la formation sur les composants (essentiellement dérouleur et stacker).</li> <li>• <b>Le directeur du site</b> (présence occasionnelle) : prend connaissance de l'avancement des travaux.</li> <li>• <b>Des intervenants d'une société extérieure</b> : raccordement eau, électricité...(travaux généraux).</li> </ul>

Tableau 6: Récapitulatif des différents intervenants du projet

### II.3. Difficultés et aléas identifiés conduisant à des migrations

Au cours de nos observations, différents aléas et difficultés ont été identifiés. Il semble que certains d'entre eux peuvent constituer des facteurs de migration, au sens défini par Rasmussen (1997), qui peuvent induire une dérive du fonctionnement lorsque le système est soumis à différentes contraintes opérationnelles. En réalité, ces migrations sont largement favorisées par un facteur qui pèse constamment sur l'équipe de montage : **une pression temporelle très élevée** (induite par les clauses du contrat) qui poussent les monteurs à mettre en œuvre tout leur savoir-faire, leur expérience et toutes les solutions qu'ils connaissent pour finir le chantier dans les temps, "coûte que coûte".

A travers ces difficultés, nous avons donc essayé le cas échéant de caractériser ces facteurs de migrations, dans le but de comprendre comment ils peuvent éventuellement émerger à l'exploitation.

#### II.3.1. Difficultés d'organisation entre l'équipe de montage et les différentes sociétés sous-traitantes (pour l'exploitant et pour Heidelberg)

Une première difficulté liée à l'organisation des différentes entités est le fait que les essais d'impression ont été retardés, car la société allemande (sous-traitante pour Heidelberg) qui a fourni le refroidisseur n'a pu intervenir qu'à partir du troisième jour. Or, le refroidisseur est un élément indispensable pour débiter les essais d'impression.

De plus, le refroidisseur n'a pu être testé que lorsque la société s'occupant du raccordement en eau est intervenue (sous-traitant de l'exploitant).

**Ces deux problèmes ont induit une réorganisation par rapport au planning initial** : le monteur, l'électricien et le démonstrateur en ont profité pour faire quelques tests sur d'autres éléments ; mais cela n'a pas entraîné un réel retard par rapport aux clauses du contrat de vente. Le planning d'installation d'une ligne fait preuve d'une certaine souplesse. Cet état de faits prouve avant tout que **les monteurs font face à ce genre d'aléas en adaptant leur démarche d'implantation et notamment en réalisant des tâches en temps masqué** pour compenser les éventuels retards.

Ce genre d'aléas n'a pas constitué en soi un facteur de migration, les monteurs ont réussi à plusieurs reprises à pallier ce type de problèmes, et les impressions ont débuté en fin de semaine, tel que cela était prévu dans le contrat.

### ***II.3.2. Difficultés rencontrées par l'équipe de montage, sources de perturbation de leur activité***

Plusieurs difficultés ont été rencontrées par l'équipe de montage :

- Nous avons constaté que **tous les essais et opérations ont été réalisés par les monteurs en neutralisant certaines sécurités**. Il est en effet difficile de procéder aux différents réglages lorsque certains protecteurs ou sécurités sont activés. Néanmoins, cette façon de procéder peut poser quelques problèmes. A vitesse lente, les risques sont relativement restreints, mais une fois que le système a pu atteindre une vitesse suffisamment grande et le temps aidant, les habitudes et routines s'installent et c'est à ce stade que les accidents sont de plus en plus probables. Cela signifie que les opérateurs d'exploitation (qui correspondent aux utilisateurs les plus classiques) ne sont pas les seuls concernés par les risques inhérents au système, **les démonstrateurs se heurtent eux-aussi à des inadéquations entre la solution de sécurité et la fonction** et dans ce cadre, ils développent des activités spécifiques issues de leur expérience, mais comportant néanmoins un risque.
- Une communication à travers plusieurs langues : du fait de la mondialisation des marchés, la société Heidelberg fait appel à certaines entreprises étrangères. Cet échange "international" (français, allemand, italien...) pourrait a priori induire des problèmes au niveau de la compréhension, donc de l'échange entre les acteurs. En réalité, dans le

chantier observé, tous les acteurs parvenaient globalement à se faire comprendre, ce qui laisse supposer l'existence d'un *langage opératif commun* (de Terssac et al, 1990), basé essentiellement sur les termes techniques et sur l'expérience de côtoyer des collègues étrangers sur la majeure partie des projets d'implantation.

- Nous avons identifié des problèmes de conception et/ou d'adaptation au site spécifique puisque le monteur nous a affirmé que d'une manière générale, il est toujours confronté à des problèmes d'ordre mécanique. Le Tableau 7 récapitule les difficultés rencontrées pour chaque composant, dans le cadre de cette implantation.

**Ces différentes difficultés traduisent en réalité trois types d'écarts :**

- d'une part, entre **le système prescrit** par la conception (plans établis en concertation avec le client-demandeur) et **le système "implantable"** (composants livrés sur le chantier à assembler par les monteurs),
- d'autre part, entre **le système "implantable"** et **le système implanté** (avec toutes les adaptations réalisées par les monteurs en fonction de différents paramètres : pièces livrées non conformes, chemins de câblage à dévier...),
- et enfin, entre **le système implanté** et **le système réel** exploité par les utilisateurs qui, comme on le verra par la suite, dérive par rapport à son état initial de livraison.

Ces trois écarts montrent d'ores et déjà les dérives du système depuis le bureau d'étude jusqu'à l'exploitation. En effet, le rôle des monteurs consiste à mettre en adéquation des contraintes inhérentes au système technique (introduites à la conception), des contraintes liées au terrain et de fortes contraintes temporelles liées au contrat de vente. Cela engendre des adaptations du système "sur le tas". On s'aperçoit de nouveau que le montage d'une ligne dépend de la **capacité adaptative des monteurs**. Ils font appel à leur expérience et leurs connaissances, c'est en quelque sorte du "système D" : en cas de manque de pièces, de pièces non adaptées au plan, de non correspondance entre le plan issu de la conception et la réalité... Le rôle des monteurs est donc déterminant, car les adaptations qu'ils réalisent sont indispensables, **mais rien ne leur garantit que le système modifié répond toujours aux différentes exigences en terme de fiabilité, disponibilité et sécurité** (issues du CdC et des normes), aucune analyse n'est réalisée pour le vérifier. Cela peut constituer des facteurs de *migration par modification "aléatoire" du système* ( $M_1$ , cf. Figure 20).

- Ces observations ont été appuyées par des entretiens avec les différents monteurs qui permettent de généraliser que les monteurs sont bien souvent obligés de modifier le montage de la ligne, cependant ils ne modifient pas les plans en conséquence. Nous nous situons dans le cas de facteurs de *migration induite par une incohérence entre le système tel qu'il est prévu (sur les plans) et le système opérationnel implanté et adapté à son site* (M<sub>2</sub>, cf. Figure 20).

Composants concernés	Difficultés
Tous les composants	Problèmes liés à l'approvisionnement des bonnes pièces par rapport au plan, en raison d'un manque de traçabilité au niveau du concepteur : il n'y a toujours pas de réactualisation des pièces livrées lorsqu'un plan est modifié par le B.E.
Débiteur - Entrée dans les groupes	Installation du système de guide bande et de casse papier réalisée par le monteur, alors qu'elle aurait dû être faite par un intervenant d'une société extérieure. Ceci traduit un manque d'organisation.
Passage Papier	Modification d'un carter : découpage de celui-ci pour pouvoir passer les tuyaux d'encre.
Entrée du premier groupe	Découpage d'un montant métallique latéral pour pouvoir intégrer le boîtier de commande (arrêt d'urgence, ...). Emplacement non prévu du bon côté.
Groupes imprimants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement d'une barre de sécurité en hauteur qui a pour rôle de protéger l'opérateur des chutes (lorsqu'il se trouve sur la plate-forme entre deux groupes),</li> <li>- Modification des plate-formes constituant le plancher au niveau des groupes, en raison de problèmes d'ajustement entre les différentes plaques; nécessiter de couper certaines,</li> <li>- Problèmes de mise en fonctionnement des auto-plates : testés en laboratoires, mais de nombreux problèmes de fiabilité/disponibilité,</li> <li>- Difficulté de monter certains carters dont l'accès à l'emplacement est exigü,</li> <li>- Modification du chemin de câblage : pas de correspondance entre la réalité et le plan,</li> <li>- Changement du tuyau d'alimentation en produits de mouillage : le plan a été modifié par la conception, mais les pièces livrées sont toujours celles d'origine,</li> <li>- Incompatibilité de diamètres de tuyaux à raccorder, car il proviennent de fournisseurs différents.</li> </ul>
Refroidisseur	Pas de problème particulier, mis à part la modification des tuyaux d'alimentation en eau.
Pieuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence du capteur analogique,</li> <li>- Beaucoup de difficultés au niveau du réglage du triangle, en raison de la mise en place d'un nouveau protecteur (empêchant complètement l'introduction des mains),</li> <li>- Déplacement d'un capteur en entrée de coupeuse (sortie à plat), car il touchait la bande.</li> </ul>

Tableau 7 : Récapitulatif des problèmes d'installation de la ligne

### II.3.3. Difficultés induites par un manque de traçabilité des données de la part de Heidelberg

- Il semblerait qu'il y ait eu plusieurs versions de plans. A priori, le concepteur aurait oublié de transmettre les nouveaux plans aux différentes sociétés concernées, alors que l'équipe de montage disposait de la dernière version. De ce fait, différentes modifications ont dû être réalisées a posteriori, sur site (telle que la tuyauterie pour le refroidisseur par



exemple). Cela peut également engendrer des difficultés au niveau de l'activité future probable des mainteneurs qui ne disposent plus de plans conformes au système adapté.

Ce genre d'aléa constitue un facteur de *migration induite par un écart entre le système tel qu'il est prévu par le concepteur et le système opérationnel implanté et adapté par rapport à son site* (M<sub>2</sub>, cf. Figure 20).

- Comme nous l'avons déjà souligné, certaines parties du système ont été adaptées par les monteurs et ne sont donc plus conformes au plan d'origine, introduisant une incohérence qui peut perturber le travail des opérateurs de maintenance lors d'une intervention délicate ou inhabituelle nécessitant de se référer aux plans, c'est un facteur de *migration induite par un écart entre le système tel qu'il est prévu par le concepteur et le système opérationnel implanté et adapté à son site* (M<sub>2</sub>, cf. Figure 20).

#### **II.4. L'implantation : carrefour de migrations et dérives de l'activité des opérateurs (conduite, maintenance)**

- Comme nous l'avons évoqué précédemment tous les essais et tests sont réalisés en neutralisant la plupart des systèmes de sécurité. **Les opérateurs d'exploitation commencent donc leur apprentissage à la conduite sur une ligne sans protection.** Le problème réside dans le fait que rien ne garantit qu'ils ne seront pas tentés de désactiver certaines protections quand elles s'avèreront trop contraignantes au cours de l'activité routinière. Nous considérons que ce type d'apprentissage constitue un facteur de *migration pour l'activité future probable des opérateurs qui ont, dès le départ, une vision biaisée du fonctionnement prévu par le concepteur* (M<sub>3</sub>, cf. Figure 20).
- De plus, le système comporte beaucoup de composants de technologie nouvelle, il est fortement automatisé, de ce fait la formation délivrée par le démonstrateur aux opérateurs est à l'image de cette complexité : beaucoup d'éléments nouveaux sont à assimiler, d'autant plus que les modalités de conduite par rapport aux anciens systèmes ne sont plus les mêmes. Les opérateurs reçoivent une formation dense et rapide qui se déroule en groupe et sur le tas. Il est à noter également que ces derniers disposent d'une expérience variable. Face à ce type de formation hétérogène, dense et succinct, Dequaire-Falconnet (2001) a pu montrer que les opérateurs (lorsqu'ils se retrouvent seuls aux commandes du système neuf implanté) ont tendance à approfondir leur apprentissage selon des modalités

essais-erreurs directement appliquées sur le système en exploitation, induisant bien évidemment des activités sortant du cadre prescrit et impliquant de ce fait des risques pour eux-mêmes et pour le système. On peut donc dans ce cas, supposer que ce type de formation induit à terme *des migrations issues d'un manque de savoir théorique sur le système qui sera complété par un apprentissage sur le tas* (M<sub>4</sub>, cf. Figure 20).

- Concernant la formation des opérateurs sur chacun des composants par les intervenants de sociétés externes à Heidelberg (refroidisseur, dérouleurs, stackers...), il a été constaté des problèmes de communication et de compréhension entre les formateurs étrangers et les opérateurs. Dans ce cas, contrairement à l'équipe de montage, le *langage opératif commun* n'est plus suffisant pour être efficace, car les opérateurs ne sont pas habitués à ce genre de formation mi-anglais/mi-français. Souvent, le responsable Qualité du site servait de traducteur, notamment pour la formation des opérateurs receveurs-bobiniers à l'utilisation du dérouleur. Cette difficulté peut créer *des migrations induites par des difficultés de transmission du savoir (assimilation de données "déformées") qui inciteront de nouveau les opérateurs à le compléter par un apprentissage sur le tas* (M<sub>4</sub>, cf. Figure 20).
- D'autre part, la formation des opérateurs de maintenance est apparue très sommaire et informelle en fin de chantier, ce qui nous amène à nous interroger sur la validité d'une telle formation et sur son impact à moyen terme. Cela introduit également des facteurs de *migration induite par des difficultés liées à la transmission des savoirs* (M<sub>4</sub>, cf. Figure 20).
- Enfin, certaines modifications de composants ou de carters réalisées par les monteurs peuvent éventuellement introduire des facteurs favorisant des dérives qui peuvent se manifester au cours de l'exploitation du système, puisque aucune analyse de risques n'est réalisée, elle reste à l'appréciation du monteur. Par exemple, lorsque le monteur déplace une barre de sécurité située en hauteur qui a pour rôle de protéger l'opérateur des chutes lorsqu'il se trouve sur la plate-forme entre deux groupes (cf. Tableau 7), rien ne garantit que le monteur en la déplaçant, ne détériore pas le niveau de sécurité initialement prévu par le concepteur. Ce sont donc des facteurs de *migration induite par des transformations physiques aléatoires du système qui ne garantissent plus le niveau de sécurité initial des opérateurs* (M<sub>1</sub>, cf., Figure 20).

La Figure 20 schématise les difficultés identifiées aux interfaces des différents groupes d'acteurs intervenant dans le cadre de l'implantation et les migrations engendrées par ces difficultés qui sont récapitulées dans le Tableau 8.

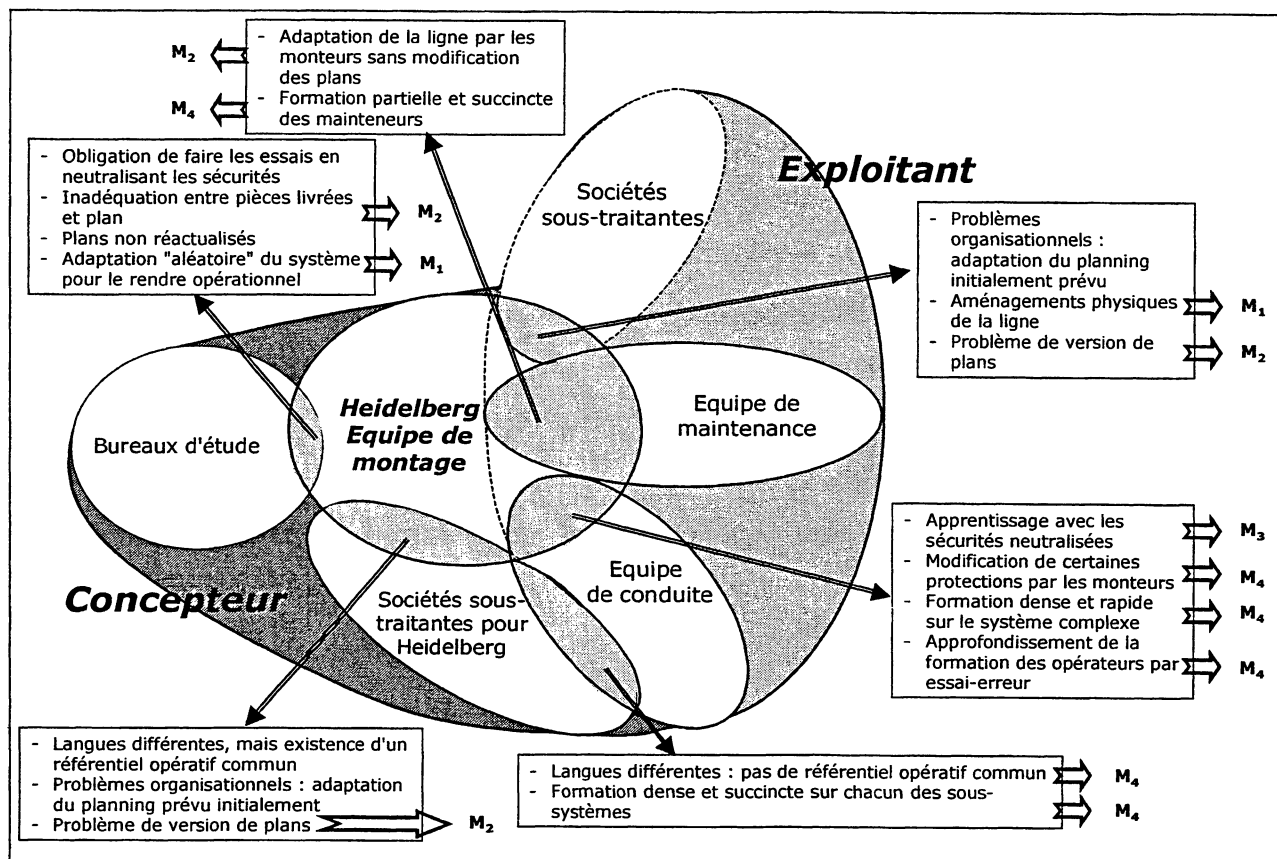


Figure 20 : Identification des difficultés liées aux interactions entre les différents groupes d'acteurs du projet d'implantation d'une ligne et migrations induites (M<sub>i</sub>)

Symboles	Type de migrations
M <sub>1</sub>	Migration induite par des adaptations aléatoires du système
M <sub>2</sub>	Migration induite par une incohérence entre le système prévu et le système opérationnel implanté
M <sub>3</sub>	Migration de l'activité future probable des opérateurs induite par une vision biaisée du système
M <sub>4</sub>	Migration de l'activité future probable des opérateurs induite par une transmission de données "déformées"

Tableau 8 : Récapitulatif des migrations identifiées

## II.5. Implantation : construction d'un cadre de référence

Pour conclure sur ces aspects, et aux vues des difficultés rencontrées par les monteurs qui se retrouvent au centre du processus (cf. Figure 20), nous pouvons dire que toute cette phase d'implantation correspond à une **conception de "détail"** pendant laquelle des données implicites du CdC sont définies dans la phase de réalisation physique de l'installation sur le site (Neboit et al, 2000).

Il est donc important de souligner le rôle essentiel des monteurs qui se situent en quelque sorte à un "carrefour" : d'un côté, ils subissent les inadéquations introduites par le concepteur (telles que celles qui figurent dans le Tableau 7), de l'autre, ils introduisent eux-mêmes des adaptations sans forcément en vérifier la cohérence par rapport à l'utilisation opérationnelle qui sera faite du système. Cela signifie qu'en implantant physiquement le système, ils risquent d'introduire à leur tour des éléments favorisant les migrations du système lorsqu'il sera soumis à des contraintes opérationnelles de différentes natures. On peut également supposer que partant des mêmes données de départ une autre équipe de montage n'aurait peut-être pas implanté la ligne de cette façon, puisqu'une grande part de l'implantation repose sur les initiatives, le savoir-faire et l'expérience des monteurs.

L'implantation semble donc être une phase déterminante pour l'activité d'exploitation. En réalité, nous partons de l'hypothèse que l'implantation peut être une phase d'introduction de facteurs favorisant les dérives ou migrations du fonctionnement du système côtoyant les frontières du risque et se rapprochant de la zone d'activité inacceptable. Quelques éléments issus de nos observations tendent à nous "confirmer" cette hypothèse, néanmoins cela nécessiterait une analyse prolongée de l'activité en exploitation pour être validé. Cette évolution est schématisée par la Figure 21.

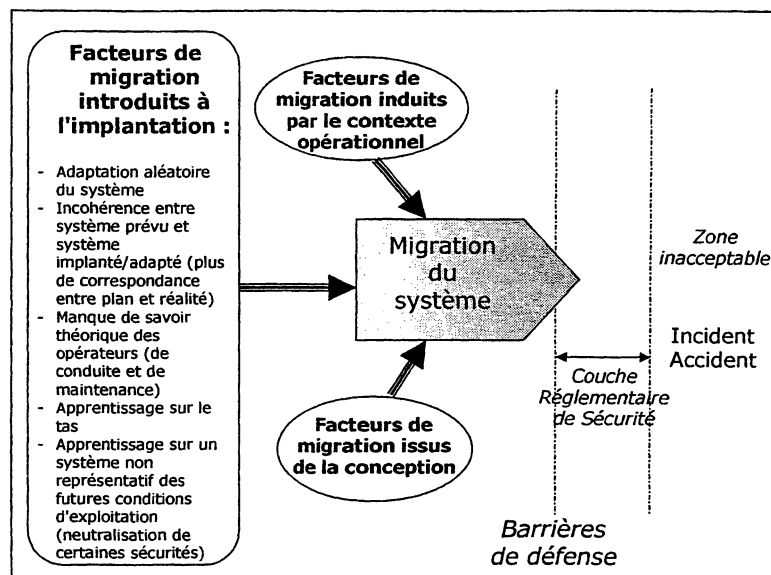


Figure 21 : Identification de quelques facteurs de migration introduits à l'implantation

Nous supposons que ces éléments auront un impact au niveau de l'activité des opérateurs et de son évolution dans le temps. Nous constatons en effet que les données initiales sont biaisées (par rapport au système prévu). Progressivement l'activité construite par les opérateurs pourrait s'écarter du référentiel prescrit par le concepteur, et pourrait générer éventuellement de "nouveaux" risques non couverts.

Cette analyse de la phase d'implantation qui reste relativement succincte, montre néanmoins toute la difficulté des monteurs à adapter le système conçu aux exigences du terrain pour le rendre opérationnel. On peut supposer que ce type d'adaptation soit lié à un modèle de la cognition dynamique (Amalberti, 1996) selon lequel les opérateurs disposent de métaconnaissances leur permettant de savoir quel risque ils sont en mesure de gérer, quelles situations doivent être évitées parce qu'on ne les maîtrise pas suffisamment ; leur permettant d'établir des priorités entre les différentes tâches...

**Le système adapté** (issu de la phase d'implantation) **constituera le cadre de référence opérationnel qui diffère de celui prescrit par le concepteur** et qui conditionnera la vie opérationnelle du système. Cette adaptation semble introduire des déterminants à l'activité future probable des opérateurs, mais l'état actuel de nos travaux ne nous a pas permis "d'évaluer" expérimentalement l'effet de l'introduction de tels éléments sur l'activité.

Ces observations nous confirment toutefois que la phase d'implantation est réellement un prolongement de la phase de conception, car comme l'a démontré Neboit et al (2000) elle s'apparente aux différents critères de l'activité de conception tels que :

- l'absence de chemin prédéterminé vers la solution (il n'existe pas à proprement parler de protocole d'implantation, c'est surtout l'expérience de l'équipe de montage qui prime),
- elle s'insère dans un espace de problèmes larges et fluctuants (cahier des charges parfois mal défini, divers plans et dossiers techniques, variabilité des terrains...),
- la définition du problème s'élabore généralement en même temps que la solution (face à certaines difficultés, les monteurs font appel au "système D" et s'inspirent de solutions qu'ils ont déjà mis en œuvre sur d'autres terrains),
- elle requiert de multiples compétences (diverses compétences constituant l'équipe de montage, mais également au niveau des intervenants externes),
- elle fait preuve d'une temporalité engendrant convergence et irréversibilité (il est souvent impossible de revenir sur certains choix)...

### **III. SYNTHÈSE**

Ce chapitre avait pour objectif de montrer que dès la phase de conception, des facteurs de dérives de fonctionnement du système peuvent être introduits du fait des modalités non systémiques de prise en compte de la sécurité : d'une part des modalités explicites collectives basées essentiellement sur les normes, répondant à une obligation de moyens ; d'autre part des modalités individuelles implicites (principalement localisées sur des problèmes spécifiques) dont on ne mesure pas l'impact sur la globalité du système. De plus, à ce stade le système est considéré en dehors de tout contexte opérationnel.

D'autre part, la phase d'implantation, en procédant à une opérationnalisation du système, introduit quant à elle, un cadre de référence qui diverge du cadre théorique préalablement construit par le concepteur et qui conditionnera la vie opérationnelle du système et donc l'activité future des opérateurs.

Ces modalités d'implantation et de prévention des risques à la conception répondent en grande partie aux caractéristiques du modèle de l'approche séquentielle décrit dans la première partie de ce mémoire. Nous nous attachons dès lors à analyser des processus d'imprimerie et toute l'activité qu'ils génèrent et nous nous centrons plus spécifiquement sur celles qui comportent

des risques non prévus, non couverts et non maîtrisés lors du processus de conception ou induites par l'implantation, afin de mesurer l'impact de telles modalités de prévention.

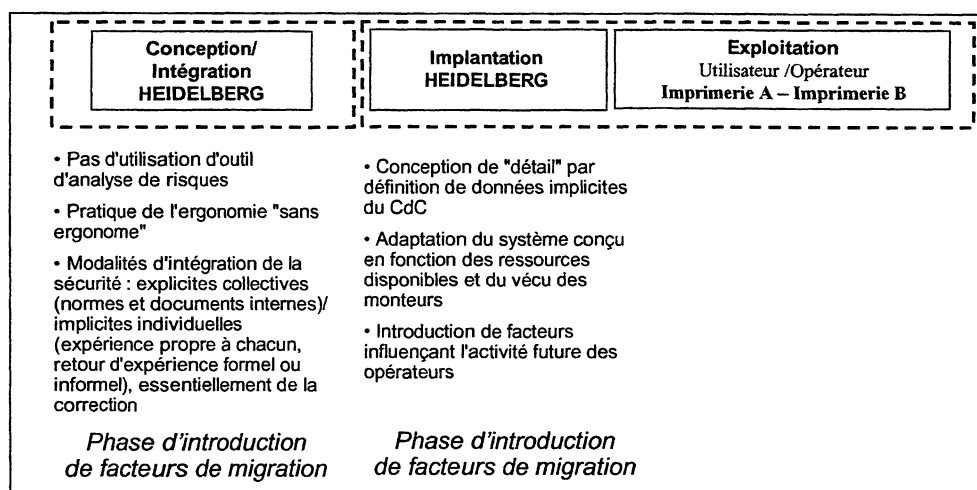


Figure 22 : Synthèse des données obtenues

---

## Chapitre II :

### Analyses opérationnelles menées sur deux terrains industriels

---

Le concepteur Heidelberg nous a donné l'opportunité de mener des interventions auprès de certains de ses clients-utilisateurs. Dans ce cadre, nous présentons tout d'abord quelques aspects essentiels du domaine de l'imprimerie pour une meilleure compréhension de la technologie utilisée (le procédé offset est présenté en Annexes 3) et du contexte dans lequel s'insèrent ces systèmes au niveau de l'évolution des accidents.

#### I. PRESENTATION DU DOMAINE : L'IMPRIMERIE

Pour comprendre la situation actuelle dans le domaine de l'imprimerie, il nous a semblé intéressant de mener une étude qui nous permettrait d'avoir un aperçu sur :

- le nombre d'accidents survenus sur une période de plus de dix ans,
- la nature de ces accidents,
- les zones sensibles ou dangereuses,
- les solutions et moyens de protection en vigueur actuellement.

Nous avons procédé à l'analyse de 213 accidents<sup>1</sup> survenus (de 1983 à 1997) dans les imprimeries françaises. Ceux-ci sont extraits de la banque de données Epicéa de l'INRS (Didelot et al, 1999 B).

*Il est important de préciser que l'analyse de ces accidents n'a pour objectif que de donner une idée sur la manière dont ceux-ci se sont produits et suivant quelle proportion. En effet, la source d'informations dont ils proviennent (la banque de données EPICEA) n'est pas exhaustive, nous ne pourrions donc pas tirer de conclusions "formelles" à partir de ces éléments. De plus, la nomenclature utilisée par la banque de données est parfois très précise, parfois très vague, il a été nécessaire d'en tenir compte pour l'exploitation des résultats.*

---

<sup>1</sup> Accidents déclarés à la Caisse Régionale d'Assurance Maladie, avec un arrêt de travail d'au moins trois jours - Sur ces 213 accidents, nous avons identifié 56 accidents ne concernant pas notre étude puisqu'ils ne se rapportent pas directement à l'activité de l'imprimerie proprement dite (accidents de manutention, incendies,...) ou bien concernent du matériel obsolète (machines des années 20). On compte également parmi ceux-ci 15 accidents mortels indépendants des machines d'imprimerie (tués par balles, chutes d'échelle, malaises cardiaques...).



*Prenons un exemple : la banque de données nous donne la proportion d'accidents survenus lors d'une activité habituelle, mais nous n'avons pas de précision sur le type d'activités que ce terme désigne.*

### **I.1. Evolution du nombre d'accidents**

C'est dans les années 1984 et 1985 que l'on dénombre le plus d'accidents : un quart est survenu en 1984 et un tiers en 1985. On observe ensuite une diminution presque progressive au cours des années suivantes, pour ne dénombrer que 2 à 3 accidents pour la fin des années 90.

Ce phénomène peut s'expliquer :

- d'une part, par le fait que depuis quelques années on assiste à une automatisation croissante des systèmes ayant pour effet la réduction progressive du nombre d'opérateurs,
- et d'autre part, par le fait que, comme nous l'avons déjà souligné, **le concept d'intégration de la sécurité à la conception des machines** est apparu en France au début des années 80. Il a récemment été introduit à l'échelon européen par l'entrée en vigueur en 1993 de la Directive Européenne 89/392/CEE, relative à la conception des machines et d'application obligatoire depuis janvier 1995. Afin d'aider les concepteurs, les fabricants et tout organisme concerné, à interpréter et à satisfaire les exigences essentielles de sécurité, les instances de normalisation (CEN/CENELEC) ont engagé (sous mandat de la CEE et de l'AELE) un vaste programme d'élaboration de normes. L'EN 292 (*Sécurité des machines : Notions fondamentales, principes généraux de conception*) a été la première adoptée en décembre 1991.

L'application d'une prévention intrinsèque consiste à :

- éviter ou réduire autant de phénomènes dangereux que possible en choisissant convenablement certaines caractéristiques de conception,
- limiter l'exposition des personnes aux phénomènes dangereux en réduisant le besoin pour l'opérateur, d'intervenir dans des zones dangereuses.

L'EN 1010 (*"Sécurité des machines – Prescription de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier"*) est la dernière norme en vigueur en matière de prescription de sécurité pour **la conception et la construction de machine d'impression** et de transformation du papier (juillet 97) (Ciccotelli, 1997).

## I.2. Aspects matériels

Les accidents recensés trouvent leur origine au niveau des **organes mécaniques** et plus de la moitié d'entre eux résultent d'un contact de l'opérateur avec une partie travaillante de la machine ou d'autres parties en mouvement qui ont provoqué des écrasements, des coincements...

Par ailleurs, les organes provoquant le plus de dommages sont les **cylindres** : en créant une zone de convergence, ils favorisent l'entraînement et le coincement des membres supérieurs.

Lorsque l'on s'intéresse aux dispositifs ou systèmes de sécurité mis en cause lors des accidents, on s'aperçoit que dans la majorité des cas, il y a une **absence totale de protecteurs** ou dispositifs de sécurité. Il arrive fréquemment également que les protecteurs mobiles soient enlevés lors des manipulations dans le but d'accéder plus facilement aux organes.

Cela correspond à des cas typiques pour lesquels les protections mises en place masquent le danger sans le réduire et de plus, ont tendance à gêner les opérateurs dans leur travail (inadéquation entre la solution de sécurité et la fonction). Ces derniers n'hésitent pas à enlever la protection, surtout dans le cas d'activités "habituelles" et répétitives, afin de gagner du temps.

Nous avons également relevé des situations au cours desquelles des dysfonctionnements des systèmes d'arrêt d'urgence ont eu lieu.

## I.3. Aspects humains

Dans plus de la moitié des cas, l'accident survient lors d'une **activité habituelle**. Cela laisse supposer que l'opérateur, prenant de l'assurance sur la tâche à accomplir, a tendance à la réaliser plus rapidement, à être moins vigilant ou encore à neutraliser les protecteurs.

Parmi ces tâches, on voit que les accidents ont lieu principalement lorsque l'opérateur utilise ou conduit le système : il peut être amené à engager le papier dans la machine manuellement, selon la technicité de celle-ci (ce qui peut être source de risques si les cylindres sont en rotation) ; il devra effectuer le montage des plaques, contrôler la qualité de l'impression, faire éventuellement un débouillage de papier...

Les deux autres activités présentant le plus de risques sont l'entretien (le nettoyage y compris) et les réglages.

Dans une très grande majorité des cas, la lésion se situe à **la main**. En règle générale, l'opérateur se rapproche trop du point de convergence des cylindres en rotation, ce qui provoque un entraînement puis un écrasement du membre.

**Un tiers des accidents enregistrés ont nécessité une hospitalisation.** Si l'on s'intéresse plus en détail à la nature des lésions, on s'aperçoit que dans un tiers des cas, il y a fracture ou fêlure. L'amputation a été pratiquée dans environ 15% des cas.

#### **I.4. Conclusion sur le contexte d'exploitation dans le domaine de l'imprimerie**

Cette analyse montre d'une part que les normes, malgré leur politique d'obligation de moyens, ont contribué à un net recul du nombre d'accidents. Toutefois, comme nous l'avons évoqué dans la première partie de ce mémoire, il nous semble que cette approche est insuffisante puisqu'elle incite à masquer le danger plutôt que de rechercher des solutions permettant de réduire les risques associés. Notre but est de montrer que ce type d'approche laisse certains dangers latents qui peuvent se manifester s'ils sont combinés à différentes circonstances.

D'autre part, cette analyse nous a permis de comprendre à quels types de risques les opérateurs de conduite sont le plus souvent exposés et dans quelles circonstances les accidents surviennent.

On a pu voir que la gravité de ces accidents est assez limitée, cependant il y a une part non négligeable d'amputations et d'hospitalisations, notamment concernant la main. Le point faible des machines semble être principalement les cylindres pour lesquels, on peut remettre en question le système de protection.

C'est à travers une analyse opérationnelle des situations de travail menées dans deux imprimeries que nous nous proposons d'identifier les risques actuels inhérents à l'activité des conducteurs de rotatives offset. Nous présentons à présent les situations d'exploitation que nous avons eu l'opportunité d'analyser.

## II. DESCRIPTION DES SITUATIONS D'EXPLOITATION

### II.1. Présentation générale d'une ligne d'impression

#### II.1.1. Structure générique

Une ligne d'impression type offset est constituée classiquement des éléments suivants : un dérouleur, des groupes imprimants, un sécheur, un refroidisseur, une tour auxiliaire, des coupes, une plieuse et une ligne de réception. Le Tableau 9 présente un récapitulatif des fonctions de chacun de ces sous-systèmes.

Sous-système	Fonction
Dérouleur	Déroule et freine la bobine.
Débiteur	Le compensateur régule les sauts de tension. Le presseur donne du papier <sup>2</sup> .
Groupes imprimants	Déposent sur le papier qui défile, selon le programme et informations venant du pupitre, un film stabilisé d'encre dont la couleur dépend du groupe et un film eau + additifs. Donnent de la vitesse au papier.
Sécheur	Sèche le papier en pulsant de l'air chaud venant d'un système de chauffe extérieur, à travers des buses sur la bande de papier tendue, mais flottante (elle n'est maintenue par aucun élément à l'intérieur du sécheur).
Refroidisseur	Refroidit le papier en faisant passer la bande à travers des cylindres contenant de l'eau à 20°C. Peut réguler la tension du papier.
Tour auxiliaire	Guide la bande (par l'intermédiaire d'une cellule de détection). Stabilise l'encre sur la bande par le dépôt de silicone. La caméra de repérage lit l'alignement des repères sur le bord du cahier.
Coupes	Fendent la bande longitudinalement.
Plieuse	Façonne les cahiers, Synchronise les deux bandes, Coupe longitudinale, Coupe transversale, Pliages.
Réceptionneuse	Empile les cahiers, Cercle les piles constituées.

Tableau 9: Récapitulatif des fonctions de chaque sous-système

La Figure 23 présente une structure simple et basique d'une ligne, à partir de laquelle plusieurs configurations sont envisageables, comme nous le verrons à travers les systèmes étudiés.

<sup>2</sup> Donner du papier : presser le papier, étaler le papier par l'intermédiaire d'un rouleau (donne du mou).

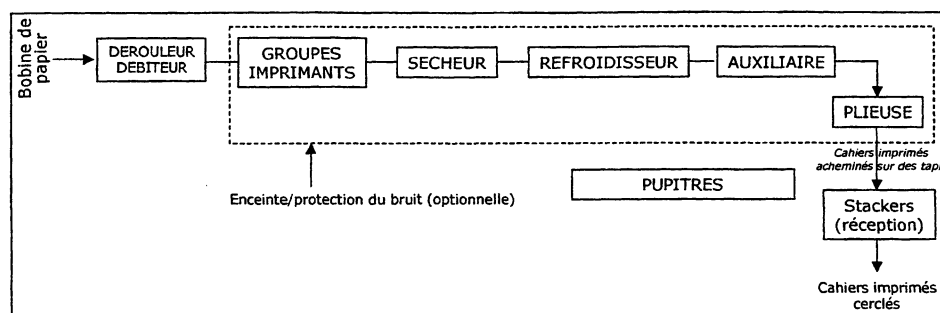


Figure 23: Présentation générique d'une ligne d'impression offset

### II.1.2. Processus mis en œuvre

Nous décrivons succinctement le processus par lequel les cahiers sont imprimés.

Les bobines de papier sont acheminées automatiquement (selon les cas) jusqu'au dérouleur, après avoir été préparées par le bobinier. Le papier est déroulé avec une certaine tension contrôlée et régulée en passant à travers les rouleaux compensateurs et presseurs du débiteur (qui est lui-même intégré dans le dérouleur).

La bande passe ensuite dans les différents groupes imprimants qui vont déposer l'encre sur le papier, selon le programme et les informations venant des pupitres de commandes.

La bande humide passe à travers le sécheur qui possède de nombreuses buses pulsant de l'air chaud à différentes températures. Il n'y a pas de contact physique entre le sécheur et la bande : elle est tendue mais flottante à l'intérieur de celui-ci.

La bande séchée sera refroidie par le refroidisseur constitué de plusieurs cylindres contenant de l'eau à 20°C. Elle passera ensuite dans la tour auxiliaire dont le rôle est de guider la bande, de stabiliser l'encre par le dépôt d'un film de silicone et de contrôler l'alignement de la bande.

La bande stabilisée est fendue longitudinalement en passant à travers les coupes. Le façonnage des cahiers est effectué par la plieuse dans laquelle différents découpages et pliages ont lieu. Les cahiers sont acheminés par un tapis jusqu'à la réceptionneuse (stackers), où ils seront cerclés.

Les différentes phases décrites sont gérées et conduites par les opérateurs, notamment par l'intermédiaire de plusieurs pupitres de contrôle/commande.

### **II.1.3. Identification des phases nécessaires au fonctionnement de la ligne**

Trois phases principales peuvent être dégagées concernant le processus d'impression offset :

- la préparation qui est une phase où chacun prend connaissance de l'ouvrage à réaliser et des différentes tâches qui lui sont attribuées,
- le calage qui consiste à préparer la ligne pour qu'elle soit en état de produire dans les tolérances exigées : enregistrement des préréglages des composants dans le pupitre, mise en place des équipements (plaques, blanchets...), nettoyage, engagement de la bande, démarrage de la ligne... Cette phase se prolonge jusqu'à la mise aux bonnes qui correspond au moment où les différents critères sont dans les tolérances (repérage, synchronisation, couleurs...) et qui aboutit à la signature du bon à tirer,
- le roulage qui est la phase pendant laquelle les cahiers sont produits et où les opérateurs effectuent des contrôles de la qualité.

Ces trois phases existent quel que soit le type de système.

## **II.2. Description comparative des deux imprimeries analysées**

Nous avons eu l'opportunité de mener des analyses auprès de deux imprimeries que nous décrivons succinctement.

Les systèmes étudiés reposent sur le même type de technologie de base, mais ne sont pas configurés et implantés de la même façon, puisque cela relève d'un choix de la part du client, en fonction des ateliers et de l'espace dont il dispose.

### **II.2.1. Imprimerie (A) et spécificités du système étudié**

#### *a) Situation de l'imprimerie (A)*

Cette entreprise compte environ 280 salariés. Elle possède 7 lignes de production dont 5 rotatives Heidelberg. La production journalière équivaut à 300 tonnes de papier, elle est essentiellement constituée de magazines (tels que Paris Match, l'Express, France Dimanche, France Football...) qui sont des ouvrages de dernière heure<sup>3</sup>. Ils produisent également des catalogues et des prospectus publicitaires.

---

<sup>3</sup> Les ouvrages doivent être mis en vente un à deux jours après la demande du client, ce qui implique de fortes contraintes temporelles.

L'entreprise se trouvait dans un contexte particulier puisqu'elle venait d'être rachetée (en février 99) par un groupe. Cette situation a impliqué un double changement :

- d'une part, dans le cadre d'une homogénéisation des méthodes de travail, le groupe a décidé de mettre en place de nouvelles procédures,
- d'autre part, cela a nécessité un nouvel encadrement issu des autres sites de production.

Cette situation a induit une plus grande tension sur les opérateurs (qui ont tendance à se sentir surveillés) et crée, par moments, des situations qui ont été ressenties comme conflictuelles lors de notre présence.

Au total, nous avons réalisé sur ce site, vingt-quatre journées d'observation non continues, dont deux nuits.

b) *Système étudié : rotative M3000*

C'est un système comportant deux lignes superposées et totalement dépendantes l'une de l'autre (type **M3000**<sup>4</sup>), permettant un haut débit de production. Le choix d'un tel type de machine a été guidé par le fait qu'elle permet un gain de place important (en effet, la configuration juxtaposée<sup>5</sup> est une alternative) (Figure 24).

Cependant, cette disposition implique certaines contraintes, notamment en ce qui concerne l'aménagement de l'espace : l'implantation de cette ligne a nécessité la mise en place de nombreux paliers et escaliers. Nous verrons ultérieurement que cette disposition a des incidences importantes sur les conditions de travail en terme de flux de circulation des opérateurs et de postures.

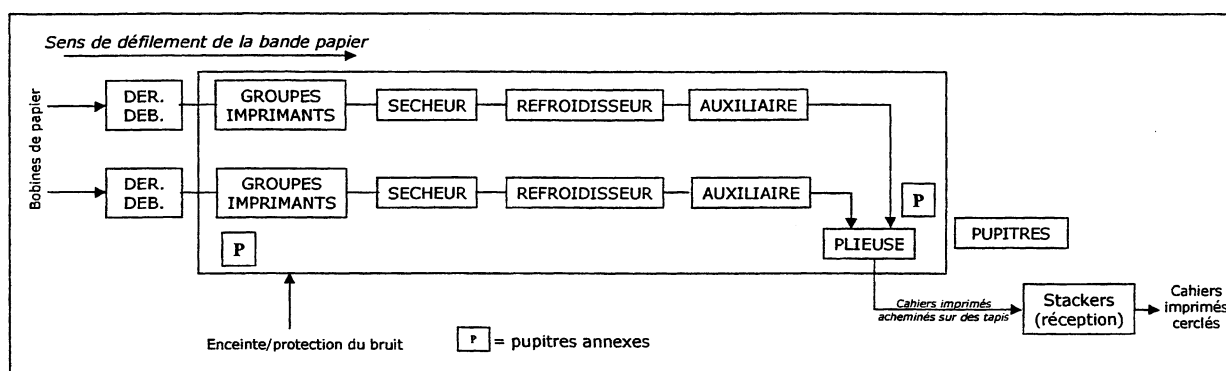


Figure 24 : M3000

<sup>4</sup> Nomenclature propre à la société Heidelberg.

<sup>5</sup> Les deux lignes sont placées côte à côte, augmentant la surface au sol.

La M3000 peut produire des cahiers différents en nombre de pages et en format, en changeant la taille de la laize (largeur de la bobine).

### **II.2.2. Imprimerie (B) et spécificités des lignes étudiées**

#### *a) Situation de l'imprimerie (B)*

Cette imprimerie appartient également à un groupe, comprenant quatre sites de production. L'effectif est de 180 personnes. L'entreprise possède six rotatives dont : trois rotatives (nouvelle génération) avec sécheur et trois rotatives sans sécheur.

L'entreprise est certifiée ISO 9002. Elle produit essentiellement des publicités, des documents officiels (étatiques), des revues... Elle ne produit pas d'ouvrage de dernière heure, cependant le planning est serré, car les délais sont fermes. Cela signifie que par rapport à l'imprimerie (A) qui subit de fortes contraintes induites par les délais très courts (entre la commande et la production à fournir) impliquant des rythmes de travail très irréguliers, l'imprimerie (B) se situe plutôt dans un contexte dans lequel le rythme de travail est relativement constant. En effet, les planning peuvent être aménagés, car les commandes ont des délais relativement longs.

Nous avons réalisé huit interventions journalières non continues sur ce site.

De façon générale, nos interventions se sont déroulées dans un contexte où les informations et les documents n'étaient pas toujours disponibles.

#### *b) Systèmes étudiés : rotatives M601 et M602*

Nous avons eu l'opportunité d'observer deux lignes de même type (M600), mais de génération différente, dans le but d'étudier les variations liées à chacun des systèmes puisqu'ils n'ont pas la même cadence de production. La Figure 25 montre l'implantation qui est pratiquement identique pour les deux lignes.



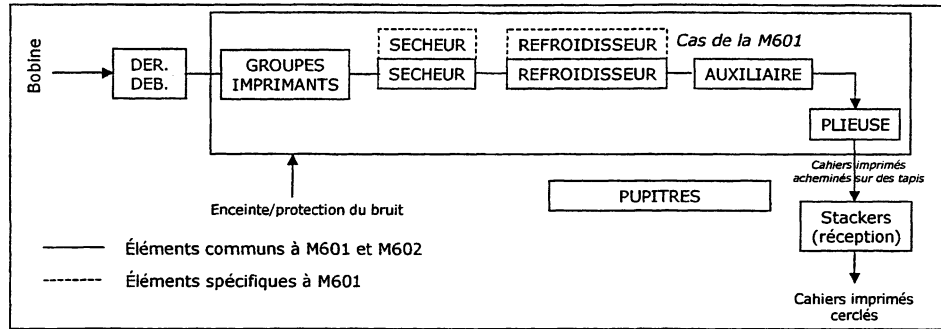


Figure 25 : M600 implantation

Les deux lignes (que nous appelons M601 et M602) comportent néanmoins des différences technologiques significatives (détaillées dans les Figure 26 et Figure 27) notamment au niveau des groupes imprimants.

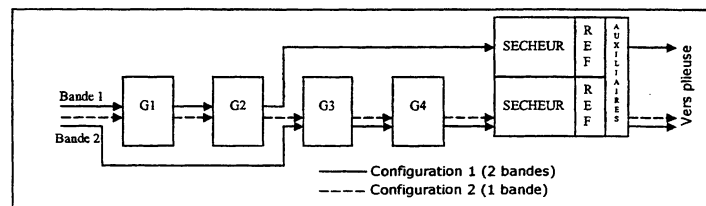


Figure 26 : M601

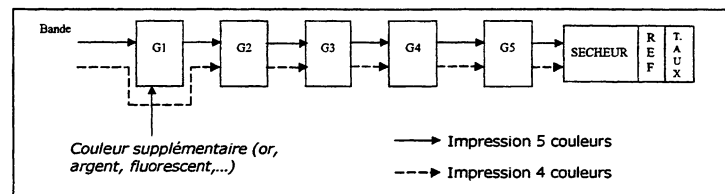


Figure 27 : M602

La M601 peut soit réaliser des ouvrages en quatre couleurs, mais avec une seule bande, soit réaliser des ouvrages en deux couleurs, mais avec deux bandes.

La M602 ne fonctionne qu'avec une bande, mais la présence du cinquième groupe permet d'introduire une couleur supplémentaire.

### II.3. Comparaison des trois lignes étudiées

Le Tableau 10 présente un récapitulatif des caractéristiques des lignes étudiées.

	<b>M3000</b>	<b>M601</b>	<b>M602</b>
Age	Achetée neuve en 1998.	Achetée d'occasion par l'intermédiaire de Heidelberg en 1993 (elle a subi de nombreux changements).	Achetée neuve en 1997.
Protection anti-bruit	Système enfermé dans une enceinte anti-bruit.	Systèmes enfermés dans une enceinte anti-bruit.	
Configuration	-2 lignes superposées, totalement dépendantes. - 2 dérouleurs, 8 groupes, 2 sècheurs, 2 refroidisseurs, 1 plieuse, 1 coupeuse.	- 1 ligne ou 2 lignes : groupes disposés en ligne - sècheurs et refroidisseurs superposés. - 2 dérouleurs, 4 groupes, 2 sècheurs, 2 refroidisseurs, 1 plieuse, une ligne de massicots en sortie (ligne de finition). - Possibilité de fonctionner en 2 bandes/2 couleurs ou 1 bande 4 couleurs.	- 1 ligne. - 1 dérouleur, 5 groupes (1 couleur spéciale), 1 sécheur, 1 refroidisseur, 1 plieuse, 1 coupeuse (module 4x4 pages). - Possibilité de fonctionner en 1 bande 4 couleurs ou 1 bande 5 couleurs.
Plieuse	Equipée de têtes de colle.	Equipée de têtes de colle.	Possibilité de fendage 1/3 - 2/3 et de travailler avec deux bandes (dans la plieuse uniquement).
Option	Web Catcher (permet de couper puis d'enrouler la bande par détection automatique de défauts).	Pas de web catcher (mais système équipé de scies).	
Cahiers	Cahiers collés (ou non), non finis	Cahiers collés, rognés, finis.	Cahiers non collés - non finis.
produits	- Revues de dernière heure (80%). - Divers (20%).	Pas de produit de Dernière Heure. Produits moins bien finis que sur M602. Formats variés qui posent des problèmes en ligne de finition.	Pas de Dernière Heure. Produits hors standard.
Equipes	6 opérateurs (1 premier, 2 seconds, 1 bobinier, 2 receveurs).	5 opérateurs (1 premier, 1 second, 1 bobinier, 1 receveur, 1 assistant au receveur en raison de la ligne de finition).	4 opérateurs (1 premier, 1 second, 1 bobinier, 1 receveur).

Tableau 10: Spécificités des lignes étudiées

Ce tableau montre notamment la diversité des systèmes étudiés, du type de production et des contraintes spécifiques.

Les analyses de risques menées sur ces trois systèmes ont été réalisées par la mise en œuvre d'une approche appelée MAFERGO dont nous détaillons le principe et les étapes.

## III. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE UTILISEE : MAFERGO

### III.1. Principe et intérêts de la méthodologie

La méthodologie MAFERGO (Méthodologie d'Analyse de Fiabilité et d'ERGonomie Opérationnelle) (Guillermain et al, 1990 ; Fadier et al, 1996) a déjà été éprouvée au cours de nombreuses analyses (Neboit et al, 1993 ; Fadier, 1998 A).

Cette méthodologie présente l'avantage de permettre l'étude et l'analyse de la fiabilité opérationnelle afin de proposer les adaptations nécessaires pour re-concevoir efficacement le système (Fadier et al, 2000). Par rapport aux méthodologies classiques qui partent d'une analyse fonctionnelle vers une analyse dysfonctionnelle (Villemeur, 1988 ; Favaro et al, 1990 ; Leroy et al, 1992), sa principale particularité est le fait qu'elle combine à chaque étape

les aspects de l'ergonomie et ceux de la fiabilité technique. Ces aspects étaient plutôt envisagés de façon isolée voire contradictoire, dans les approches classiques d'analyse de risques. En effet, ce n'est qu'à partir des années 1990 que des approches mixtes du type socio-technique ont été développées (Groupe MADS, 1994 ; Mazeau et al, 1995 ; Maline, 1994). La méthodologie tente également d'intégrer une vision plus large de la phase de conception en prenant en compte les différents aspects générés par le cycle : Conception – Implantation – Exploitation.

La méthodologie montre, entre autres, en quoi certaines activités à risques sont indispensables pour assurer une continuité du fonctionnement du système technique au cours de l'exploitation en fonctionnement habituel, au cours de l'exploitation en fonctionnement dégradé et lors d'une séquence incidentelle.

La méthodologie tente donc, par une approche descendante des problèmes, de localiser, puis d'analyser de façon de plus en plus précise les dysfonctionnements, en combinant les approches ergonomique et fiabiliste.

Dans ce cadre, nous chercherons à identifier plus spécifiquement l'activité induite par des dérives ou migrations du système vers des "zones" dans lesquelles les risques ne sont pas connus par le concepteur et par conséquent "non maîtrisés". Nous verrons par ailleurs, en quoi certains éléments introduits lors des phases de conception et d'implantation sont en inadéquation avec l'activité réelle des opérateurs et tendent de ce fait à accentuer le niveau de risque inhérent à l'activité.

Nous définirons le concept de ces activités pour qu'elles soient identifiables et généralisables quelque soient le contexte et le domaine concerné.

### **III.2. Les étapes de MAFERGO**

L'objectif opérationnel initial de cette méthodologie est d'améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes socio-techniques en cherchant à réduire la probabilité d'apparition des dysfonctionnements des systèmes techniques et/ou du couplage homme/système.

Cette méthodologie est composée de cinq étapes.

### ***III.2.1. Analyse structuro-fonctionnelle***

Cette première étape a pour objectif de décrire le fonctionnement normal (de principe), voire habituel (issu de l'implantation) du système analysé et de situer la place des différents éléments par rapport à la mission globale. Dans cette étape, l'analyse fonctionnelle permet de décrire le système (frontière et nature des échanges, les éléments, leurs fonctions et interactions, les flux des entrées et des sorties) et le processus de fabrication (variables et leurs interactions). L'analyse ergonomique (analyses documentaires, interviews, observations systématiques) permet de décrire les tâches prescrites.

### ***III.2.2. Analyse opérationnelle***

Outre l'analyse du fonctionnement réel du système (analyse ergonomique de l'activité, analyse des différentes configurations du système...), cette étape permet de donner un éclairage sur le niveau de disponibilité du système. Aussi, elle permet par l'analyse ergonomique de décrire les activités spatio-temporelles des opérateurs, et d'évaluer leur taux d'occupation ainsi que les problèmes de planification temporelle (temps partagé) liés à la disponibilité du système technique.

Ces deux premières étapes sont très importantes, car elles vont permettre de confronter le fonctionnement de principe de l'installation, c'est à dire le fonctionnement tel qu'il est prévu par le concepteur, au fonctionnement réel de l'installation. Cette confrontation permet d'identifier les aléas et incidents liés à l'exploitation de l'installation dans les conditions d'exploitation qui sont rarement identiques à celles prévues au départ. Ainsi, ces deux étapes sont très liées et il n'est pas toujours possible d'établir des frontières claires, en particulier pour l'analyse ergonomique du travail.

Ces deux étapes vont finalement permettre d'identifier le cadre de référence réel, au moins pour les opérateurs pilotant le système. Elles conditionnent donc la suite de l'analyse.

### ***III.2.3. Identification des dysfonctionnements***

Cette étape permet, par exemple, par l'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDE), de dresser une liste hiérarchisée des dysfonctionnements techniques dont l'impact sur les activités des opérateurs sera mis en évidence par l'analyse ergonomique des activités en général et celle centrée sur la récupération en particulier.

#### **III.2.4. Analyse causale des dysfonctionnements**

Cette étape a pour but la mise en graphe causale de scénarios de dysfonctionnements en intégrant, grâce à l'analyse ergonomique conjointe, l'ensemble des événements techniques, humains et organisationnels. La simulation in situ de certains dysfonctionnements permet (dans certains cas) d'approfondir l'analyse des activités de récupération mises en jeu.

Ainsi, on pourra mettre en évidence les activités de récupération des opérateurs qui permettent de limiter les conséquences d'une séquence incidentelle. On peut citer l'exemple de Neboit et al (1993) qui, en appliquant la méthodologie sur une cellule robotisée, ont réussi à mettre en évidence l'importance des interventions humaines, en montrant qu'environ 80% des configurations du fonctionnement de la cellule nécessitait une intervention humaine en cours de cycle.

#### **III.2.5. Améliorations**

La finalité de cette méthodologie est de pouvoir proposer des améliorations et de les valider. Pour cela, on établit la liste des modifications proposées, aussi bien au plan technique, qu'au plan ergonomique et organisationnel. Ces différentes propositions font l'objet de « simulations prédictives » permettant de les décrire et d'en évaluer l'impact selon les différentes dimensions : efficacité, sécurité, conditions de travail, etc. (Fadier et al., 1996).

Cette méthode constituée de 5 étapes permet de dégager 3 grands axes.

Dans un premier temps, elle permet de comprendre le fonctionnement nominal du système et de définir les conditions limites d'exploitation (c'est à dire le cadre de référence), avec les étapes 1 et 2. Les deux étapes suivantes sont focalisées sur les dysfonctionnements : identification, analyse, scénarios. C'est une analyse orientée.

Finalement, le troisième axe apporte des pistes de solutions pour l'amélioration du système par rapport aux problèmes détectés lors des phases précédentes.

Comme le montre la Figure 28, cette démarche peut être adaptée en fonction des données disponibles et de l'objectif visé : il est possible de ne pas s'attarder sur certaines étapes pour en développer davantage certaines.

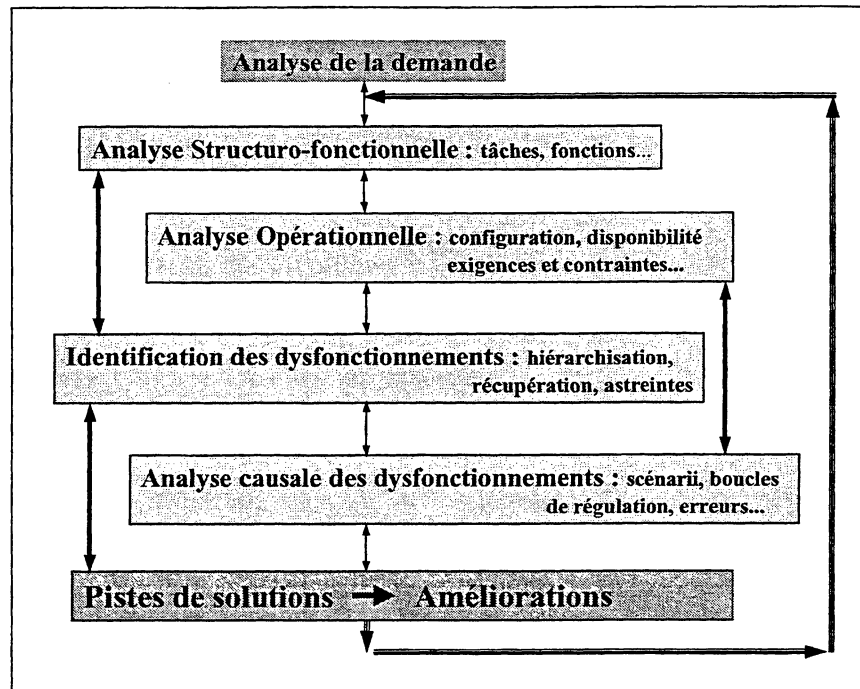


Figure 28 : Les étapes de MAFERGO (Fadier, 1998 A)

Chaque étape fait appel à des outils spécifiques dont certains sont cités à titre d'exemple dans le Tableau 11.

ETAPE	DOMAINE	OBJECTIFS	EXEMPLES D'OUTILS
ANALYSE STRUCTURO-FONCTIONNELLE Fonctions, tâches	Fiabilité	Analyse structuro-fonctionnelle du système (missions, fonctions, variables, interactions).	Diagramme – bloc Graphe de fluence
	Ergonomie	Tâches prescrites. Place de l'Op. dans le système.	Analyse sur documents et interviews
ANALYSE OPERATIONNELLE Configuration, disponibilité, exigences	Fiabilité	Décrire les modes d'exploitation et de fonctionnement du système. Niveau de disponibilité.	Analyse par arbres d'événements (AAE), Graphes de Markov
	Ergonomie	Planification spatio-temporelle des tâches. Exigence des tâches, contraintes d'environnements.	Graphe d'ordonnancement Analyse de l'activité de travail, Observations (kronos), Mesures
IDENTIFICATION DES DYSFONCTIONNEMENTS	Fiabilité	Identification des classes de conséquences d'événements initiateurs. Liste hiérarchisée des modes de défaillance.	Analyse par arbres d'événements (AAE), AMDEC
	Ergonomie	Conséquences des dysfonctionnements sur l'activité (astreintes, régulations, interventions humaines en mode dégradé...).	Analyse des dysfonctionnements du système homme-tâche Observation des activités de récupération
ANALYSE CAUSALE DES DYSFONCTIONNEMENTS	Fiabilité	Degré de fragilité du système. Scénarios générateurs d'Evénements Non Souhaités.	Analyse par Arbre de Défaillances (AdD)
	Ergonomie	Analyse des scénarios générateurs de contraintes. Analyse psycho-ergonomique des erreurs.	Expérimentation Simulation Verbalisation
AMELIORATIONS	Fiabilité	Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité	Analyse de sensibilité (simulation d'hypothèses)
	Ergonomie	Amélioration du couplage homme-tâche (situations, compétences, interfaces).	Analyse de sensibilité (simulation d'hypothèses)

Tableau 11 : MAFERGO : étapes, objectifs, outils mis en oeuvre (Fadier et al, 1996)

Dans le cadre de notre recherche, le but premier de l'analyse n'était pas de donner des voies d'améliorations, mais plutôt de mettre en évidence que certaines activités mises en œuvre par les opérateurs peuvent selon le contexte, s'avérer dangereuses et que ces activités restent non couvertes à la conception, car elles ne sont pas identifiées en tant que telles. Nous rechercherons donc les origines de telles activités.

### III.3. Modalités de l'analyse par MAFERGO

La mise en œuvre de la méthodologie nécessite l'intervention conjointe d'un fiabiliste et d'un ergonome de façon à corréliser les données de nature différente et de les intégrer à une démarche globale. Dans le cadre de cette recherche, l'application a été réalisée :

- en partenariat avec une étudiante en DESS d'ergonomie de l'Université Paris V (L.E.I.), sous la direction de Mme Cecilia De la Garza, Maître de conférence au L.E.I., concernant l'imprimerie (A),
- et uniquement en partenariat avec Mme Cecilia De la Garza, en ce qui concerne l'imprimerie (B).

Une analyse approfondie a essentiellement été menée auprès de l'entreprise (A) qui nous a permis l'accès à certaines données. L'analyse menée dans l'imprimerie (B) a principalement eu pour fonction de confirmer et de valider les différents résultats issus de la première analyse. En réalité, l'accès aux données de l'imprimerie (B) s'est avéré plus restreint que pour l'imprimerie (A).

Nous exposons donc les résultats les plus significatifs des deux analyses. Ces résultats ont fait l'objet de rapports de synthèse (Didelot et al, 1999 B - 2000).

## IV. MISE EN ŒUVRE DE MAFERGO AUPRES DES DEUX IMPRIMERIES

Le chapitre II a soulevé l'idée que le concepteur puis l'intégrateur introduisent aux différents stades de l'existence du système, des éléments favorisant des dérives ou migrations de son fonctionnement. Les analyses menées sur le terrain doivent permettre d'identifier les activités à risques induites, entre autre, par ces migrations.

Dans ce sens, nous avons mis en œuvre la méthodologie MAFERGO auprès des deux imprimeries décrites et concernant les trois rotatives M3000, M601 et M602, dont nous explicitons à présent les résultats en suivant les étapes décrites.

### IV.1. Etape 0 : Analyse de la demande

Comme toute analyse opérationnelle, la mise en œuvre de MAFERGO nécessite au préalable une analyse de la demande réalisée en concertation avec le demandeur. Cette analyse permet d'orienter l'analyse et de fixer certains objectifs.

Dans le cas présent, le cadre d'intervention était particulier étant donné qu'il **n'y avait pas une demande directe de la part des imprimeries** pour une analyse de l'activité. La prise de contact a été établie par l'intermédiaire du responsable du Bureau d'Etude Engineering



(brevets, normes, sécurité) de la société Heidelberg avec certaines imprimeries clientes, choisies selon différents critères.

Nous avons ensuite discuté les modalités d'intervention avec les différents représentants de ces imprimeries qui ont induit quelques difficultés pour l'analyse :

- tout d'abord, une perte de temps conséquente induite par des négociations parfois délicates dues à une certaine crainte des industriels à "dévoiler" leurs modalités d'exploitation des systèmes,
- par ailleurs, les données mises à notre disposition n'étaient pas toujours de même niveau d'une imprimerie à l'autre, entraînant des difficultés pour les comparer. De plus, dans les deux cas, il nous a été refusé de photocopier les documents relatifs aux cadences de production que nous avons été contraints de recopier.

Nous avons donc cherché à optimiser les différents éléments dont nous disposions pour réaliser une analyse la plus fine et la plus explicite possible.

## IV.2. Etape I : Analyse structuro-fonctionnelle

### IV.2.1. Analyse des liens structuro-fonctionnels en fonctionnement normal

Cette étape a pour objet la compréhension du fonctionnement "prévu" par le constructeur, elle se fonde sur les manuels opérateurs fournis par Heidelberg, ainsi que sur la construction de diagrammes blocs (Figure 29) modélisant le fonctionnement normal de la ligne en exploitation. Ces diagrammes ont été validés par les opérateurs ainsi qu'un membre du SAV Heidelberg.

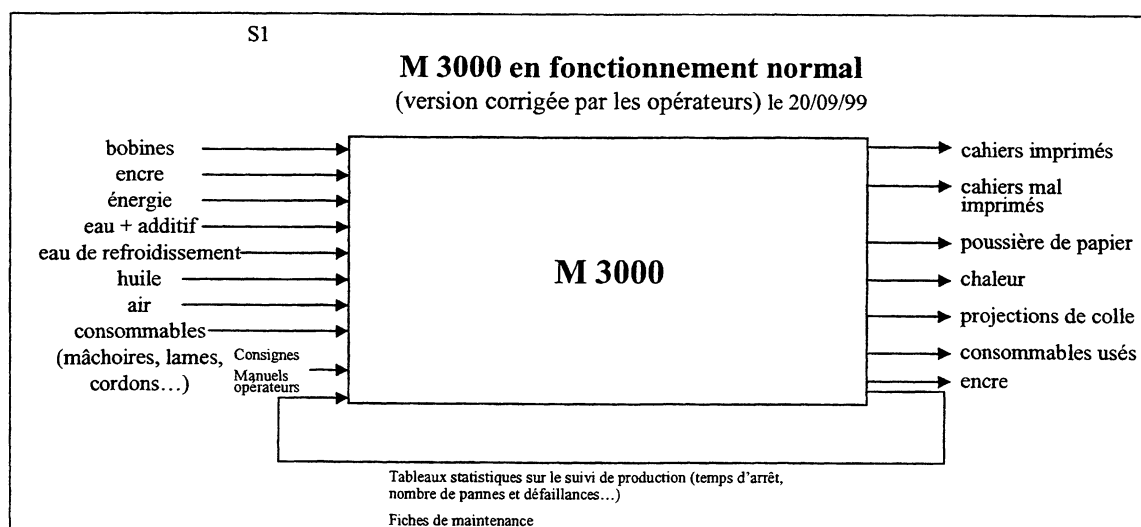


Figure 29 : Système M3000 boîte noire

La description de chaque sous-système nous permet de mieux comprendre les processus mis en jeu, notamment dans les sous-systèmes relativement complexes tels que les groupes imprimants et la plieuse.

Les diagramme-blocs (cf. Annexes 4) permettent notamment de confirmer<sup>6</sup> que la principale caractéristique des systèmes étudiés est la disposition en ligne des différents sous-systèmes qui les composent : on peut considérer que ce sont des systèmes en série (Figure 30). Les sous-systèmes étant tous dépendants les uns des autres, en conséquence tout dysfonctionnement de l'un d'entre eux ne peut être a priori toléré (entraînant l'arrêt de la ligne).

Cela est vrai quelle que soit la configuration : une bande ou deux bandes.

Cette situation procure un certain degré de difficulté au niveau du pilotage, car les opérateurs doivent faire en sorte que l'intégralité de la ligne soit en état d'assurer ses fonctions.

**Le système principal a donc la particularité d'avoir des liaisons structuro-fonctionnelles fortes entre chaque sous-système.**

---

<sup>6</sup> En effet, cela semble évident aux vues des premiers schémas descriptifs des lignes.

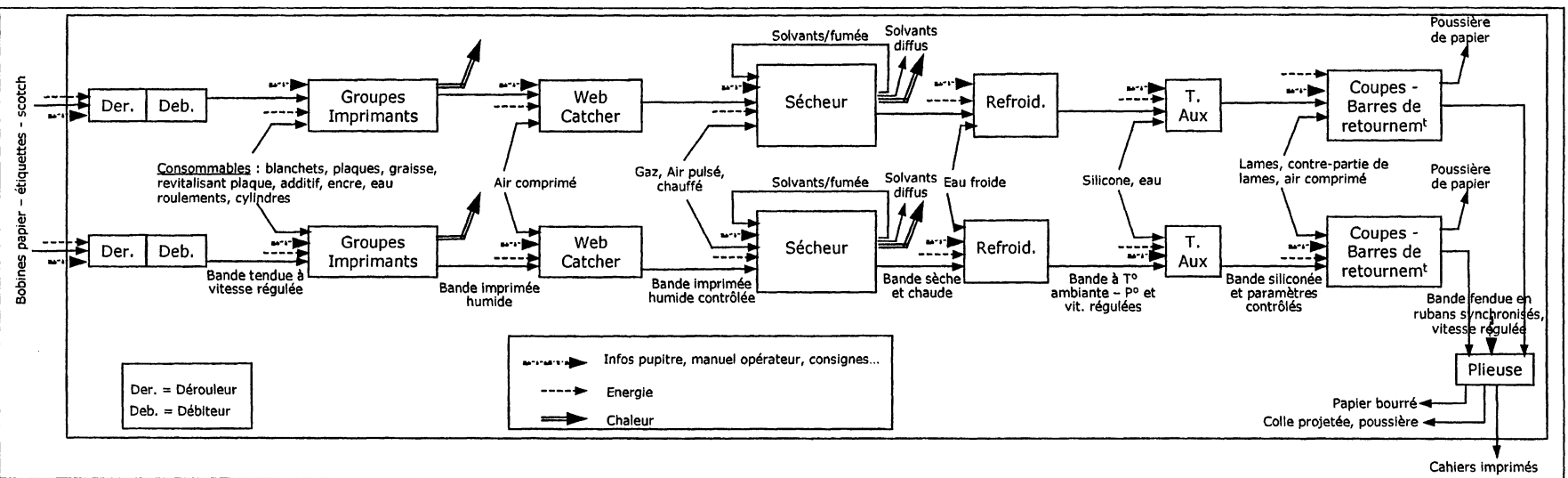


Figure 30 : Principaux sous-systèmes et leurs inter-relations

#### **IV.2.2. Du mode opératoire vers l'organisation du travail**

Lorsque l'on s'intéresse à la tâche des opérateurs, on s'aperçoit qu'il existe deux niveaux de prescriptions :

- Il y a d'une part, les modes opératoires relatifs à chaque composant du système, élaborés par les acteurs impliqués dans le processus de conception des équipements et qui correspondent à des prescriptions explicites,
- Il y a d'autre part, les tâches rédigées par les acteurs de l'encadrement de l'imprimerie qui intègrent une logique sociale. Ces tâches correspondent également à des prescriptions explicites (à un deuxième niveau) qui viennent compléter les premières.

En effet, le concepteur élabore un processus permettant de réaliser des fonctions articulées, à partir duquel il prescrit des procédures précises à respecter sur chacun des sous-systèmes, en fonction d'un état de la ligne à maintenir et d'une compétence basée sur une formation théoriquement suivie par les opérateurs. En revanche, l'utilisateur (représenté par l'encadrement) adapte ces prescriptions en raisonnant en terme d'organisation du travail, et avec des logiques sociales et économiques particulières.

Le problème réside essentiellement dans le fait que lorsque le concepteur prescrit les tâches à accomplir :

- implicitement, il ne considère que certains "types" de situations de travail potentielles,
- il a tendance à rigidifier les procédures, en occultant l'autonomie des opérateurs,
- il raisonne essentiellement en terme d'opérations à effectuer (manuel opérateur), sans préciser qui va effectuer le travail, ni le nombre d'opérateurs requis. En réalité, il décrit un travail réalisé individuellement, or la conduite d'une ligne implique un travail collectif (coopération, concertation...) (Six et al, 1993).

De son côté l'encadrement tente d'ajuster cette vision du travail, mais elle reste à ce stade encore incomplète.

Pour comprendre le décalage entre d'une part, les modes opératoires du concepteur et l'activité réelle et d'autre part, les tâches "actualisées" par l'encadrement et l'activité réelle, nous nous attachons à décrire :

- les dispositions générales de sécurité décrites par le concepteur,
- le rôle de chaque opérateur défini par l'encadrement.

Ces descriptions serviront de base pour l'analyse de l'activité (Leplat, 1997).

#### **IV.2.2.1 Les équipes de conduite**

Il est important de signaler que généralement, l'exploitation des systèmes est constante (c'est à dire le jour et la nuit). Les cycles de travail s'apparentent, de façon générale, à des rotations en 3x8 : il s'agit d'un travail posté semi-continu avec des horaires alternants. Les équipes alternent entre des périodes de travail de jour, de nuit, des week-ends et des semaines de repos, qui sont des rythmes fatigants (Prunier, 1998).

#### **Dispositions générales de sécurité décrites par le concepteur**

Le concepteur a défini un certain nombre de précautions et de mesures de sécurité à suivre pour la conduite de la ligne, dont les principes essentiels figurent dans les manuels opérateurs<sup>7</sup> sous les appellations "*Consignes générales de sécurité*", "*Consignes de mise en marche*", "*Précautions en matière d'entretien électronique*", "*Manipulation, stockage et élimination des matériaux dangereux*"... Nous proposons d'exposer les "*Conditions générales de sécurité*" qui délimitent le cadre d'intervention des opérateurs :

- Ne jamais démonter ou contourner les dispositifs de sécurité implantés sur la rotative.
- En cas de dérangement ou de défaillance d'un dispositif de sécurité, arrêter immédiatement la rotative et s'adresser au Service Après Vente Heidelberg.
- Ne jamais permettre aux personnes non autorisées d'accéder aux organes de commande de la rotative et de s'approcher de la machine pendant le fonctionnement.
- La rotative doit être conduite par du personnel qualifié et formé.
- Ne jamais faire tourner la rotative au-delà de la vitesse maximum spécifiée.
- Ne jamais laisser tourner la rotative sans surveillance.
- Appuyer sur le bouton d'arrêt d'urgence avant toute intervention de maintenance sur la rotative.
- Toute intervention de maintenance (mécanique et électrique) doit être effectuée par du personnel formé et avec des outils appropriés.
- Toujours se mettre à distance de la rotative lorsque le signal sonore de remise en route retentit.
- A proximité de la rotative, ne jamais porter de vêtements flottants, cravates, colliers, bracelets ou n'importe quel objet qui puisse être happé.
- Toujours protéger les cheveux longs.

---

<sup>7</sup> Ces principes sont systématiquement rappelés en guise de chapitre préliminaire pour chaque composant de la ligne.

- Toujours garder les mains loin des rouleaux, des cylindres et de la bande de papier lorsque la rotative fonctionne.
- Nettoyer régulièrement les plates-formes, planchers, escaliers et rambardes.
- S'assurer que les abords de la rotative sont toujours propres et dégagés.
- Ne jamais laisser d'outils, de récipients ou de chiffons sur la rotative.
- Toujours s'assurer qu'aucun corps étranger ne puisse pénétrer à l'intérieur d'un des éléments de la rotative.
- Pour éliminer un bourrage, toujours attendre l'arrêt complet de la plieuse.
- Manipuler avec extrême précaution les liquides inflammables près des équipements électriques.
- Multiplier les mesures de sécurité lors de la manipulation de substances inflammables, corrosives, toxiques ou volatiles.

Nous verrons, lors de l'analyse de l'activité des opérateurs, dans quelles mesures toutes ces précautions sont appliquées.

### ***Rôle de chaque opérateur défini par l'encadrement***

Nous pouvons à présent décrire le rôle de chaque opérateur au sein des équipes de conduite. Les équipes sont composées de 4 à 6 opérateurs selon les systèmes (cf. Tableau 10), elles gardent toujours la même base et le même type de fonctions génériques. Cette description est issue de fiches techniques réalisées par l'encadrement.

- **Le premier conducteur :**

Son rôle est de réaliser et/ou diriger les opérations nécessaires à la production de l'ouvrage à imprimer conformément au bon à tirer<sup>8</sup>. Il doit animer et coordonner l'équipe de façon à assurer le bon fonctionnement de la machine. Il participe à la formation des membres de son équipe, et dans ce cadre, il peut être amené à suppléer le second conducteur dans la réalisation de ses tâches.

Il assure le bon fonctionnement des matériels de production, demande l'intervention des services d'entretien et participe aux tâches d'entretien du matériel. Il est garant de la qualité des produits et de l'exploitation optimale de sa machine et de son environnement. Il est responsable des opérations nécessaires à la réalisation du produit imprimé, tout au long des

---

<sup>8</sup> Bon à tirer : c'est un modèle délivré par le client qui est représentatif de ses exigences au niveau du format et des couleurs.

différentes phases de production (préparation, calage, roulage) et dans le respect des consignes de sécurité.

- **Le second conducteur :**

Son rôle est d'assister le premier conducteur. Il doit être capable, à terme, d'assurer le remplacement du premier conducteur.

Dans la configuration M3000, rotative à 2 bandes, deux seconds conducteurs interviennent en complémentarité, dans le cadre du partage des tâches fixées par le premier conducteur.

Ils doivent effectuer toutes les opérations nécessaires à la réalisation du tirage, par délégation du premier conducteur, dans le cadre des consignes de sécurité, tout au long des différentes phases de production (préparation, calage, roulage).

Ils ont la responsabilité d'effectuer le calage (nettoyage des blanchets, mis en place des plaques, pré-réglage des encriers), puis de procéder à l'affinage des différents réglages depuis les pupitres de commandes... En phase de roulage, ils doivent veiller à la constance de qualité des exemplaires en prélevant et en vérifiant l'impression des cahiers produits à l'instant en les comparant avec le bon à tirer.

- **Le bobinier :**

Son rôle est d'assurer l'alimentation en papier de la rotative, ainsi que les opérations de collage permettant le changement des bobines sans interrompre la continuité de la production. Pour cela, il procède à la préparation des bobines qui est une activité très importante, puisque si la bobine est mal préparée cela peut avoir pour conséquence un mauvais collage ou une casse de bande, impliquant des arrêts de production.

Il surveille le bon fonctionnement du dérouleur et signale toute anomalie et défaut. Il participe également aux opérations incombant à l'équipe (calage, lavage, entretien...), il doit pouvoir remplir les tâches de receveur ou éventuellement de second.

- **Le receveur :**

Le receveur a la responsabilité de l'évacuation et du conditionnement des produits réalisés sur la machine. Il veille au bon fonctionnement des équipements (stackers, tapis, transfert, cerceuses...) dans le cadre des consignes de sécurité. Il assure l'étiquetage des conditionnements et surveille la qualité du tirage (pli, salissures, plissage, déchirures, travers...).

- **L'équipe dans son ensemble :**

Selon l'encadrement, l'organisation de l'équipe de conduite doit être faite de telle sorte que lors du calage, l'ensemble des opérateurs participe et aide les seconds pour les différentes tâches. Cela correspond à **un écart implicite nécessaire à la réalisation des différentes tâches**. Cet écart est propre à chaque équipe selon les compétences de chacun.

#### *IV.2.2.2 L'équipe de maintenance*

Pour la maintenance, Heidelberg délivre, pour tout type de système, des manuels de maintenance qui planifient et conseillent sur les différentes tâches de maintenance préventive à mener afin d'éviter des dysfonctionnements et des pannes lors de l'utilisation de la machine.

Cette étape de description des modalités de sécurité élaborées par le concepteur et des tâches définies par l'encadrement, constitue le cadre de référence pour l'analyse et la compréhension du système. Pour compléter ce cadre, la partie suivante présente l'analyse de l'activité sur le terrain qui nous a permis d'identifier le fonctionnement en mode habituel des systèmes, ainsi que les modes opératoires opérationnels mis en œuvre par les équipes de conduite.

### **IV.3. Etape II : Analyse opérationnelle**

#### *IV.3.1. Données relatives à la fiabilité technique*

D'après nos observations, les composants des systèmes quels qu'ils soient, font preuve d'une grande variabilité et fonctionnent rarement de façon optimale (problèmes d'usure anormale, dérèglement systématique de certains composants...). Nous avons constaté que les opérateurs parviennent néanmoins par différents moyens à produire des cahiers dans les tolérances exigées. Pour cela, ils sont amenés à mettre en œuvre des activités spécifiques pour récupérer les incidents et/ou aléas et faire perdurer le fonctionnement.

Dans ces conditions, nous voulions connaître les sous-systèmes ayant le plus d'impact sur l'exploitation et par conséquent sur l'activité des opérateurs (réglage, nettoyage, petite maintenance, activités réalisées en dehors des prescriptions...), c'est à dire estimer le niveau de variation ou de dérive accepté pour chaque fonction principale, par rapport au fonctionnement global du système.



Comme les données techniques n'étaient pas disponibles, nous avons procédé à des entretiens avec plusieurs conducteurs de lignes pour qu'ils nous expliquent les différents ajustements auxquels ils ont recours et afin de les formaliser dans un arbre d'événements.

Nous nous sommes alors heurtés au problème de représentation mentale des opérateurs (Leplat et al, 1977 ; Spérando, 1988 ; Amalberti, 1996). Ce type d'exercice est difficile, car il oblige les opérateurs à avoir une vue d'ensemble du système et à se représenter les différentes situations auxquelles ils ont à faire face régulièrement.

En réaction à cette difficulté, ils nous ont affirmé que *le système fonctionne en "tout ou rien"*, ce qui ne nous semble pas conforme par rapport aux observations réalisées. Cet aspect s'explique par le fait que les opérateurs raisonnent en terme de résultats sur le produit fini et non en terme de variabilité du processus. Lorsqu'ils considèrent que le système fonctionne en "tout ou rien", ils considèrent en fait qu'il n'y a que deux alternatives : les cahiers sont acceptés ou les cahiers sont refusés.

Or d'après les entretiens que nous avons pu mener auprès des contremaîtres, il semble que ceux-ci ne partagent pas cette vision des choses. On peut émettre plusieurs hypothèses concernant cette divergence de représentation du fonctionnement du système, entre les opérateurs et les contremaîtres :

- soit elle provient du fait que les contremaîtres parviennent à avoir un peu plus de recul sur ce type de dérives puisqu'ils sont "en retrait" de la dynamique opérationnelle,
- soit elle provient du fait justement qu'ils ne sont pas confrontés à la dynamique opérationnelle de manière directe et que de ce fait, ils en ont une vision biaisée.

Les contremaîtres des lignes analysées ont donc affirmé qu'**il est possible de tolérer et de pallier les dérives de certains sous-systèmes**. Ainsi trois sous-systèmes ayant un rôle primordial ont été distingués : le dérouleur / le sécheur / la plieuse (sous-système le plus délicat). Ces trois sous-systèmes tolèrent rarement d'écart par rapport au fonctionnement nominal. En général, lorsque l'un des trois dérive, la production est refusée, elle est en dehors des tolérances exigées par le client. Ceci est illustré par la Figure 31.

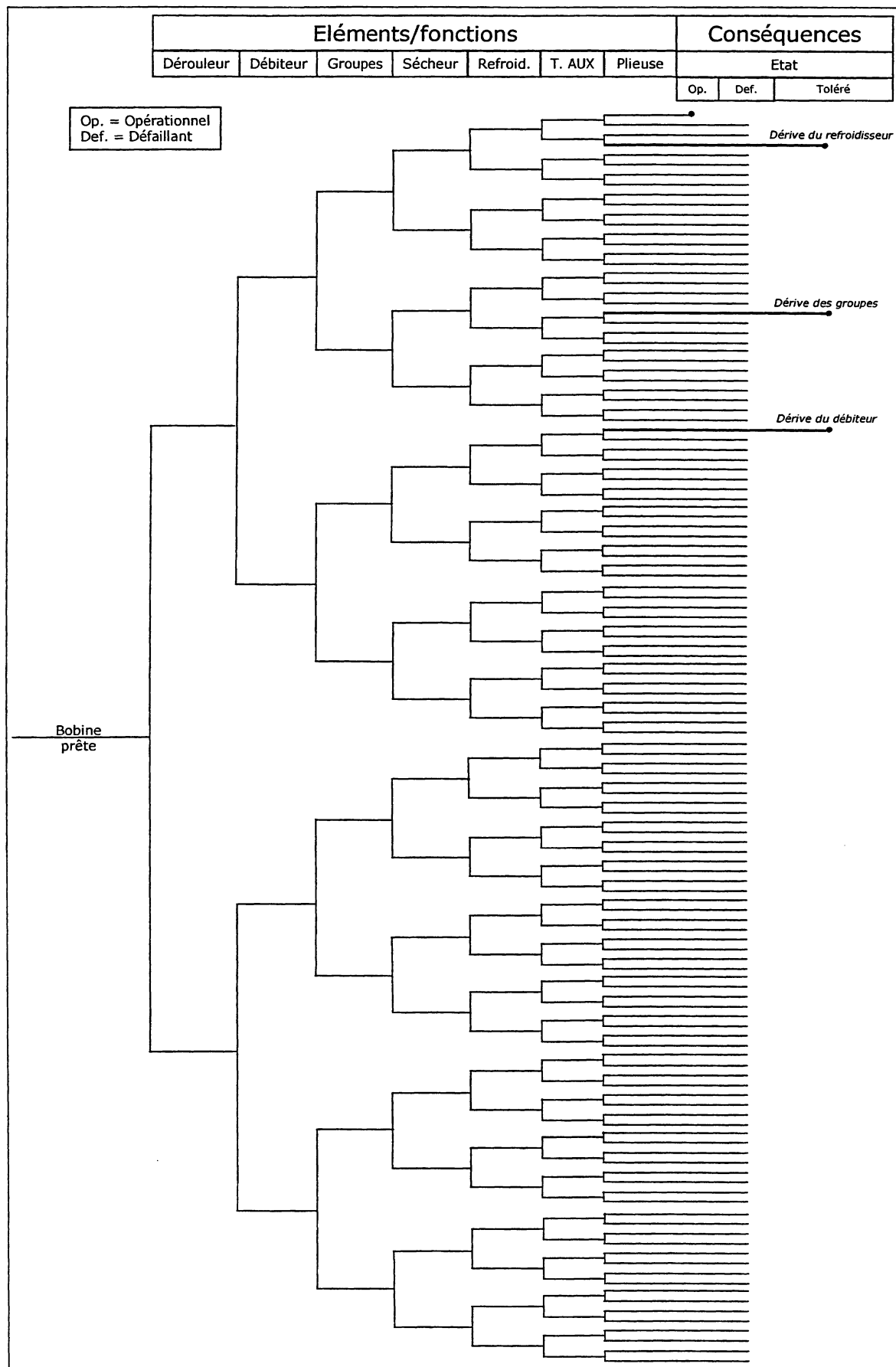


Figure 31 : Tentative d'approche par Arbre d'événements

On dénombre en théorie, pour une telle configuration, 128 ( $2^7$ ) scénarios<sup>9</sup>, ce qui est relativement important. D'après le diagramme, on voit qu'il n'y a que quatre scénarios acceptés ou tolérés (un scénario idéal lorsque tous les éléments fonctionnent normalement et trois scénarios qui tolèrent des fonctionnements non optimaux du débiteur, des groupes et du refroidisseur, en supposant que les autres éléments fonctionnent normalement). Ce diagramme met donc en évidence la **fragilité intrinsèque de la ligne et le rôle important des activités de réglage et de récupération des opérateurs.**

Les résultats obtenus par la construction de l'arbre d'événements restent succincts, car il nous a été impossible de le construire de manière optimale du fait du manque relatif d'informations, de disponibilité de la part du personnel des imprimeries et de la courte durée de notre intervention. Il aurait été préférable de constituer des groupes de travail avec les différents représentants : contre-mâtres, mainteneurs, opérateurs... Ce qui n'était pas possible par rapport au contexte de notre intervention.

Par ailleurs, nous ne disposons d'aucune donnée concernant le taux d'indisponibilité de chaque branche représentée dans l'arbre d'événements, pour calculer le taux réel de disponibilité de l'installation et le rôle important des activités des opérateurs.

Pour "contourner" cette lacune et pour mieux comprendre la manière dont la production est gérée en fonction des différents aléas et dysfonctionnements (pour compléter l'approche par AdE), nous avons procédé à l'analyse des cahiers de suivi de production tenus à jour par les premiers conducteurs tout au long de leur période de travail (Didelot et al, 1999 B). Cette analyse a été réalisée dans le cadre de l'imprimerie (A) concernant la M 3000 (car nous n'avions pas accès au traitement réalisé en interne).

Chaque événement (aléas, incident, panne...) stoppant la production y est inscrit avec plus ou moins d'explications, toutefois ces documents ne nous apportent rien sur la manière dont sont récupérés ces problèmes par les opérateurs.

Cette étude a été effectuée sur un échantillon de cinq mois.

L'exploitation de ces cahiers a été réalisée en relevant la durée (précisée par les premiers conducteurs) des différents types d'arrêts, de mises au point et des moments pendant lesquels la machine produit des ouvrages dans les tolérances exigées par le client. Pour cela, nous

---

<sup>9</sup>  $2^n$  en considérant que chaque élément possède 2 états (succès, échec) et n correspondant au nombre d'éléments impliqués.

avons différencié les phases d'exploitation (cf. Tableau 12), à partir desquelles nous avons identifié les types d'aléas venant perturber le fonctionnement de la ligne.

Les différentes phases d'exploitation	Nature des phases d'exploitation	Répartition en pourcentages des différentes phases	Proportion des phases principales d'exploitation (%)
<b>Temps d'ouverture du système</b>		100	100
<b>Fonctionnement nominal</b>	<b>Production dans les tolérances</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Etat transitoire</b>	<b>Calage</b>	<b>13.4</b>	<b>13.4</b>
<b>A R R E T  P R O D U C T I O N</b>	<b>Aléas internes au fonctionnement</b>	<b>Casse papier</b>	<b>6.1</b>
		Incident impression	3.5
		Ennuis plieuse	4.0
		Pannes mécaniques	1.1
		Pannes électriques	1.8
		Entretien réalisé par les opérateurs	1.9
		Mise en route	0.6
	<b>Aléas externes au fonctionnement</b>	Essais constructeur	0.2
		<b>Attente plaque</b>	<b>4.9</b>
		Attente BAT <sup>10</sup>	0.7
Entretien fait par la maintenance		1.8	

Tableau 12: Répartition des différentes phases d'exploitation de la M3000

La ligne a donc un fonctionnement nominal (c'est à dire production d'ouvrages dans les tolérances exigées) pour 60% de son temps d'ouverture (fiabilité opérationnelle).

Les 40 % de temps restant correspondent :

- au **calage (13,4%)** : phase indispensable au début de toute production (durée moyenne: 1,5 h) et parfois même, après certains arrêts prolongés (durée moyenne: 30 min.). C'est une activité régulière qui entraîne des pertes d'encre et de papier, les opérateurs s'efforcent par conséquent à la minimiser,
- aux **aléas externes au fonctionnement (7,6%)** c'est à dire indépendants de la fiabilité de la ligne, pour lesquels on peut distinguer, d'une part des aléas liés à l'organisation interne et/ou externe (attente de plaques d'impression, réunions, attentes de décisions), d'autre part

<sup>10</sup> BAT : Bon A Tirer.

des arrêts liés à la maintenance de la ligne (périodes planifiées d'entretien, graissage ou essais réalisés par le constructeur),

- aux **aléas internes au fonctionnement (19%)** c'est à dire relatifs à la fiabilité de la ligne tels que des pannes mécaniques ou électriques, des incidents d'impression (casse de plaques, défaut de blanchets...), etc.

**Description des aléas propres au système (internes) et ceux induits (externes) qui viennent perturber le fonctionnement d'une ligne :**

Avant de décrire ces aléas, nous précisons que malgré l'impossibilité de mener une analyse aussi détaillée auprès de l'imprimerie (B), nous avons néanmoins observé les mêmes types d'aléas (dont nous ne connaissons pas la répartition) et ces résultats ont été confirmés par les autres équipes du projet menant des analyses dans d'autres imprimeries.

Les différents aléas et incidents que nous décrivons à présent sont donc caractéristiques des systèmes d'imprimerie en général :

- **Les aléas de type externe** sont directement liés à l'organisation de l'entreprise et à des dispositions du client (comme dans le cas d'une attente plaque qui représente à elle seule 4.9% du temps d'ouverture<sup>11</sup>). Ils constituent une contrainte supplémentaire dans le travail des opérateurs. Ils conditionnent énormément l'activité des opérateurs puisqu'ils sont parfois contraints d'attendre la production à réaliser pendant des périodes relativement longues. Cependant ces temps de non fonctionnement sont valorisés par différentes tâches de nettoyage et d'entretien, mais une fois la production relancée, ils incitent bien souvent les opérateurs à mettre en œuvre tous les moyens possibles pour rattraper les retards.
- **Les aléas de type interne** sont directement liés au fonctionnement de la machine, à l'organisation locale sur le système et à la réactivité de l'équipe. Dans cette catégorie, trois événements prédominent :
  - **Les casses papier** (6.1%) survenant de façon inopinée, peuvent avoir des causes multiples et sont, par conséquent, parfois difficiles à diagnostiquer. Cet incident implique un réengagement de la bande à travers les différents organes par les opérateurs. En général, cette opération ne dure pas longtemps. Cependant, elle doit être effectuée assez fréquemment par les opérateurs. Même s'ils sont entraînés à le faire plusieurs fois dans la journée, cette tâche reste relativement fatigante, car elle

---

<sup>11</sup> Temps d'ouverture : temps total d'exploitation de la ligne (périodes productives et non productives incluses).

contraint les opérateurs à monter et descendre les escaliers et à se "contorsionner" entre les sous-systèmes pour passer la bande (ex. : espace restreint entre le groupe jaune et le web catcher).

- Les incidents d'impression (3.5%) concernent tous les incidents survenant au niveau des groupes d'impression : problème de mouillage au niveau des blanchets, casse d'une plaque, travers... Leur durée de réparation est assez variable, mais excède rarement une heure. En général, ces incidents se détectent par la présence de défauts sur les ouvrages en cours de tirage et les opérateurs reconnaissent grâce à leur expérience, l'origine du problème à éliminer.
  
- Les ennuis de plieuse (4%) concernent exclusivement tous les problèmes rencontrés par la plieuse (ex. : bourrage, casse des cordons qui entraînent les cahiers, lames de pli ou de coupe usées...). La plieuse est un organe sensible de façon générale, car elle est composée de nombreux consommables dont il est nécessaire de surveiller l'usure (cordons, lames...). Elle fonctionne plus ou moins bien selon le type de configuration utilisé (les configurations rares sont problématiques) et le type de consommables utilisé (certains types de papier ou d'encre sont problématiques). De plus, ses accès sont relativement contraignants et les interventions de remise en marche sont généralement longues. De nombreux problèmes ont été de surcroît constatés lors de la production d'ouvrages assemblés avec de la colle : en effet, les projections de colle manquant de précisions ont tendance à se répandre sur des organes internes. En conséquence, les opérateurs rencontrent des difficultés lorsqu'ils doivent produire les ouvrages suivant (il y a beaucoup de déchirures de cahiers, de bourrages) en raison des résidus de colle. La seule solution efficace est de procéder à un nettoyage des composants internes qui est une tâche assez contraignante et qui nécessite beaucoup de temps.

Dans le cas de systèmes ayant des lignes superposées, il n'est pas rare d'assister à une combinaison des différents aléas sur chacune des bandes. En effet, il arrive parfois qu'au moment de redémarrer, la bande qui n'avait pas eu de problème soit exposée à un aléa. Cela donne des situations complexes à diagnostiquer et pratiquement impossibles à anticiper.

Dans le cas des M600 de l'imprimerie (B), nous n'avons pas pu analyser les cahiers de suivi de production, par contre, nous avons eu des chiffres relatifs aux cadences de production calculées sur un mois :

- concernant la M601, le **temps de roulage représente 68,3% du temps d'ouverture** de la ligne, celui de calage est de 9,8% et le temps de non production est de 21,9%,
- concernant la M602, les résultats sont un peu moins bons puisque **le temps de roulage est de 60,3%**, le temps de calage est de 22,3% et le temps de non production est de 17,4%.

A ce stade, il est intéressant de remarquer que ces chiffres sont relativement équivalents à ceux obtenus avec la M3000. Cela signifie que **malgré des niveaux de complexité et de technologie différents, la productivité des systèmes semble plafonner aux environs des 60 – 70 % de roulage.**

On remarque toutefois un temps de calage de la M602 qui est plus de deux fois supérieur à celui de la M601. Cela s'explique par le fait que les ouvrages produits sont souvent hors standards par rapport à la réceptionneuse qui nécessite de ce fait des réglages spécifiques et délicats à mettre en place<sup>12</sup>. En réalité, cela signifie qu'il y a une inadéquation entre la ligne d'impression et tout le système de réception. **Ce problème souligne l'importance de la phase d'intégration des éléments les uns aux autres.** C'est une phase que nous n'avons pas eu l'opportunité d'analyser, mais qui est déterminante pour la vie opérationnelle du système.

Ces niveaux de productivité sont certainement en lien avec les politiques de maintenance appliquées dans chacune des imprimeries. Nous avons constaté dans l'imprimerie (A) que le responsable maintenance avait tenté de mettre en place des actions de maintenance préventive systématiques en procédant à une adaptation des périodicités de changement de consommables préconisées par le concepteur, en fonction de sa propre expérience, dans le but d'optimiser les consommables<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Cela ne remet cependant pas en cause le fonctionnement (et la fiabilité) du système en lui-même puisque la réceptionneuse n'est pas conçue par Heidelberg.

<sup>13</sup> Il est également important de signaler que le concepteur ne précise pas le type de consommables à utiliser, ce qui peut induire des périodicités différentes en fonction de leur qualité.

En réalité, face aux contraintes opérationnelles auxquelles sont soumis les systèmes, on s'aperçoit que **les imprimeries ont essentiellement recours à une maintenance de type corrective.**

C'est par exemple, lors d'un débouillage de papier dans la plieuse que les opérateurs vont s'apercevoir que certaines pièces sont usées. Néanmoins, cela doit être nuancé, car comme on l'a dit auparavant, les longues périodes d'attente représentent des opportunités idéales pour faire un peu de maintenance préventive (une mise à jour en quelque sorte). Implicitement, les opérateurs comptent beaucoup sur ces périodes non productives, mais on peut se demander si elles s'avèrent suffisantes.

Un autre point important concerne le fait que ce sont des **systèmes complexes alliant des composants mécaniques à des composants électroniques qui rendent la résolution des pannes parfois difficiles.** Les opérateurs doivent avoir de bonnes connaissances en automatisme, mais malgré cela, face à leur impuissance, ils sont souvent obligés de faire appel à la société Heidelberg. Nous avons observé des situations au cours desquelles ils avaient décidé de neutraliser certains automatismes ("système D") pour gagner du temps, au détriment d'éventuelles dégradations matérielles.

A ce stade, il est important de préciser que **chaque arrêt coûte très cher**, obligeant implicitement les opérateurs à faire preuve d'une grande réactivité face aux différents aléas. Grâce à leur expérience, ils parviennent rapidement dans la majorité des cas à diagnostiquer l'origine et la cause d'un incident. Cependant, la cadence de travail est souvent élevée, car ils doivent remettre en marche le plus rapidement possible, d'autant que dans le cas de la M3000, les ouvrages sont à finir à des heures précises pour être livrés à temps. Ces aspects sont explicités à travers l'analyse ergonomique.

#### *IV.3.2. Analyse de l'activité quotidienne liée à la conduite des systèmes*

Avant de caractériser les activités que nous avons pu observer, nous nous intéressons à des données concernant les opérateurs eux-mêmes, leur niveau de formation et leur environnement de travail.



#### **IV.3.2.1 Population travaillant sur les systèmes**

Concernant l'imprimerie (A), **les opérateurs sont plutôt jeunes**, puisque la moyenne d'âge est de 30 ans. Cela s'explique par le fait que les cadences de travail sont élevées et surtout parce que le système comporte de nombreux escaliers et des paliers qu'il est nécessaire de gravir très souvent.

Concernant l'imprimerie (B), les systèmes M600 étant de moindre dimension par rapport au système M3000, la moyenne d'âge de la population qui l'exploite a tendance à être plus élevée, sans doute parce que sa conduite nécessite moins de déplacements.

#### **IV.3.2.2 Formation des opérateurs**

**Seuls certains opérateurs sont formés par Heidelberg** d'une façon générale.

Concernant l'imprimerie (A), seuls les premiers et seconds conducteurs ont suivi une formation qui a duré au total cinq semaines, sur tous les postes de la rotative. Ils ont ensuite été chargés de former les autres opérateurs, sur le tas.

Concernant l'imprimerie (B), la plupart des opérateurs ayant déjà travaillé sur des rotatives dans d'autres imprimeries, il n'a pas été nécessaire de les former, certains ont néanmoins suivi des stages de perfectionnement sur la plieuse. Les opérateurs novices sont formés sur le tas par les opérateurs plus expérimentés.

Les opérateurs présents au moment de l'implantation des lignes ont également pu suivre une formation dispensée par un démonstrateur de la société Heidelberg.

Par ailleurs, un point important au niveau de la formation sur le tas concerne le fait qu'elle est réalisée avec l'objectif d'assurer une **certaine polyvalence des opérateurs**.

Dans l'éventualité de l'absence d'un opérateur, l'équipe se réorganise en décalant les rôles d'un niveau, par exemple : si le premier conducteur est absent, c'est un des seconds qui assumera son poste (car il est formé dans cette optique), le bobinier passe alors second conducteur, le receveur devient bobinier et un intérimaire peut éventuellement prendre la place du receveur qui ne nécessite pas un apprentissage poussé.

Cela correspond à une adaptation du travail en fonction des contraintes opérationnelles subies par les équipes et traduit un écart par rapport à ce qui est prévu initialement (chaque opérateur ayant un poste bien défini). Cette adaptation peut éventuellement induire une migration du système qui résulte d'une détérioration du savoir.

#### IV.3.2.3 Environnement de travail

Un choix de départ dans le cadre du projet GIPC PROSPER visait une analyse centrée sur les équipements fabriqués par Heidelberg. C'est pourquoi, aucune analyse approfondie n'a été réalisée concernant le bruit, la toxicité et l'éclairage.

Concernant les autres données, nous nous sommes "limités" à nos observations et aux informations de la part des opérateurs, l'encadrement, et la médecine du travail.

##### ♦ Prévention et analyse des accidents

Concernant l'imprimerie (A), généralement après chaque accident, une "enquête" est menée avec la participation de l'infirmière, du médecin du travail, du responsable sécurité, d'un membre du CHSCT, de l'opérateur concerné et du (ou des) éventuels témoins.

Les solutions de prévention sont réalisées en concertation avec les opérateurs.

Apparemment, il n'y a pas d'analyse détaillée des accidents et par conséquent il n'y a pas une réelle démarche de prévention.

Un entretien auprès du médecin du travail et l'infirmière nous a permis de savoir que relativement peu d'accidents ont été recensés sur la M3000, puisque depuis sa mise en service, trois accidents ont été enregistrés :

- en 98, un bobinier s'est planté dans l'aine, le couteau lui permettant de démaculer<sup>14</sup> la bobine (accident grave puisque le couteau est passé très près de l'artère fémorale),
- début mai 99, un opérateur s'est fait une entorse à la cheville,
- début juin 99, un opérateur a glissé alors qu'il était en train de vérifier le niveau de silicone et s'est ouvert le bras sur des vis en hauteur (par un geste réflexe, il a levé les bras).

Ce relevé nous indique qu'il n'y a eu aucun accident provoqué par une interaction entre un organe mécanique du système et un opérateur. Ce résultat semble corrélé à ceux obtenus d'après la banque de données Epicéa (§ I.1 ; § I.2).

---

<sup>14</sup> Démaculer consiste à retirer les premières épaisseurs de la bobine qui présente des défauts source de casse papier.

Concernant l'imprimerie (B), un suivi des accidents est réalisé par un animateur sécurité<sup>15</sup> et nous a permis d'identifier les accidents suivants au cours de l'année 2000 :

- en mai, sur la M602, un opérateur s'est heurté le torse contre le bâtis de la machine au niveau des barres de retournement, lui infligeant des douleurs et contusion et nécessitant 97 jours d'arrêt de travail,
- en août, sur la M601, un opérateur a ressenti une douleur au bras en se retenant à une échelle des groupes imprimants (pas d'arrêt de travail),
- en février, sur la M601, un opérateur s'est tordu le genou lors d'un déplacement (1 jour d'arrêt de travail).

Tous les accidents recensés sont caractéristiques de problèmes relatifs aux accès et voies de circulation et prouvent que le travail lié à la conduite d'une ligne nécessite une certaine condition physique.

♦ Eléments de Protection Individuels

D'une façon générale, on recense essentiellement trois moyens de protection : les protections auditives (casques et bouchons), les gants pour certaines opérations et les chaussures de sécurité.

D'autre part, les lignes étudiées sont équipées d'une enceinte anti-bruit.

Nous avons constaté lors de nos observations que malgré le bruit à l'intérieur de l'enceinte, avec les risques que cela confère pour l'audition et malgré la signalisation associée, les opérateurs n'utilisent pas les bouchons. Ce cas de figure se retrouve également pour le port de gants, car pour effectuer certaines tâches, comme par exemple le nettoyage des blanchets, les seconds conducteurs utilisent des substances toxiques. Mais là encore seulement certains d'entre eux en font usage.

Cela peut s'expliquer en référence à des études ergonomiques (Mayer, 1992) qui ont montré qu'un compromis est apparemment effectué par les utilisateurs entre la prise de risque (sans protecteur) et la gêne éventuelle d'un équipement ou le risque secondaire qu'il peut induire. En effet, selon Krawsky (1995) plusieurs paramètres peuvent interférer dans la décision de se protéger, tels que la perception du risque à court terme, la durée du port du protecteur, l'implication de l'opérateur dans sa tâche... Cependant, nos analyses ne sont pas suffisamment approfondies à ce niveau pour expliquer précisément les raisons de ce non port des EPI.

---

<sup>15</sup> Les descriptions sont relativement succinctes, rien n'est précisé sur des éventuelles mesures de prévention.

♦ Flux de circulation et accès

Concernant l'imprimerie (A), compte tenu de la spécificité de la M3000 (superposition des deux bandes), il a été nécessaire lors de l'intégration de la ligne dans les ateliers, de procéder à certains aménagements afin de permettre l'accès à tous les sous-systèmes.

La ligne est sur deux étages, donc de nombreux escaliers abrupts, de tailles différentes et des passerelles étroites ont été installés. Ces deux points rendent difficiles les déplacements. En effet, les opérateurs doivent monter et descendre pour contrôler les bandes ou effectuer des réparations. Nous verrons que la configuration (superposition des bandes) induit des postures inconfortables voire dangereuses lorsqu'il faut réengager la bande.

Ces problèmes se retrouvent à moindre échelle au niveau des M601 et M602, puisque leur structure est moins complexe. Elles comportent néanmoins elles-aussi quelques paliers et marches d'escaliers.

**IV.3.2.4 L'activité des opérateurs à travers les différentes phases d'exploitation des systèmes**

Lorsque l'on s'intéresse à l'activité des opérateurs, on s'aperçoit qu'il existe, ici encore, deux niveaux de prescription. C'est un phénomène classique qui a été mis en évidence dans d'autres travaux (de Terssac, 1992). En effet, les règles explicites élaborées par l'encadrement combinant des modes opératoires avec des critères organisationnels en lien avec le poste de chaque opérateur (§ IV.2.2) sont en réalité, doublées d'obligations implicites relatives aux objectifs de production qui pèsent sur le comportement des opérateurs en les obligeant implicitement à maîtriser les perturbations.

L'activité des opérateurs peut être vue à travers l'identification de trois phases essentielles dans la fabrication d'un cahier. Elles sont ponctuées par des tâches de réglage, d'attente, de contrôle et de maintenance (tel que nous l'avons montré dans le Tableau 12).

Toute production débute par une **phase de préparation** qui fait appel à des opérations de coordination des membres de l'équipe par rapport aux instructions induites par cette nouvelle production (nettoyage des composants divers, préparation des bobines...). Cette phase nécessite également la programmation des différents composants. Ces réglages peuvent être habituels et connus (encriers, lames de pli dans la plieuse...) et dans ce cas, les opérateurs

consultent la base de données qu'ils se sont constitués par un apprentissage essai-erreur. Cependant, il n'existe pas de valeur référencée pour tout, comme par exemple pour les réglages d'épaisseur de papier dans la plieuse : leur valeur et la manière dont ils sont réalisés peuvent varier selon l'opérateur qui les réalise et dépendent fortement de ses savoirs et savoir-faire.

Cette phase de préparation a une durée qui peut osciller entre 1h et 2h30, selon les aléas de production. Pendant cette phase, énormément de tâches sont à accomplir et les efforts physiques sont relativement importants (surtout dans le cas d'un système à deux bandes superposées).

Vient ensuite la **phase de démarrage-calage**, phase transitoire, qui se caractérise par la mise en route de la machine et la "mise aux bonnes"<sup>16</sup>. Le démarrage est une phase très délicate qui nécessite de l'expérience et du "doigté" de la part du premier conducteur. Nous nous sommes rendus compte au cours de nos observations, qu'il n'est pas évident de démarrer la ligne surtout après un arrêt prolongé. Le conducteur procède par essai-erreur, car il n'existe pas à proprement parler de protocole établi : il doit maîtriser la vitesse de démarrage, faire en sorte que les paramètres de mouillage, encrage et autres soient bien ajustés en fonction de la qualité du papier, s'assurer que les réglages de la plieuse sont corrects (des bourrages peuvent avoir lieu). Cela implique également la disponibilité de tous les composants au moment de la sollicitation.

Une fois le stade du démarrage dépassé, c'est le calage qui suit, pour lequel l'objectif est de **minimiser les pertes de papier** (entre 6000 et 8000 exemplaires peuvent être jetés). Cela nécessite une rapidité d'action de la part du premier et des seconds conducteurs qui alternent entre des réglages depuis le pupitre de commande et des prélèvements de cahiers en sortie de plieuse pour vérifier l'évolution de l'encrage<sup>17</sup>, du mouillage<sup>18</sup>, du repérage<sup>19</sup>, des plis, de l'alignement...

De plus, une attention particulière est attribuée à la plieuse qui est considérée comme un organe très évènementiel et très complexe (surtout après un changement de pli ou l'utilisation de la colle qui souille l'intérieur).

---

<sup>16</sup> Phase qui consiste à faire tous les réglages d'impression pour obtenir des cahiers dans les tolérances exigées.

<sup>17</sup> Quantité d'encre sur le papier.

<sup>18</sup> Quantité de produit de mouillage sur le papier.

<sup>19</sup> Superposition des couleurs.

Des activités importantes de contrôle sont donc mises en œuvre par les opérateurs. C'est une phase pendant laquelle la pression temporelle est très élevée et les enjeux (en terme de qualité de production et de limitation des pertes) sont importants. Sa durée oscille entre 40 et 60 minutes selon les aléas rencontrés, par exemple : nous avons observé une situation au cours de laquelle il a fallu changer une plaque d'impression après 20 minutes de tentatives de différents réglages et récupération de la situation.

Enfin, lorsque tous les paramètres sont stabilisés, c'est à dire après la "mise aux bonnes", le système est en phase de roulage. Cette phase se caractérise par un suivi de la qualité de la production : les opérateurs prélèvent régulièrement des cahiers pour vérifier la constance des paramètres.

La Figure 32 et la Figure 33 synthétisent les activités des opérateurs sous la forme de diagrammes SADT construits sur deux niveaux.

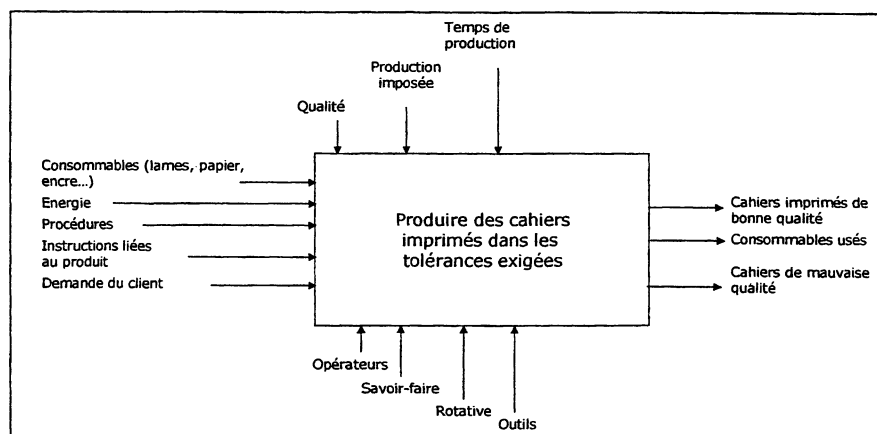


Figure 32: Boîte noire

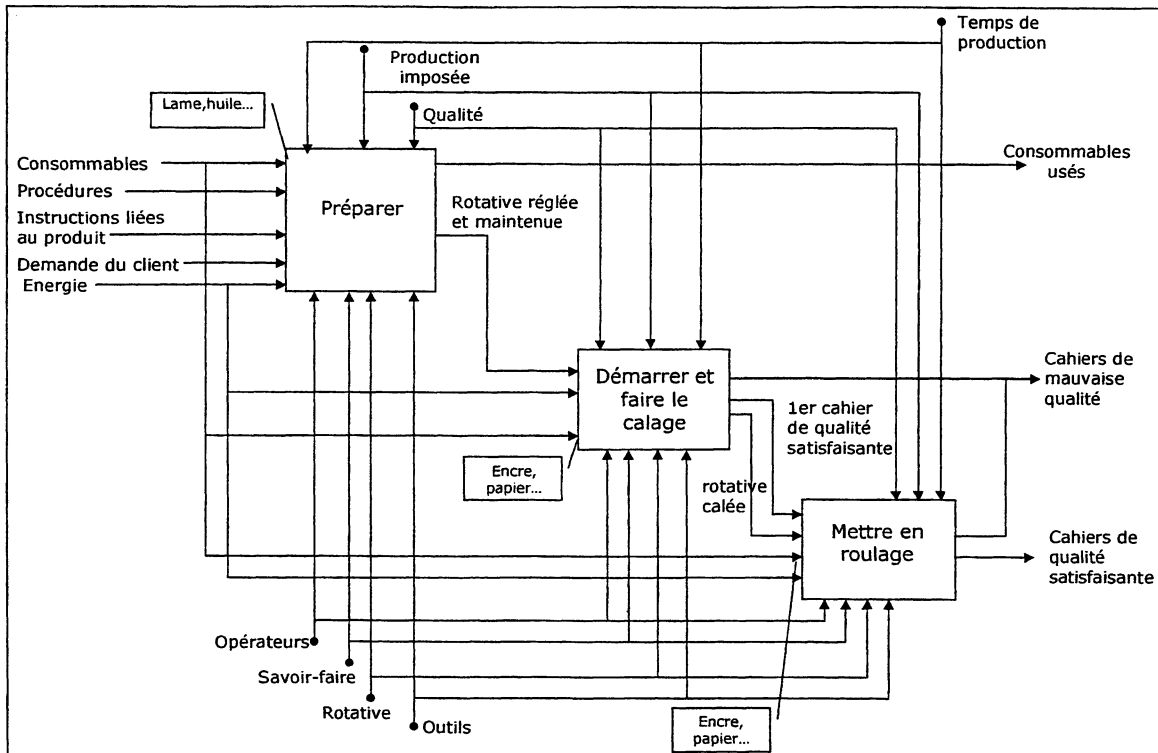


Figure 33 : SADT, actigramme des trois activités nécessaires pour la production

En réalité, comme nous l'avons évoqué précédemment, le système est relativement instable et de ce fait, les opérateurs développent des activités de contrôle importantes qui doivent leur permettre d'anticiper les différents incidents potentiels. Ainsi les opérateurs font appel à certains moyens permettant une régulation du système. Par ailleurs, ils anticipent les problèmes et/ou incidents en essayant de les détecter selon plusieurs modalités que nous avons identifiées à travers nos observations :

- par le signalement du problème au niveau des pupitres qui localisent l'anomalie sur le sous-système concerné (problèmes électroniques ou mécaniques),
- par la détection visuelle de défauts d'impression (à l'aide d'un compte-fil éventuellement) sur les cahiers, lors des prélèvements pour les contrôles systématiques de la qualité. Les défauts détectés nécessitent ensuite d'être interprétés pour agir sur le sous-système concerné, par exemple : groupe rouge – verso – bande 1,
- par une vigilance auditive pour détecter le moindre bruit anormal au niveau des composants,
- par un contrôle visuel directement sur les composants en roulage, par exemple : vérifier qu'il n'y a pas de problème au niveau des blanchets, ou bien au niveau des organes de la plieuse.

D'autre part, il est important de souligner que ces activités d'anticipation seront plus ou moins importantes selon le contexte :

- certaines phases du processus nécessitent plus de vigilance que d'autres, notamment le démarrage,
- les opérateurs sont conscients que certaines configurations peu utilisées au niveau de la plieuse (pour certains produits de parution annuelle, par exemple) posent plus de problèmes que les configurations utilisées régulièrement,
- les opérateurs savent également que certains consommables de mauvaise qualité (pour produire des revues "bas de gamme") vont poser beaucoup plus de problèmes et vont nécessiter plus de vigilance.

#### **IV.3.2.5 Synthèse sur l'analyse opérationnelle**

La conduite de la ligne nécessite donc **des savoirs et savoir-faire spécifiques** en lien avec une forte évolution technologique (informatisation et automatisation) caractérisant le secteur de l'imprimerie. Elle s'apparente donc aux activités de « conduite de processus complexes ».

De ce fait, la conduite d'un tel système nécessite **des exigences cognitives fortes**, comme cela a été démontré dans différents domaines, pour :

- satisfaire des exigences de qualité du produit et de quantité à produire,
- détecter les incidents ou pannes fréquents conduisant à des situations critiques qu'il faut récupérer le plus rapidement possible,
- interpréter les incidents pour y remédier,
- réaliser des interventions de maintenance inopinées et complexes du fait du couplage de composants mécaniques avec des composants électroniques.

**Les opérateurs dépassent inévitablement le cadre prescrit en prenant des initiatives**, d'une part pour pallier les incidents et aléas du système, d'autre part lorsqu'il s'agit de réaliser des opérations de maintenance en temps masqué (lors de phases d'attente ou suite à des incidents ou pannes).



La conduite de ces systèmes fait appel au **travail collectif** :

- d'une part, la répartition des rôles est liée à la fois aux compétences et connaissances spécifiques de chaque opérateur (conducteur, second, bobinier, etc.) et à des modes de *coopération*, de *collaboration* et d'*entraide* qui se construisent avec l'expérience (De la Garza et al, 2000), par exemple : le bobinier peut venir aider un des seconds s'il a fini sa tâche ; il peut également participer à l'activité de contrôle pendant le roulage en prélevant un exemplaire de temps en temps.
- d'autre part, en cas d'incident ou de panne, par exemple : même si le conducteur principal prend les décisions importantes, l'ensemble de l'équipe se mobilise pour récupérer la situation, suivre les instructions et assurer ainsi plus rapidement la remise en route.

A travers cette analyse opérationnelle, nous avons un aperçu du fonctionnement réel de la ligne. Celui-ci est perturbé par différents aléas et incidents qui obligent les opérateurs à s'adapter à de telles conditions d'exploitation.

Le but est maintenant de connaître plus précisément les causes et conséquences de ces incidents en terme d'impact sur l'activité des opérateurs.

#### IV.4. Etape III : Identification des dysfonctionnements

Cette partie de l'analyse a été réalisée sans aucun document de référence de la part des imprimeries concernant les dysfonctionnements et la recherche de leurs causes éventuelles.

Les données exposées sont donc issues d'une analyse qui articule trois méthodes complémentaires : une analyse de documents sur le suivi de la production, des entretiens auprès d'acteurs différents (opérateurs, contre-mâîtres) et des observations de l'activité. Cette analyse n'a été réalisée qu'auprès de l'imprimerie (A), mais la majorité des résultats sont transférables aux systèmes de l'imprimerie (B).

Les résultats de notre analyse ont été ordonnés dans un tableau de type *AMDEC simplifiée*, dans le sens où les données obtenues sont insuffisantes pour prétendre avoir réalisé une AMDEC en tant que telle<sup>20</sup>.

D'autre part, les défaillances retenues ont toutes une criticité puisqu'elles entraînent toutes un arrêt du système (c'est d'ailleurs à cette seule condition qu'elles figurent dans les cahiers de suivi de production). Les défaillances recensées ne sont donc certainement pas exhaustives,

---

<sup>20</sup> Toujours en référence à notre cadre d'intervention, nous n'avons pas pu solliciter le personnel pour constituer des groupes de travail.

mais permettent d'avoir un aperçu sur les dysfonctionnements quotidiens auxquels doivent faire face les opérateurs.

Les événements notés par les premiers conducteurs dans les cahiers de suivi de production, correspondent à certains *modes de défaillances* des différents composants. Notre travail a consisté à reprendre chacun d'entre eux pour en rechercher les causes, en interviewant les opérateurs.

Les résultats figurent dans le Tableau 13.

Composants	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Conséquences
DEROULEUR	Déroutement du papier	Collure (certaines épaisseurs de papier dans la bobine sont collées les unes aux autres).	Défaut provenant du papetier.	Casse papier
		Défaut papier (grumeaux, trous...).	Défauts provenant du papetier.	Casse papier
		Casse papier au démarrage.	La mise en pression et en vitesse inadaptées des rouleaux, provoquent une rupture du papier.	Casse papier
		Problème étiquette noire.	- Absence d'étiquette (oubli de l'opérateur), - Pas de lecture de l'étiquette par les cellules du dérouleur, - Défaut de l'étiquette.	Casse papier
		Problème étiquettes de rupture.	- Absence d'étiquette (oubli opérateur) - Etiquettes cassant avant le collage des deux bandes - Défaut des étiquettes	Casse papier
		Casse au collage.	Pas de recollage du bobinot sur bobine neuve.	Casse papier
		Mode défaut.	Problèmes mécaniques ou électroniques (mal connus des opérateurs).	Arrêt système

Tableau 13: AMDEC simplifiée du système M3000

Composants	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Conséquences
GROUPES IMPRIMANT	Impression de la bande.	Goutte d'encre (goutte d'encre poisseuse faisant coller le papier sur le blanchet).	Problème d'équilibre encrage/mouillage.	Casse papier
		Montée en épaisseur (papier s'enroulant autour du blanchet).	Quantité insuffisante de solution de mouillage.	Casse papier
		Épaisseur d'encre sur les blanchets (provoquant une fragilisation du papier ou un défaut détecté par le web catcher).	- Présence de "grumeaux" dans l'encre, - Problème d'équilibre encrage/mouillage.	Casse papier
		Plissage (les plis du papier sont détectés par le web catcher).	Problème de pression insuffisante sur le papier.	Casse papier
		Casse plaque d'impression.	- Défaut intrinsèque à la plaque, - Plaque mal fixée	Casse papier
		Usure plaque d'impression (endommagement du papier qui se rompt).	Pas de changement de plaque régulier de la part du conducteur.	Casse papier
		Casse au collage (la casse a lieu là où les deux bandes ont été mises bout à bout suite à un collage).	Les étiquettes n'ont pas résistées aux différents efforts induits par les rouleaux d'impression.	Casse papier
		Problème blanchet (endommagement du blanchet qui abîme la bande papier).	- Blanchet usé, - Défaut intrinsèque au blanchet.	Casse papier
		Casse au lavage (à l'endroit du collage).	Les étiquettes ne résistent pas aux efforts induits par les brosses de lavage automatique.	Casse papier
		Mode défaut.	Problèmes mécaniques ou électroniques (mal connus des opérateurs).	Arrêt système
WEB CATCHER	Détecte les défauts – Coupe la bande – Enroule la bande.	Fonctionnement intempestif.	- Problèmes électroniques, - Déconfiguration, - Cellules de détection poussiéreuses.	Casse papier
		Mode défaut.	Problèmes mécaniques ou électroniques (mal connus des opérateurs).	Arrêt système
SECHEUR	Sèche la bande humide.	Casse au niveau du collage.	Les étiquettes cèdent sous l'effet de la chaleur.	Casse papier
		Buses salies (le frottement répétitif casse la bande).	Dépôt d'encre sur buse.	Casse papier
		Mode défaut.	Problèmes mécaniques ou électroniques (mal connus des opérateurs).	Arrêt système
REFROIDISSEUR	Refroidit la bande sèche.	Mode défaut.	Problèmes mécaniques ou électroniques (mal connus des opérateurs).	Arrêt système

Tableau 13: AMDEC simplifiée du système M3000 (suite)

Composants	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Conséquences
SILICONEUR	Dépose un film de silicone sur le papier.	Débordement (trop de silicone imbibe le papier qui cède).	Mauvais remplissage du bac.	Casse papier
		Bac silicone vide (le manque de silicone induit une casse au niveau des barres de retournement).	Oubli de remplissage du bac.	Casse papier
BARRES DE RETOURNEMENT	Oriente la bande pour la faire pénétrer dans la plieuse.	Air de soufflerie fermée (la bande casse sous l'effet des frottements intensifs).	Oubli de remise en marche après opération de maintenance.	Casse papier
		Glousse (paquet d'encre poisseux qui casse la bande quand elle arrive dans les barres).	Problème d'encrage (groupes imprimants).	Casse papier
PLIEUSE	Découpe la bande – pli sous forme de cahiers.	- Casse de cordons, - Cordons usés, - Cordons sautés (lanières en tissu permettant de guider les cahiers).	- Usure, - Mauvais engagement des cahiers, - Manque de maintenance.	Bourrage – arrêt système
		Lames de coupe usées.	Manque de maintenance.	Bourrage – arrêt système
		Lames prenantes usées.	Manque de maintenance.	Bourrage – arrêt système
		Boules d'appel usées.	Manque de maintenance.	Bourrage – arrêt système
		Frein moteur principal disjoncté.	Rare, mal connu des opérateurs.	Bourrage – arrêt système
		Dépôt de colle (provoque des déchirures sur les cahiers).	- Imprécision des projections de colle, - Manque de maintenance (nettoyage).	Bourrage – arrêt système
		Fausse détection cellules.	Cellules sales.	Bourrage – arrêt système

Tableau 13: AMDEC simplifiée du système M3000 (suite)

A travers cette analyse, nous constatons que les défaillances explicitées sont dues à des problèmes de différentes natures :

- des problèmes intrinsèques à un sous-système ou à un composant : défaut dérouleur, freins disjonctés...
- des problèmes liés à l'entretien et à la petite maintenance : dépôt de colle, lames de coupe usées...
- des problèmes liés aux consommables : défaut de papier, problème d'étiquettes...
- des problèmes liés à des oublis ou des négligences de la part des opérateurs : oubli de pose d'étiquette noire, bac de silicone vide, air de soufflerie de barres de retournement fermé...

On remarque donc l'existence de défaillances indépendantes de l'activité des opérateurs et d'autres directement liées à celle-ci.

Il semble que certaines de ces défaillances pourraient être évitées par la mise en place d'activités complémentaires en interne, comme par exemple des vérifications systématiques et un nettoyage régulier de certains organes (plieuse) de la part des opérateurs ou des opérations de maintenance préventive qui amélioreraient la disponibilité de certains matériels. Les autres types de défaillances nécessiteraient par contre des améliorations de la part de la conception, notamment celles qui concernent des problèmes techniques liés à des sous-systèmes. A ce stade, on voit toute la difficulté du concepteur à choisir une solution technique adaptée et dont la robustesse sera suffisante.

De plus, il a été clairement observé que ces incidents et pannes impliquent **des activités de récupération** (Faverge, 1965) **et de compensation dont les exigences et les coûts sont généralement élevés** :

- en accentuant la pénibilité physique (les opérateurs courent parfois d'un endroit à un autre pour faire au plus vite),
- en augmentant les prises de risque en tous genres (en neutralisant parfois les dispositifs de sécurité, en travaillant sans porter les EPI...),
- en accentuant les exigences cognitives (diagnostic, réglage, remise en route, travail sous pression).

En ce sens, nous avons pu identifier un certain nombre d'activités spécifiques développées par les opérateurs et réalisées en dehors des prescriptions. Comme De Terssac (1992) a pu le montrer, ce qu'attend l'encadrement, c'est moins le respect de la règle que la réalisation des objectifs de production, se référant à la notion d'obligation implicite. Ainsi, l'auteur a montré que les règles écrites formelles se doublent de règles invisibles correspondant à ce qu'attend l'encadrement des exécutants pour l'obtention des résultats.

Nous pouvons ajouter que dans certains cas, ce sont les membres de l'encadrement qui proposent eux-mêmes des aménagements de procédures qui diffèrent du cadre prescrit par le concepteur.

Ainsi, il est nécessaire de démontrer que ce type d'activités semble plutôt orienté dans le sens d'un bénéfice pour la production en ayant :

- d'une part, un effet de "barrière" permettant de réduire la fragilité du système en évitant ou bloquant l'apparition des certaines perturbations (Fadier et al 2000),

- d'autre part, en agissant comme une solution permettant de réduire le temps d'arrêt du système (lorsque les opérateurs n'ont pu éviter l'occurrence de la perturbation).

**Ces activités ne sont en aucun cas développées dans le but de nuire au système.** Elles peuvent être assimilées, de ce point de vue, aux violations routinières définies par Reason (1993).

Cette analyse dysfonctionnelle a donc été approfondie par une mise en graphe causal des différents événements conduisant à un arrêt de la production et identifiés lors de la réalisation de l'AMDEC simplifiée.

#### **IV.5. Etape IV : Analyse causale des dysfonctionnements**

L'AdD a donc été construit à partir des données issues des résultats des trois étapes précédentes et en prenant en compte à la fois les cahiers de suivi de production, les commentaires apportés par les opérateurs (qui ont une connaissance et une certaine expérience du système) et les résultats issus des étapes précédentes. Il a été réalisé dans le cadre de l'analyse concernant la M3000 uniquement.

En fait, par manque de données formelles et de temps, il n'a pas été possible de réaliser d'AdD au niveau des systèmes M601 et M602. Néanmoins, ces systèmes faisant appel à la même technologie et étant de plus petite taille, nous considérons que les résultats auraient été équivalents, en ne considérant qu'une seule bande papier (donc moins de coupes).

Ce type d'analyse exige également d'être le plus exhaustif possible lors de la recherche des événements potentiellement préjudiciables à la ligne, voire même d'avoir une vision pessimiste du fonctionnement.

En réalité, nous voulons montrer que la ligne étant sujette à de nombreux incidents potentiellement préjudiciables, l'intervention humaine (anticipation d'incidents, récupération d'aléas...) est une nécessité pour assurer la continuité du fonctionnement ; cela correspond notamment à la mise en œuvre de certaines activités spécifiques comportant des risques.

La Figure 34 présente un extrait de cet arbre, le reste de l'AdD figure en Annexes 5.

Le choix de l'événement sommet "*Arrêt incidentel de la production*" a été guidé par le fait que cet événement est évidemment le plus préjudiciable au système pour différentes raisons :

- chaque arrêt implique un calage qui lui-même induit une perte de temps, une perte de papier, donc une perte financière,
- chaque arrêt peut entraîner des opérations de "compensation" de la part des opérateurs: selon le type d'arrêt, les opérateurs peuvent être amenés à procéder à des tâches de déboufrage, de nettoyage...

On comprend alors la motivation des opérateurs qui, conscients de l'indisponibilité du système, mettent en œuvre des activités pour éviter par tous les moyens ce type d'arrêt. **Ils se retrouvent en fait au centre d'une double contrainte** : d'un côté, ils se heurtent à la logique du concepteur pour laquelle c'est la fiabilité technique qui prime, laissant de côté certains aspects essentiels liés à l'utilisation par les opérateurs du système ; de l'autre, ils se heurtent à la logique de l'encadrement pour laquelle c'est le rendement qui compte, en ignorant justement les problèmes liés à l'indisponibilité du système.

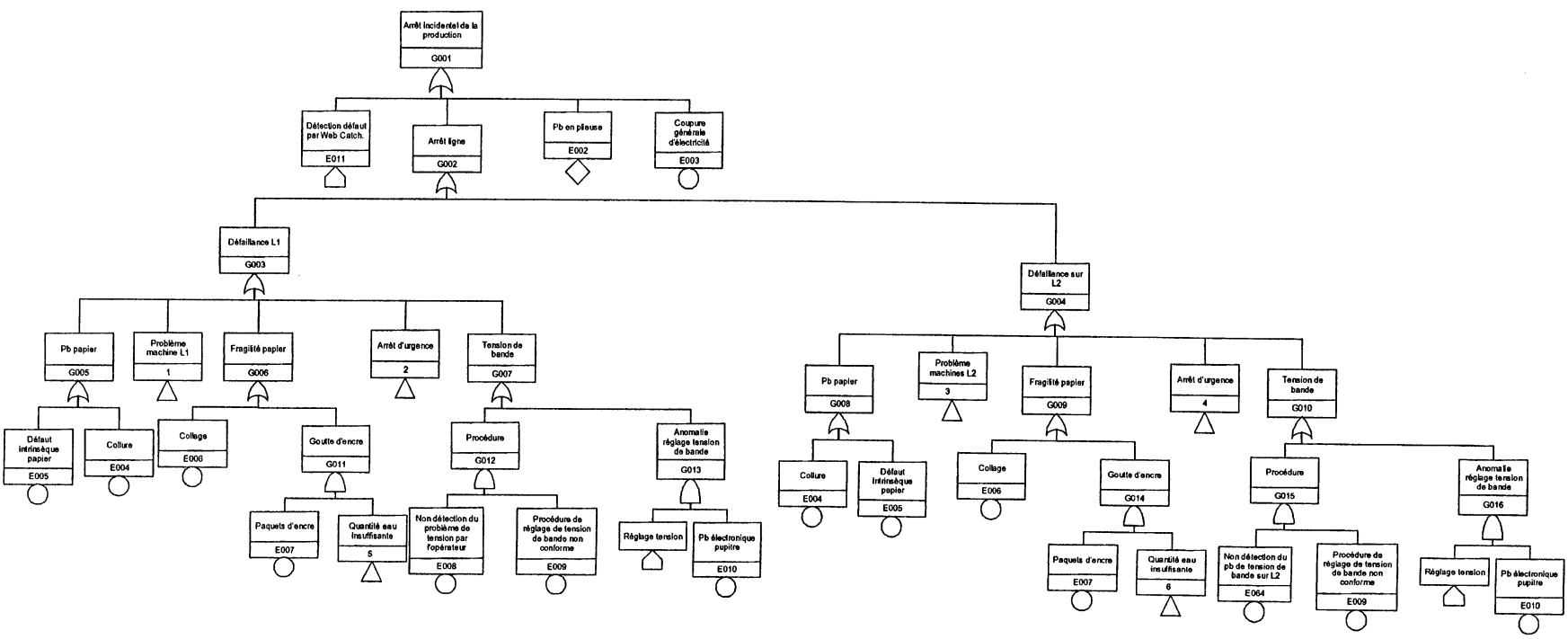


Figure 34 : Extrait de l'ADD – Sommet "Arrêt incidentiel"



Concernant la construction de l'AdD, **nous n'avons pas détaillé les modes de défaillances relatifs à la plieuse**, parce que nous n'étions pas en mesure de pouvoir le faire étant donné le manque de temps et de données... Néanmoins, ce composant a été pris en compte globalement et ses défaillances figurent dans l'arbre sous la forme d'un *événement intermédiaire à développer* (symbolisé par un losange). Par ailleurs, nous sommes conscients que cet organe est un des plus sensibles de la ligne par rapport à nos observations et discussions avec les opérateurs et des membres de la société Heidelberg. Cependant, nous n'avons pas pu le démontrer formellement compte-tenu de sa complexité.

Dans le but d'exploiter entièrement cette construction, nous avons réalisé un traitement qualitatif qui consiste à retrouver les scénarios conduisant à l'événement sommet (Tableau 14). Les coupes minimales obtenues sont d'ordre 1 à 4, c'est à dire :

- Des scénarios comprenant un seul événement (ordre 1),
- Des scénarios nécessitant la conjonction de deux événements (ordre 2),
- Des scénarios nécessitant la conjonction de trois événements (ordre 3),
- Des scénarios nécessitant la conjonction de quatre événements (ordre 4).

Nombre total des coupes	327	100%
Coupes d'ordre 1	247	76%
Coupes d'ordre 2	40	12%
Coupes d'ordre 3	16	5%
Coupes d'ordre 4	24	7%

Tableau 14: Récapitulatif des coupes obtenues

Chaque coupe a fait l'objet d'une analyse afin de différencier leur nature.

Le traitement de l'arbre a permis d'obtenir un total d'au moins<sup>21</sup> **327 coupes minimales** (Tableau 14), c'est à dire 327 scénarios conduisant à un arrêt de la production. Cela revient à dire qu'un opérateur face à un arrêt a au moins 327 hypothèses de travail à explorer par un moyen ou un autre avant de trouver la cause directe ayant entraîné cet arrêt.

**76% des coupes sont d'ordre 1.** En d'autres termes, le système fait preuve d'une grande fragilité puisque l'occurrence d'un seul de ces 247 événements provoque directement un arrêt.

---

<sup>21</sup> Etant donné que les défaillances relatives à la plieuse n'ont pu être développées.

Pour 12% des coupes, il est nécessaire de combiner deux événements pour qu'un arrêt de la production survienne. On ne dénombre que 16 coupes d'ordre 3 et 24 coupes d'ordre 4.

Il ne nous a pas été possible de réaliser une évaluation probabiliste sur la fréquence d'apparition des événements (manque de données). Cependant, nous avons essayé de distinguer l'origine de chacun des scénarios, dans le but de mieux comprendre les facteurs provoquant un arrêt. Nous avons dans ce cadre, trié les différentes coupes obtenues.

Cela nous a permis d'une part, d'établir que **les opérateurs ont eu une implication dans environ un tiers des scénarios** (Tableau 15). Ces interventions sont du type : "plaque d'impression insuffisamment tendue sur le cylindre", "oubli de nettoyage des cellules de détection par l'opérateur", "placement des coupes non conforme"...

Ceci montre que **malgré une automatisation importante du système, l'intervention humaine reste déterminante pour un fonctionnement continu**. On voit en effet que le processus repose sur de nombreuses tâches de préparation, de réglage et de contrôle qui indiquent que le système est de type semi-automatisé (sans l'opérateur, il ne peut pas fonctionner).

Par ailleurs, d'autres **problèmes non liés à l'exploitation proprement dite de la ligne** ont été identifiés, notamment des **problèmes de type organisationnel (au sens large)** qui viennent se greffer à ces difficultés, par exemple : "rupture de stock de papier", "manque de maintenance"... A priori ces difficultés ne concernent pas directement la conception de la machine et doivent être résolus à un niveau interne à l'entreprise. Elles représentent 3% des scénarios induisant un arrêt de la production.

Enfin, **les problèmes intrinsèques au système** (= machine et consommables) représentent 65% des scénarios conduisant à un arrêt (Tableau 15) : problèmes électroniques ou mécaniques.

Compte-tenu du nombre et de la diversité des scénarios figurant dans l'arbre, beaucoup d'entre eux ne sont pas diagnostiqués par les opérateurs (par manque de connaissances, de temps pour réaliser le diagnostic puis trouver une solution adéquate et parce que cela nécessite des efforts cognitifs). De ce fait, "par facilité" (caractéristique des violations routinières) et dans le souci de respecter les impératifs de rendement, les opérateurs ont tendance à remettre en cause l'efficacité des cellules électroniques qui, selon eux, se déclencheraient trop souvent et

provoqueraient des arrêts intempestifs à répétition. Il faut remarquer que les systèmes comportent énormément de fonctions électroniques. Cette neutralisation permet à court terme dans certains cas de continuer à produire, mais c'est au détriment d'éventuelles dégradations matérielles (par exemple, les cellules de la plieuse permettent d'arrêter le système avant qu'un bourrage<sup>22</sup> de papier trop important ne survienne).

En règle générale, le diagnostic des opérateurs est biaisé par cette fausse remise en question des fonctions électroniques : dans le doute, il est plus simple d'accuser les cellules, plutôt que de procéder à une recherche plus poussée sur les organes mécaniques. Par exemple, lorsque l'origine d'un arrêt reste inexpliquée (pas de défaut d'impression, pas de signalement spécifique sur les pupitres), les opérateurs remettent en cause la fiabilité du web-catcher.

La difficulté vient également du fait que tout ce qui fait partie de l'électronique peut être qualifié "d'invisible", contrairement aux fonctions mécaniques, qui elles, sont *matérialisables* concrètement (on peut voir qu'une lame de coupe est usée, par contre il est plus délicat de savoir si une cellule est victime d'un faux contact). De plus, théoriquement, les opérateurs n'ont pas accès aux armoires électroniques et d'ailleurs, la maîtrise des fonctions électroniques exige des connaissances spécifiques que les opérateurs-rotativistes ne possèdent pas.

Type de coupe	Nombre	Proportion
Coupes avec implication humaine	103	32%
Coupes de nature organisationnelle	10	3%
Coupes liées à des problèmes intrinsèques au système	214	65%

Tableau 15 : Nature des coupes

Cependant, ces résultats ne semblent pas refléter les résultats récents dégagés par Hollnagel (2001) concernant l'évolution de l'origine des accidents<sup>23</sup> sur les systèmes complexes comportant des interactions homme-machine. La Figure 35 représente en effet, l'évolution (approximative) des facteurs d'accidents sur une période de 50 ans : au début des années 1950, les accidents étaient essentiellement dus à des problèmes techniques, puis au fur et à mesure les causes se sont déplacées et les accidents trouvent désormais essentiellement leur origine au niveau de problèmes liés à la fiabilité humaine et on note également une progression non négligeable de causes de type organisationnel.

---

<sup>22</sup> Un bourrage de papier implique de fortes pressions qui à la longue détériorent les organes internes de la plieuse.

<sup>23</sup> Même si dans notre cas, l'étude ne concerne que des incidents provoquant un arrêt de la ligne, et non des accidents.

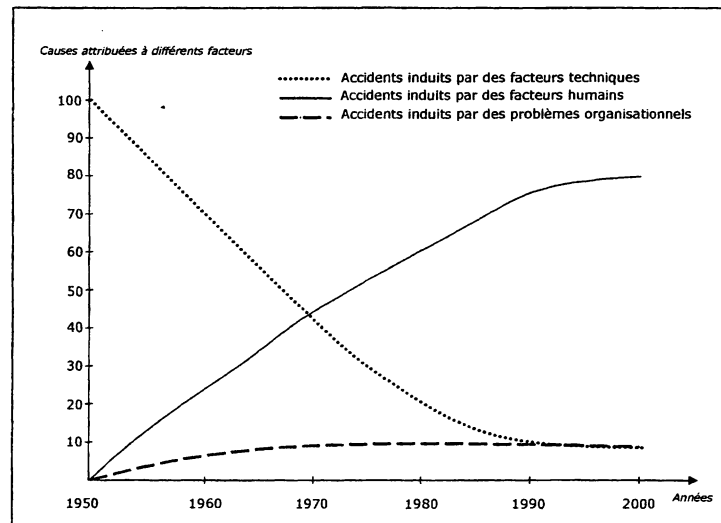


Figure 35 : Evolution de la répartition de la causalité des accidents d'après Hollnagel (2001)

En réalité, si les facteurs d'accidents ont évolué de cette façon, c'est surtout en raison d'une complexité accrue des systèmes, mais néanmoins nécessaire pour faire face à une concurrence grandissante (nécessité d'être compétitif). Les systèmes sont donc devenus de plus en plus sophistiqués faisant appel à des technologies variées dont l'électronique qui permet d'automatiser certaines tâches ingrates ou physiquement difficiles pour les opérateurs. Les systèmes "modernes" sont donc constitués de différents sous-systèmes dont les interfaces ne font pas toujours preuve d'un fonctionnement optimal. Ce constat induit en particulier des difficultés de pilotage (opacité des systèmes, difficultés de diagnostic, maîtrise de différentes technologies...), c'est notamment ce que Bainbridge (1982) a appelé les *ironies de l'automatisation*. On constate alors une modification de la nature du travail pour laquelle l'activité mentale prédomine.

L'opérateur a donc vu sa responsabilité démultipliée, ainsi que le poids de ses erreurs, d'autant plus qu'il doit le plus souvent intervenir en mode dégradé (sa mission consiste à rétablir le fonctionnement normal du système automatisé).

Ces systèmes se caractérisent donc par une importance de la conduite à distance, de la communication, des interfaces homme-machine, des consignes et des procédures; ainsi que par des facteurs externes au système en lui-même, du type organisationnel.

Si l'on fait une comparaison avec les données relatives aux rotatives, on se rend compte qu'elles ne suivent pas totalement cette évolution : même si les problèmes liés à l'intervention humaine occupent une part non négligeable (32 %), ils restent néanmoins inférieurs aux

problèmes de type technique (65 %). Cela peut notamment s'expliquer par le fait que les systèmes font preuve d'une certaine instabilité au niveau du processus qui est beaucoup plus pénalisante que les problèmes liés au pilotage, puisque de nombreuses tâches restent encore à la charge des opérateurs (les contrôles d'impression, certains réglages, la mise en place des consommables tels que le papier ou les lames de plieuse...). De plus, le système n'est pas totalement opaque, les opérateurs peuvent se rapprocher de certaines zones lorsqu'ils doutent de leur fiabilité, il n'y a pas à proprement parler d'éloignement physique de l'opérateur par rapport au système.

De plus, l'étude menée par Hollnagel porte sur des accidents (données déterministes) alors que notre analyse se situe plutôt dans le domaine probabiliste (aucun accident n'a été analysé).

Puisque nous nous situons dans le domaine des systèmes semi-automatisés, il est important de préciser que les rotatives d'imprimerie sont pilotées et régulées par l'intermédiaire de deux niveaux principaux de détection de défauts, utilisables par les opérateurs : le pupitre de commande et le contrôle visuel de l'impression.

- *Le contrôle depuis les pupitres*

Du fait de cette automatisation, de nombreux défauts intrinsèques à certains composants peuvent être identifiés à partir du pupitre de contrôle du système : si un défaut mécanique survient au niveau d'un groupe, l'opérateur a la possibilité de le localiser via différentes interfaces de façon précise.

En réalité, si l'on analyse le principe des pupitres, on s'aperçoit que l'on peut faire une analogie avec le principe de construction d'un AdD. Cela s'explique par :

- le fait que sans les pupitres, le diagnostic à réaliser par les opérateurs pour retrouver l'origine de l'arrêt, correspond en quelque sorte, à la reconstitution d'un scénario d'un AdD, avec tous les événements intermédiaires qui s'y rapportent.
- avec le pupitre, les défauts apparaissent sans que les opérateurs n'aient besoin d'une réflexion approfondie, le concepteur a procédé en quelque sorte à une réduction des coupes et ils ne donnent que les coupes minimales (arbre simplifié). Cet élément est illustré par la Figure 36.

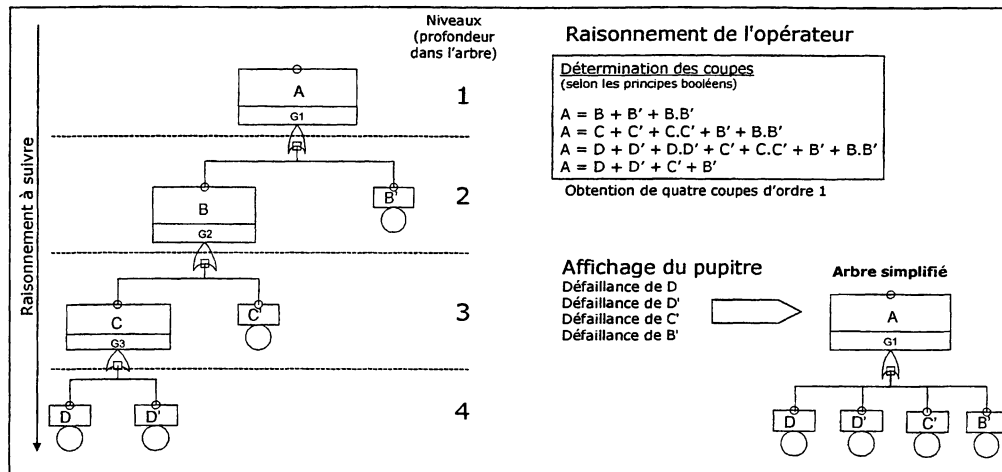


Figure 36 : Deux logiques de localisation des défauts

On voit donc à partir de la détermination des coupes, que le concepteur a procédé à une réduction de l'arbre par l'intermédiaire des pupitres, car l'affichage final au niveau du pupitre correspondra soit au signalement de la défaillance D, soit à celui de la défaillance D', soit à celui de la défaillance C', soit à celui de la défaillance B'.

Les événements intermédiaires n'apparaissent plus.

Le concepteur a donc réussi à faciliter le diagnostic pour les opérateurs à condition qu'ils maîtrisent ces interfaces. Ainsi, la rapidité de diagnostic permet généralement d'éviter une perte de temps, élément crucial du processus de production. Néanmoins, cette réduction induit quelques biais, notamment une perte progressive de la faculté d'expertise des opérateurs, et donc une érosion du savoir sur le système (Miller, 1993 ; Grosjean, 1999). De ce fait, on peut se demander si l'opérateur parviendra à conduire la ligne si le pupitre tombe en panne.

- Le contrôle visuel par les défauts d'impression

Nous venons de traiter les événements relatifs à des défauts mécaniques, en général bien identifiables par le système. Cependant, d'autres événements ne sont pas détectables par les pupitres, notamment les défauts d'impression (goutte d'encre, défaut de coupe...).

Les opérateurs doivent alors procéder à un diagnostic aux vues des cahiers qui sortent de la machine, pour pouvoir anticiper ou parer ces événements directement sur la ligne en fonctionnement. Cela leur permet d'éviter l'arrêt en procédant à un réglage adéquat.

Le diagnostic des opérateurs face à certaines défaillances n'est pas immédiat, il est nécessaire de procéder à un raisonnement et par élimination pour déterminer la cause de l'arrêt.

Cependant, on a pu remarquer que grâce à leur expérience et aux vues du résultat de l'impression, les opérateurs parviennent en général à diagnostiquer assez rapidement ce genre

d'aléas : ils procèdent à des "raccourcis", selon le modèle de Rasmussen (1986), qui semblent plutôt basés sur des automatismes (skill-based), dans le sens où l'activité semble contrôlée par des configurations mémorisées d'instructions préprogrammées et représentées comme des structures analogues dans un domaine "espace-temps".

L'élément principal qui ressort de cette analyse est **la grande fragilité de la ligne** (327 coupes minimales dont 247 d'ordre 1) qui démontre que l'intervention humaine est une nécessité et peut correspondre à la mise en œuvre d'activités dont certaines correspondent à des "*activités spécifiques*". Cela reste corrélé avec les résultats du Tableau 12 qui ont montré que malgré les différents aléas dont il peut être victime, le système fonctionne néanmoins dans les tolérances pour 60 % de son temps d'ouverture. Ce pourcentage serait certainement plus faible si les opérateurs respectaient totalement les prescriptions.

#### IV.6. Description des *activités spécifiques* observées

L'analyse des situations observées nous a alors permis d'identifier, de formaliser et de définir des activités spécifiques comportant des caractéristiques définies en concertation avec les différents membres du groupe de projet GIPC PROSPER (c'est à dire en concertation avec les différentes équipes intervenant sur le terrain) :

- ces activités sont réalisées en dehors des prescriptions,
- elles sont réalisées dans le sens d'un bénéfice pour la production,
- elles impliquent un risque pour l'opérateur et/ou pour le système : on considère en fait que l'échec de "*l'activité spécifique*" pourrait provoquer un incident ou un accident,
- elles sont en général tolérées par les opérateurs et l'encadrement,
- elles font généralement appel à une construction implicite de sécurité de la part des opérateurs concernés : sachant que c'est une action dangereuse, les opérateurs vont s'auto-protéger par différents moyens,
- elles font parfois appel à des modes ajoutés.

C'est chemin faisant, au fur et à mesure de nos observations que ces critères se sont affinés.

Nous pouvons à présent décrire quelques unes de ces *activités spécifiques* identifiées sur le terrain selon ces différents critères.

#### IV.6.1. Activités spécifiques réalisées en roulage

Nettoyage des blanchets alors que la ligne est en fonctionnement (observé sur tous les types de système).

Les opérateurs interviennent ainsi lorsqu'ils détectent des défauts d'impression répétitifs sur les cahiers imprimés, correspondant généralement à une salissure collée sur un des blanchets de l'un des groupes.

Le blanchet à l'origine de ce défaut étant repéré, **les opérateurs interviennent directement sur celui-ci alors qu'il est encore en rotation, en passant à la main un chiffon permettant d'évacuer la salissure.**

Théoriquement, les opérateurs doivent soit déclencher un lavage automatique des rouleaux en marche<sup>24</sup>, mais cela induit une certaine perte de papier ; soit arrêter la ligne (en cas de persistance de la salissure) pour faire un nettoyage à la main dont voici la procédure prescrite par le concepteur qui figure dans les manuels sous l'appellation "*Méthode d'intervention sans danger*" :

*"Cette méthode est exposée en détail dans ce manuel chaque fois qu'une procédure liée au fonctionnement ou à la maintenance du matériel exige une rotation des rouleaux et/ou des cylindres à l'intérieur d'un élément de la rotative :*

- 1) *Enfoncez le bouton ARRET D'URGENCE.*
- 2) *Pliez le chiffon de façon à former un coussinet et à éviter toute extrémité flottante. Maintenez-le sur le côté du rouleau ou du cylindre, à distance de la zone d'avalement des rouleaux ! Veillez à ce que vos doigts ne dépassent pas du bord du chiffon.*
- 3) *Effectuez l'opération requise sur la surface exposée du rouleau ou du cylindre (nettoyage, séchage, gommage, etc.). Si cette opération exige l'utilisation de produits chimiques, porter des gants caoutchoutés jetables. Choisissez-les ajustés.*
- 4) *Tirer le bouton ARRET D'URGENCE.*
- 5) *Tenez-vous à distance de l'élément, puis appuyez sur le bouton MARCHE PAR APPUI MAINTENU.*
- 6) *Enfoncez le bouton ARRET D'URGENCE.*
- 7) *Effectuer l'opération requise sur la ou les surface(s) exposée(s).*
- 8) *Répétez les étapes 1 à 7 jusqu'à ce que les surfaces aient été entièrement traitées."*

---

<sup>24</sup> Les blanchets sont équipés de "brosses" qui peuvent être déclenchées pour nettoyer automatiquement leur surface.



L'activité réalisée ne suit pas ces instructions et correspond de ce fait à un dépassement du prescrit.

**Les objectifs (bénéfices recherchés) de l'activité sont :** limiter les pertes (papier, encre) - gagner en efficacité de nettoyage (car d'après les opérateurs le lavage automatique permet rarement d'éliminer totalement la salissure) - éviter un arrêt de la machine et donc gagner du temps.

**Les risques<sup>25</sup> sont :** une casse de la bande papier (donc un arrêt pénalisant la production) - un entraînement du chiffon entre les cylindres pouvant provoquer soit une dégradation du matériel due aux contraintes induites par le passage du chiffon, soit un entraînement des doigts de l'opérateur qui peuvent être pincés.

**La construction de sécurité par les opérateurs consiste en :** une façon spécifique de tenir le chiffon dans la main (en boule serrée, en rentrant les doigts) et de le positionner par rapport à la rotation des organes – seuls le premier et les seconds conducteurs réalisent cette manipulation qui nécessite de l'expérience et des connaissances spécifiques – une vigilance accrue du fait d'une conscience des risques engendrés.

C'est une *activité spécifique* invariante dans le sens où elle a été observée sur tous les sites d'exploitation analysés par le groupe de travail.

Nous avons procédé à une recherche des **facteurs favorisant la réalisation d'une telle action :**

- la production urgente d'ouvrages : caractéristique du milieu de l'imprimerie,
- le coût associé à un arrêt de la ligne : rentabilité,
- le fait que le lavage automatique ne soit pas suffisamment efficace et induise beaucoup de pertes (papier, encre) : problème de conception,
- les consommables<sup>26</sup> : il semble que certains ouvrages (tel que des revues hebdomadaires "bas de gamme", des prospectus) soit plus sujets à ce type de salissures, car ils sont bien souvent de mauvaise qualité (réduction des coûts) : problème de robustesse,
- la possibilité d'intervenir de cette façon sur les rouleaux d'impression : aucun dispositif n'empêche l'opérateur de réaliser cette manipulation. Néanmoins, une barre de protection

---

<sup>25</sup> Les risques concernent à la fois le système et les opérateurs en lien avec la caractérisation qui a été établie dans la première partie. Ils sont classés du moins grave au plus grave.

<sup>26</sup> C'est le client qui définit les consommables à utiliser (papier et encre).

est placée au point de tangence des deux rouleaux, afin d'empêcher au maximum le coincement des doigts.

On constate par cette analyse que cette *activité spécifique* est le fruit d'une conjonction de circonstances liées à la dynamique de production (donc difficilement envisageable par le concepteur) et d'éléments physiques introduits à la conception (en l'occurrence l'inefficacité du lavage automatique et la possibilité d'intervenir physiquement de cette façon).

Ce genre d'activités est bien souvent méconnu du concepteur qui a du mal à envisager les circonstances dans lesquelles sera immergé le futur système ; il lui est donc difficile de pouvoir les anticiper dans l'état actuel de ses connaissances et sans méthodologie appropriée puisque l'on a vu dans le chapitre II que le concepteur ne mène pas de réflexion globale sur l'utilisation future du système. Sa démarche est essentiellement basée sur les normes et autres documents ainsi que sur des modalités implicites individuelles.

Par ailleurs, au niveau de l'exploitation, ce genre d'activités a la particularité d'être généralement connu par l'encadrement qui les tolère implicitement, puisque d'une part, elles vont dans le sens de la production (c'est à dire sans volonté de nuire au système) d'autre part, généralement aucun ou peu d'accidents ont été constatés. Elles posent néanmoins le problème de la responsabilité dans le cas contraire.

#### ***IV.6.2. Activités spécifiques réalisées alors que le système est à l'arrêt***

##### *Cas de l'intervention simultanée de trois opérateurs dans la plieuse (cas de la M3000)*

Lors de la production, les opérateurs avaient détecté un bruit anormal dans la plieuse (des frottements anormaux). C'est au cours d'un bourrage papier qu'ils ont saisi l'opportunité d'observer l'endroit où se situe le défaut, puis débarrasser la plieuse. Pour cela, ils doivent accéder à l'intérieur de la plieuse. La zone en question est constituée de différents organes mobiles et courroies qui sont protégés par deux protecteurs amovibles (deux portes).

Les manipulations dans la plieuse ne sont en principe possibles que lorsqu'il n'y a qu'une seule personne qui actionne les boutons poussoir d'avance lente des organes quand une seule des portes est ouverte (ce sont des commandes d'éloignement des mains).

Dans la situation observée, trois opérateurs manipulaient simultanément la plieuse :

- un opérateur enfonçait les boutons poussoir pour permettre l'avance lente des différents organes internes du système,
- deux opérateurs se trouvaient aux deux ouvertures de la machine pour observer et débourrer le papier.

Pour pouvoir accéder à une telle manipulation, les opérateurs sont munis de passes qui permettent de neutraliser la sécurité empêchant l'ouverture simultanée de deux portes.

D'après les témoignages recueillis, cette manipulation est nécessaire, car il est très difficile d'opérer à un déboufrage en manipulant seul le système.

**Les objectifs de l'activité spécifique sont :** gain de performance par réduction du temps d'arrêt de la ligne – recherche d'efficacité – facilité de diagnostic – évitement d'une position fatigante à moyen terme.

**Les risques sont :** coincement des doigts<sup>27</sup>.

**La construction de sécurité consiste en :** construction d'un référentiel opératif commun (les opérateurs réalisant cette manipulation travaillent ensemble journallement et possèdent donc les mêmes repères) – communication verbale entre les différents opérateurs – possibilité pour l'opérateur qui actionne les commandes de voir les mains des opérateurs qui manipulent dans la plieuse.

**La recherche des facteurs influençant ce type d'activité nous donne les éléments suivants :**

- la production urgente d'ouvrages (circonstances pratiquement invariantes),
- le coût associé à un arrêt de la ligne,
- la pénibilité du travail liée à cette activité induite conjointement par le positionnement des commandes et l'accès à la zone d'intervention,
- un sentiment de confort et de sécurité,
- la rapidité d'intervention (réduction du temps d'indisponibilité),
- la possibilité de neutralisation de certaines sécurités par les opérateurs, grâce à des « passes » spécifiques.

---

<sup>27</sup> Des accidents de coincements de doigts dans la plieuse ont déjà eu lieu, néanmoins, nous n'en connaissons pas les circonstances.

Dans ce cas également, c'est l'effet conjoint d'éléments contextuels associés à des éléments introduits par la conception qui induisent les opérateurs à réaliser une telle action.

#### ***IV.6.3. Activité spécifique réalisée indifféremment, système en marche ou système à l'arrêt***

##### *Cas de la descente rapide des escaliers (M3000)*

La conduite de la M3000 nécessite des montées et des descentes régulières et rapides d'escaliers étroits dont les marches sont escarpées et irrégulières. Nous avons observé que pour les descendre, les opérateurs posent les mains sur les rampes et glissent sans forcément poser les pieds sur les marches, comme s'ils se trouvaient dans un sous-marin.

La théorie voudrait que les opérateurs descendent ces escaliers marche après marche.

**Les objectifs de l'activité sont** : essentiellement une recherche de rapidité des déplacements pour rentabiliser la ligne (se dépêcher dans le but d'éviter un arrêt si le système est en roulage, ou bien dans le but de raccourcir un arrêt effectif) – éventuellement une recherche de confort (il semblerait que cette technique nécessite moins d'effort).

**Les risques sont** : de toute évidence des risques de chute et une fatigue excessive à long terme.

**La construction de sécurité consiste en** : essentiellement le fait que cette pratique est devenue routinière, donc existence d'une certaine maîtrise (mais impliquant évidemment des biais).

**Les facteurs favorisant** cette activité sont donc :

- la production urgente d'ouvrages,
- en amont de l'exploitation, les facteurs de migration sont à rechercher au niveau du CdC conclu entre le concepteur et le client demandeur, ils sont directement liés au choix de l'implantation de la machine par rapport à la place disponible dans les ateliers (optimisation de l'espace par superposition des deux bandes),
- les escaliers extrêmement pentus constitués de marches étroites permettant une ascension plus directe, mais incitant à utiliser les rampes pour descendre plus vite.

Cette *activité spécifique* est donc le résultat de choix au moment de la conception, puis de l'installation définitive de la ligne en lien avec une demande spécifique de l'exploitant.

Il est à noter que nous avons recensé deux accidents survenus à cause des marches d'escalier pendant nos observations ayant pour conséquence une foulure de cheville et une autre de genou.

Il semblerait donc que ces conditions limites ne soient pas vraiment *tolérées à l'usage*, mais elles restent néanmoins tolérées par les opérateurs (qui malgré tout persistent à les descendre de cette façon) et l'encadrement, étant donné que pour l'instant aucune solution n'a été trouvée. C'est un point qui mérite une réflexion commune de la part du concepteur et de l'exploitant.

Ces trois *activités spécifiques* ont été réalisées au cours de la dynamique opérationnelle du système : les opérateurs n'ont pas le choix, s'ils veulent assurer un fonctionnement optimal, ils doivent prendre des décisions rapides.

Par ailleurs, nous avons relevé une autre classe d'*activités spécifiques* qui ne dépendent pas directement de la dynamique de fonctionnement puisqu'elles sont le fruit d'une décision prise au niveau de l'encadrement, dont voici un exemple.

#### ***IV.6.4. Activité spécifique induite par une décision de l'encadrement***

##### *Cas du travail en sous effectif (M3000)*

Le nombre d'opérateurs requis pour la conduite d'une ligne est défini, comme nous avons pu le voir dans l'analyse. Cependant, nous avons observé des situations au cours desquelles il manquait un opérateur dans l'équipe de conduite. Dans ce cas, tel qu'on l'a expliqué auparavant, les postes se décalent et l'équipe se réorganise. Toutefois si un intérimaire ne vient pas en remplacement ou bien, si aucun conducteur d'une autre équipe ne peut venir combler ce poste manquant, l'équipe fonctionne en sous-effectif. En réalité, c'est une décision qui appartient à l'encadrement.

**Les objectifs de l'activité sont** : éviter la fermeture de la ligne le temps de trouver un remplaçant.

**Les risques sont** : nombreux et variés pour les opérateurs puisque la conduite de la ligne devient alors très contraignante pour les opérateurs présents en augmentant la charge de travail (physique, mentale) – le référentiel opératif commun est altéré.

**La construction de sécurité consiste en :** équipe formée pour faire face à des réorganisations – vigilance.

Dans ce cas, **les facteurs favorisant l'activité** sont :

- production urgente d'ouvrages,
- la décision de l'encadrement de maintenir l'exploitation de la ligne,
- une conduite qui ne peut être efficace et sans risque qu'en présence du nombre d'opérateurs requis, aucune adaptation de pilotage n'a été prévue par le concepteur (du type pilotage automatique).

Au total vingt et une *activités spécifiques* ont été recueillies dont certaines se sont réalisées sur les deux terrains.

Nous avons constaté que deux grandes catégories se dégagent de la diversité des activités observées : d'une part les activités spécifiques qui sont **initiées par des décisions propres aux opérateurs** (c'est à dire sans en référer à l'encadrement, ce sont des décisions instantanées), d'autre part les celles qui sont **initiées par des décisions de l'encadrement** et qui se répercutent directement sur l'activité des opérateurs.

Nous avons procédé à une description de toutes les *activités spécifiques* que nous avons observées sur les deux terrains (imprimerie A et imprimerie B), sous la forme de fiches signalétiques, regroupant différents "critères" :

- le système sur lequel s'est produite cette activité,
- la phase de fonctionnement dans laquelle se trouvait le système,
- la description de l'activité telle que nous l'avons observée sur le terrain,
- les objectifs visés par les opérateurs, vus sous l'angle d'un bénéfice,
- les risques encourus par cette activité : c'est à dire ce que l'opérateur peut subir si jamais l'*activité spécifique* se passe mal et tourne à l'accident ou bien ce qu'il accepte de subir (c'est à dire des nuisances) du moment que son objectif est atteint,
- la construction de sécurité, c'est à dire un moyen d'autoprotection (indépendant des mesures préconisées par le concepteur) développé par les opérateurs lors de la réalisation de l'*activité spécifique* en fonction de leur savoir-faire,

- la recherche des facteurs favorisant l'*activité spécifique* : nous avons essayé d'identifier les facteurs déterminants (contextuels, matériels...) qui incitent les opérateurs à agir de cette façon, alors que des procédures prescrites existent normalement.

Les *activités spécifiques* que nous décrivons ont été différenciées selon ces deux grandes familles et les "fiches signalétiques" figurent en Annexes 6.

Nous avons par ailleurs identifié des activités particulières qui ne semblent pas présenter de risque a priori et que nous avons identifiées en tant que *catachrèses*, dans le sens où elles résultent de modes opératoires créés par les opérateurs et n'engendrent apparemment pas de risque pour eux, ni pour le système. Ce sont généralement des petites astuces qui améliorent la performance du système. Elles créent des améliorations là où le concepteur :

- soit, n'avait pas trouvé ou proposé de solution, par non connaissance de l'existence de ce manque,
- soit, a introduit des inadéquations entre une solution de sécurité (qui s'avère inutile) et la tâche à accomplir.

Il est également important de signaler qu'étant donné la durée des observations, rien ne nous garantit l'exhaustivité ou la représentativité des *activités spécifiques* identifiées. Par ailleurs, nos observations étaient assez aléatoires, dans le sens où il arrivait parfois que les opérateurs se trouvaient en attente de plaques pendant plusieurs heures, donc non productifs au sens strict du terme (comme nous l'avons précisé par ailleurs ces attentes sont optimisées par différentes tâches de nettoyage ou de maintenance).

Ces deux éléments constituent les biais classiques induits par l'observation de terrain, on ne peut jamais être certain que les situations observées reflètent toute la réalité.

#### IV.7. Synthèse sur l'analyse par MAFERGO

Pour conclure, nous soulignons tout d'abord que ces différents résultats ont été établis en fonction des données dont nous disposions. C'est pour cette raison qu'il a été nécessaire d'adapter la démarche de MAFERGO. Le Tableau 16 présente les outils que nous avons pu mettre en œuvre de façon effective et les résultats obtenus par chacun d'entre eux.

Etapes	Domaines	Outils	Résultats
<b>Etape 1 :</b> Analyse structuro-fonctionnelle	Fiabilité	Diagrammes blocs	Mise en évidence des liens structuro-fonctionnels : fragilité de la ligne
	Ergonomie	Analyse des manuels opérateurs	Identification des tâches prescrites
<b>Etape 2 :</b> Analyse opérationnelle	Fiabilité	Arbre d'événements Analyse de documents de suivi de production	Etude de la disponibilité et du "poids" de chaque composant de la ligne – mise en évidence du fonctionnement réel
	Ergonomie	Observations – interviews	Analyse du travail réel (mise en évidence de l'écart par rapport aux tâches prescrites)
<b>Etape 3 :</b> Identification des dysfonctionnements	Fiabilité	AMDEC simplifiée	Identification de la plupart des dysfonctionnements
	Ergonomie	Observations – interviews	Analyse des situations de prévention ou de récupération d'aléas, incidents
<b>Etape 4 :</b> Analyse causale des dysfonctionnements	Fiabilité	Arbres de Défaillances	Reconstitution des scénarios conduisant à un arrêt incidentel de la production : mise en évidence de l'intérêt des activités spécifiques
	Ergonomie		

Tableau 16: Adaptation de MAFERGO par rapport aux données disponibles

L'approche socio-technique induite par la démarche MAFERGO a permis d'identifier les risques en accord avec la caractérisation qui a été établie dans la partie I de ce mémoire. Les résultats ont en effet confirmé le fait qu'il est indispensable d'appréhender un système sous l'angle des interactions entre la dimension technique (concepts de la SdF) et la dimension humaine (santé/sécurité).

L'analyse de l'activité nous a par ailleurs permis de mettre en évidence l'indispensable mise en œuvre d'*activités spécifiques* permettant d'assurer une production convenable en palliant les différents incidents et/ou aléas.

Les exemples d'*activités spécifiques* explicités nous permettent d'en différencier deux natures : d'une part celles qui proviennent d'une décision de l'opérateur se trouvant face à un impératif de production (exigeant une réponse instantanée), d'autre part celles qui proviennent d'une décision de l'encadrement, mais qui se répercutent directement sur l'activité des opérateurs.



De plus, ces exemples mettent en exergue le fait que ces activités sont induites d'une part, par une dynamique de production et d'autre part, par des éléments introduits en phase de conception et/ou en phase d'implantation et émergeant à l'exploitation.

Ces activités montrent par ailleurs que la conception ne s'arrête pas au stade de la résolution du CdC, mais qu'elle se prolonge jusqu'en phase d'exploitation au cours de laquelle les opérateurs développent des activités permettant de mettre en adéquation un système et son contexte opérationnel.

Les *activités spécifiques* identifiées sur le terrain nous permettent d'alimenter une définition conceptuelle et d'identifier les facteurs qui les ont initiées, ces éléments feront partie des résultats développés dans la troisième partie de ce mémoire.

## V. SYNTHÈSE SUR L'ANALYSE DE RISQUES EN EXPLOITATION

Cette partie a permis de confirmer certains éléments identifiés à travers la littérature dans la première partie.

En effet, différents points clés ont pu être mis en évidence par rapport à nos partenaires industriels (Heidelberg et les deux imprimeries) (Figure 37) :

- Au niveau de la conception : lorsque l'on s'intéresse à la démarche de conception, on se rend compte que le concepteur n'utilise pas d'outils d'analyse de risques quels qu'ils soient, l'objectif premier est de répondre aux plus près aux exigences essentiellement technologiques du client. En ce sens, au niveau de la sécurité, la priorité est donnée à une obligation de moyens en lien avec les normes, enrichies par des connaissances individuelles propres à chaque acteur, des réclamations clients et différents documents internes. Il n'y a pas de réelle réflexion sur la situation de travail future probable. Nous avons également pu déceler des cas d'introduction de facteurs de migrations.
- Au niveau de l'implantation : nos observations nous ont confirmé que c'est une phase cruciale de la vie du système, au cours de laquelle l'activité de conception se prolonge. En effet, elle répond à différents critères significatifs de l'activité de conception tels que l'absence de chemin prédéterminé vers la solution, un espace de problèmes large et fluctuant... Dans ce cadre, elle contribue elle-aussi à l'introduction de facteurs de migration en lien avec les différentes difficultés rencontrées par les équipes de montages et les acteurs présents sur le site. En procédant à une opérationnalisation du système, elle

introduit un cadre de référence qui diverge de celui envisagé par le concepteur et qui conditionnera toute la vie opérationnelle du système et donc l'activité des opérateurs.

- Au niveau de l'exploitation : nous avons pu mettre en évidence que le pilotage d'un système complexe relativement instable et fragile est très contraignant, d'autant que les systèmes de sécurité sont peu souvent en adéquation avec les exigences réelles de travail (incidents, aléas...) et que les opérateurs sont soumis à une obligation implicite de production. Dès lors, nous avons pu identifier que les opérateurs développent des *activités spécifiques* leur permettant de sauvegarder une certaine productivité, tout en essayant de préserver leur propre sécurité et celle du système.

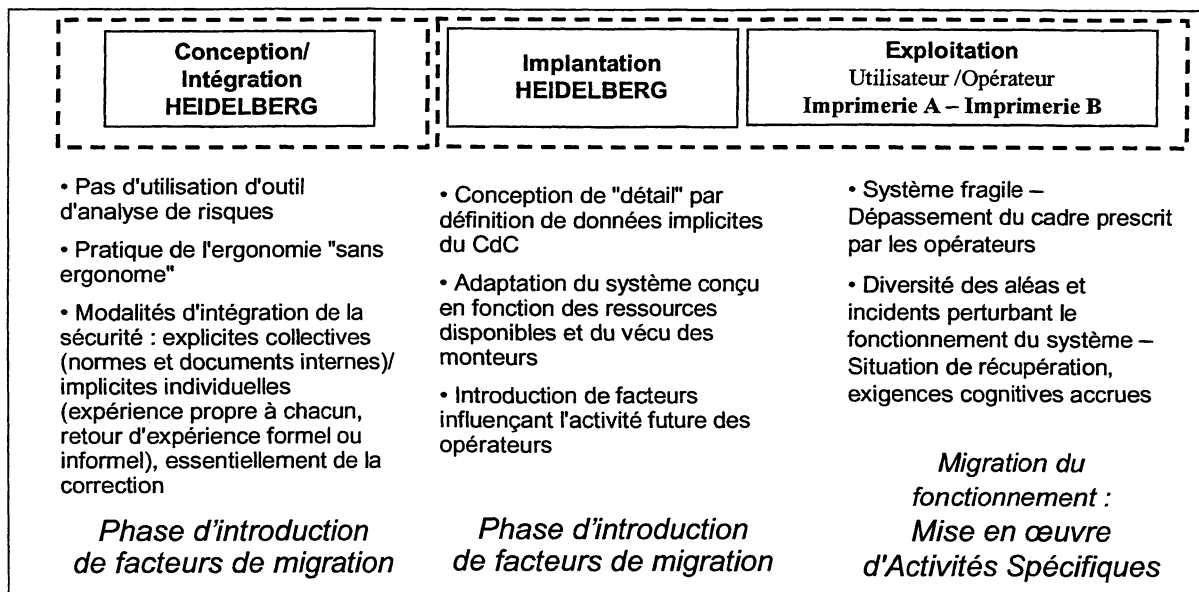


Figure 37 : Synthèse des données obtenues à chaque stade de l'analyse



---

**PARTIE III :**  
**ELEMENTS POUR UNE CONCEPTION PLUS SURE**

---



## INTRODUCTION

La partie II a permis de mettre en évidence que la conception comme l'implantation sont sources d'introduction de facteurs de migrations dont nous avons vu l'impact au niveau de l'exploitation.

L'objectif de la troisième partie consiste à définir les concepts associés à ces "*activités spécifiques*" et à chercher un moyen pour pouvoir traduire ces situations pour le concepteur afin qu'il les maîtrise, ou mieux qu'il les élimine.

Par ailleurs, une réflexion sera menée sur le caractère limitatif de ce que l'on considère comme étant la phase de conception, ne doit-elle pas s'élargir aux phases aval ? Ce changement de regard sur la conception nous amène à revoir les modalités des analyses de risques et à proposer en conséquence un aspect méthodologique innovant.

A travers les différents résultats obtenus, nous proposerons un modèle qui articule les différentes notions définies.

---

## Chapitre I : Des "*Activités Spécifiques*" aux Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)

---

La description des "*activités spécifiques*" réalisée dans la partie II de ce mémoire a permis dans un premier temps de montrer la diversité des situations observées par le fait qu'elles ont été réalisées au cours des différentes configurations de fonctionnement de la ligne (roulage, dépannage, calage), avec un nombre d'opérateurs variable, impliquant des risques divers et variés et par le fait qu'elles ne semblent pas initiées par les mêmes facteurs.

L'objectif de ce chapitre est de procéder à une analyse de chacune de ces "*activités spécifiques*", afin d'en définir le concept et surtout de pouvoir en déterminer les facteurs initiateurs qui constituent des éléments indispensables nécessitant d'être interprétés pour faciliter leur compréhension au niveau du concepteur et permettre leur éventuelle prise en compte dans le processus de conception.

### I. VERS UNE DEFINITION DES ACTIVITES LIMITES TOLEREES A L'USAGE (ALU)

#### I.1. Modalités de traitement des "*Activités Spécifiques*"

Dans le but d'identifier des critères significatifs caractérisant les *activités spécifiques* observées, nous avons procédé à la construction de tableaux en cherchant à établir plus spécifiquement :

- qui est à l'origine de cette activité, c'est à dire le commanditaire : opérateurs ou encadrement,
- quel est le "*taux de couverture*" de ces activités par l'encadrement : on cherche en réalité à savoir si ces activités sont connues de l'encadrement qui a tendance à les tolérer implicitement puisque d'une part, elles vont dans le sens d'une amélioration des performances et d'autre part, peu ou pas d'accidents ont été provoqués. Ce niveau de tolérance est très délicat à déterminer par conséquent, nous avons identifié trois niveaux : pas de tolérance, tolérance implicite (l'encadrement ferme les yeux), tolérance explicite (il est clairement stipulé que la manipulation est autorisée). Cette évaluation est réalisée en

fonction des entretiens que nous avons pu avoir avec les opérateurs et les membres de l'encadrement,

- nous avons précisé si cette activité a été réalisée collectivement (impliquant des processus d'entraide, coopération, collaboration...) ou individuellement,
- le bénéfice à court terme attendu par l'opérateur, c'est à dire l'objectif lié à la réalisation de l'*activité spécifique* (ce qui motive l'opérateur) et en contre-partie, les risques auxquels il s'expose au moment de la réalisation,
- l'impact à moyen terme d'une telle activité en terme de bénéfice et risque (donc à un niveau plus global),
- la position et le point de vue du concepteur face à ces activités, puisqu'elles correspondent à un dépassement du prescrit et dans certains cas, nous avons précisé les solutions existantes ou en phase d'élaboration.

Tous ces critères sont recherchés dans un double but :

- d'une part, construire une définition, puis une caractérisation des *activités spécifiques* sous la forme d'une typologie permettant de généraliser le concept,
- d'autre part, identifier les causes (facteurs/conditions) initiant ces activités, afin d'en dégager des éléments de compréhension utilisables par les concepteurs lorsqu'ils cherchent à résoudre les situations de conflit entre solutions techniques et sécurité.

Un exemple de ce type de tableau est donné ci-après (Tableau 17), les autres figurent en Annexes 7.



Conditions (éléments) favorisant l'apparition de	Activité observée	Initiateur/Commanditaire*		Taux de couverture de l'encadrement*			Réalisation*		Phase d'apparition*			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Op	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal	Dep	bénéfices	risques	bénéfices	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- la production urgente d'ouvrages</li> <li>- le coût associé à un arrêt de la ligne</li> <li>- difficulté de réaliser la manipulation seul : pénibilité du travail (position des commandes, accès à la zone)</li> <li>- sentiment de confort et de sécurité</li> <li>- rapidité d'intervention (réduction du temps d'indisponibilité)</li> <li>- possibilité de shunter avec un passe les différentes sécurités (protection)</li> </ul>	Intervention à plusieurs dans la plieuse	X			X			X			X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- confort</li> <li>- gain de temps au niveau du dépannage</li> <li>- gain financier de production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coïncement de la main si mauvaise coordination</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- si oubli de remettre les protections, risques d'entrer en interaction avec les organes en mouvement de la plieuse (pas d'arrêt automatique)</li> <li>- perte de la procédure de référence</li> <li>- risque accentué lorsque les opérateurs ne partagent pas le même référentiel opératif commun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- commande éloignée du lieu d'intervention (application des normes)</li> <li>- actuellement, il y a une réflexion pour rendre les commandes mobiles</li> </ul>

Tableau 17 : Traitement d'une Activité Spécifique observée dans l'imprimerie (A)

\* Op. : opérateur, Enca : encadrement, imp : implicite, exp : explicite, ind. : individuelle, col : collective, Rou : roulage, Cal : calage, Dep : dépannage.

## I.2. Définition du concept d'Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)

Nous rappelons tout d'abord que l'identification des "*Activités Spécifiques*" a été menée à partir de deux concepts essentiels :

- d'une part, le modèle de dérives décrit par Rasmussen (1997), selon lequel : sous l'influence de contraintes fortes vers l'efficacité, le comportement global d'une organisation va migrer aux frontières de certains "espaces" dans lesquels les risques d'accidents sont élevés,
- d'autre part, le cycle de vie du système à partir duquel nous supposons que les frontières partiellement définies à la conception vont évoluer à travers les différentes phases que va connaître le système (conception, implantation, exploitation). Cela correspond à une perte progressive du système de référence.

C'est à la fois à partir de la notion classique d'écart entre travail prescrit et travail réel issue de l'ergonomie et à la lumière du concept de Rasmussen (1997) qu'il nous a semblé opportun de nommer ces "*activités spécifiques*" des *Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)* dont nous donnons dès à présent une définition.

Comme nous venons de l'évoquer, le premier point crucial est que ces activités correspondent à **un écart entre le fonctionnement prévu par le concepteur (modes opératoires) et le fonctionnement réel** tel que les opérateurs le vivent au quotidien (activité réelle), c'est à dire le fonctionnement habituel avec ses aléas (organisationnels, contextuels...) et ses dysfonctionnements (techniques) que les opérateurs doivent pallier pour répondre à des objectifs de production prédéterminés.

La définition que nous avons élaborée s'est nourrie des différents tableaux de synthèse construits pour traiter les ALU, qui ont permis de mettre en évidence des éléments fondamentaux et que nous explicitons à présent.

Les ALU résultent en réalité de solutions que les exploitants (opérateurs et/ou encadrement) ont été contraints de mettre en place pour faire face à :

- **Des contradictions entre une solution technique de sécurité et la fonction de sécurité à assurer** : c'est le cas notamment de l'ALU concernant "*la neutralisation des cellules de détection au niveau du chargement automatique des bobines pour l'alimentation du dérouleur*". Cette solution technique de sécurité a été mise en place pour détecter la présence des opérateurs et empêcher une collision avec les chariots d'acheminement des bobines, mais c'est également une zone dans laquelle transitent des bobines qui elles aussi activent les cellules de détection à chaque passage.
- **Des écarts émergeant entre une conception d'un système standard et son adaptation accompagnée du concepteur sur un site spécifique** : c'est le cas en particulier pour la demande de superposition du système M3000 à deux bandes de la part de l'imprimerie (A) (pour optimiser l'espace), alors que des systèmes à bandes juxtaposées existent. Cette superposition implique des plates-formes et des escaliers qui posent des problèmes au niveau de l'activité des opérateurs, en terme de pénibilité (montées et descentes des escaliers suscitant de la fatigue) et de sécurité (risque de chutes important). Cette adaptation physique constituée par des étages, a incité les opérateurs à développer progressivement une régulation qui consiste à descendre les escaliers en glissant avec les mains sur la rampe.
- **Des contraintes fortes de production** : dans le domaine de l'imprimerie les délais sont fermes, surtout pour les ouvrages considérés de *dernière heure*, c'est à dire devant être livrés un à deux jours après la demande du client. Les exigences en terme de qualité sont également importantes puisque non seulement, le client choisit lui-même les consommables pour produire l'ouvrage (papier et encre), et décide du niveau acceptable de qualité des ouvrages. Pour cela, il inspecte systématiquement les ouvrages produits et ne donne son accord que lorsque le niveau de qualité lui convient (netteté, couleurs, plis), bien entendu ce niveau doit être maintenu pour toute la production.
- **Des solutions techniques non adaptées et/ou de solutions techniques insuffisamment robustes induisant des activités de récupération** : c'est par exemple le cas de l'ALU "*nettoyage de blanchet avec un chiffon en roulage*", car c'est bien suite à la détection d'une salissure sur le blanchet (événement à caractère incidentel) que l'opérateur décide de procéder ainsi, plutôt que suivre la procédure prescrite qui consiste à arrêter le système.

On perçoit bien à partir de ces exemples que les marges de manœuvre de l'exploitant sont très restreintes puisqu'il doit être capable de produire malgré toutes ces contraintes. Les seules possibilités qu'il lui reste concernent des adaptations au niveau des procédures et parfois même des éléments techniques ainsi que le maintien à un niveau élevé du rythme de travail par les opérateurs (accentuant la fatigue et les prises de risque).

Les ALU sont donc réalisées dans des situations particulières au cours desquelles le but premier est l'optimisation de la production tout en essayant de préserver la santé/sécurité des opérateurs et l'intégrité du système technique (éviter les détériorations matérielles). Elles correspondent donc à des modes opératoires qui apparaissent comme des activités palliatives. En d'autres termes, elles sont le résultat d'un compromis face à la gestion des différentes contraintes du système et des "dérives" de fonctionnement dans le processus caractérisant une migration vers des seuils de tolérance limite du point de vue de la performance et de la sécurité.

Il est important de préciser que parfois l'ALU semble plutôt générer une **impression de profit** qu'un réel bénéfice effectif. Il nous est difficile de quantifier le profit induit par une ALU, car cela nécessiterait de faire un comparatif entre les contraintes liées à la réalisation de la tâche selon les recommandations dictées par le concepteur (la procédure normale) et le bénéfice lié à l'ALU (en terme de temps, de limitation des pertes, d'amélioration de la qualité, d'économies, d'exigences et de coût pour l'opérateur...). Toutefois, nous pouvons supposer que par exemple, dans le cas de l'ALU "*suivi aléatoire de la maintenance*", les économies de consommables réalisées à court terme se répercutent à moyen terme, sous la forme d'arrêts intempestifs (provoqués par l'usure non contrôlée des éléments) induisant plus de pertes (en terme d'arrêt de production, d'usure généralisée accélérée) que si la maintenance était planifiée (fausse économie).

Dans l'appellation *Activités Limites tolérées à l'Usage*, plusieurs notions sont à développer.

La **notion de limite** : en quoi ces activités sont-elles limites?

Elles sont limites car elles renvoient à des moyens de compensations partiels, créant à la fois une marge de manœuvre pour la gestion de la situation spécifique et une marge d'incertitude du fait d'une possible perte de contrôle (De la Garza et al, 2000). Généralement, elles

s'accompagnent d'un franchissement de barrières (Polet et al, 2000 A). Le concept de barrière a été défini par Hollnagel (1999) selon quatre catégories :

- Matérielles qui correspondent à des éléments physiques destinés à éviter la réalisation des certaines activités ou la propagation de leurs conséquences,
- Fonctionnelles qui ont pour vocation de gêner l'exécution d'une activité en établissant par exemple, un déclenchement logique temporel,
- Symboliques nécessitant une interprétation afin de la rendre effective,
- Immatérielles qui ne sont pas représentées physiquement au niveau du poste de travail, mais qui nécessitent d'être connues par l'opérateur pour être actives.

Même si elles résultent d'un compromis qui cherche à gérer la situation en tentant de limiter les risques, les ALU fragilisent néanmoins le système socio-technique. En effet, l'échec de l'ALU est probable et puisque certaines barrières ont été franchies, en théorie la sécurité de l'opérateur et/ou du système est réduite, les conséquences seront donc décuplées par rapport au niveau de danger initial.

Pour illustrer, nous pouvons prendre l'exemple de l'ALU intitulé "*intervention à plusieurs dans la plieuse*", dans ce cas, ce qui protège l'opérateur du danger correspond au fait que les commandes des organes mobiles sont éloignées de la zone à dépanner (i.e. barrière fonctionnelle), obligeant l'opérateur à retirer ses mains lorsqu'il actionne les organes mécaniques. Lorsque les opérateurs opèrent à plusieurs et neutralisent certaines sécurités (franchissement de barrière), plus rien ne contraint l'opérateur à retirer ses mains (quand son coéquipier actionne les commandes) si ce n'est sa perception et sa conscience personnelle du risque auquel il s'expose. Nous nous situons bien dans ce cas aux *limites* d'un accident pouvant avoir des conséquences plus ou moins graves.

Deux niveaux d'ALU peuvent être distingués :

- d'une part, celles qui correspondent à une réélaboration de règles ordinaires mises en œuvre de façon coutumière selon les règles de travail construites avec l'expérience dans des situations similaires plus ou moins fréquemment rencontrées,
- d'autre part, celles qui correspondent à une réélaboration de règles impromptues qui sont construites à l'improviste, sur le champ et sans préparation, pour faire face à une contrainte inopinée (De la Garza, 2000).

En réalité, nos observations semblent plutôt centrées sur des activités routinières, car il est relativement difficile de déceler des activités comportant un caractère exceptionnel lorsque les périodes d'observation restent relativement courtes.

Ces activités impliquent donc une prise de risque consciente (l'opérateur sait dire que c'est dangereux) qui est, d'après nos observations et notre analyse, contrée par **une construction positive d'un espace opérationnel de sécurité** à l'intérieur duquel l'opérateur ou le collectif de travail considère qu'il est protégé.

Si nous reprenons l'exemple précédant concernant "*l'intervention à plusieurs dans la plieuse*", cet espace de sécurité correspond aux éléments suivants :

- les opérateurs partagent le *même référentiel opératif commun* dans le sens où ils évoluent dans le même environnement (ils connaissent l'outil), ils ont acquis les mêmes connaissances, ils possèdent la même culture d'entreprise, ils travaillent quotidiennement ensembles... Cela leur permet de savoir relativement bien ce qu'ils ont à faire et comment les autres opérateurs vont réagir.
- ils ont la *possibilité de communiquer* entre eux (parce qu'ils sont proches les uns des autres et que le niveau de bruit est relativement faible puisque la ligne est à l'arrêt). Cet aspect permet surtout à l'opérateur aux commandes de s'assurer que ses deux coéquipiers sont prêts, pour actionner les commandes. Nous n'avons pas étudié et analysé fonctionnellement les communications mises en oeuvre, tel que cela a été réalisé dans d'autres travaux comme par exemple Grusenmeyer (1996), mais à l'observation, elles semblent suffisamment claires et non ambiguës pour les opérateurs.
- l'opérateur aux commandes dispose également d'une *bonne visibilité* sur les zones sur lesquelles ses coéquipiers travaillent, ainsi il peut vérifier visuellement que les opérateurs ont retiré leurs mains de la zone sensible.

Ces trois éléments viennent en quelque sorte se substituer aux barrières mises en place par le concepteur. Les opérateurs savent que la manipulation est dangereuse, mais ils la réalisent en prenant des précautions supplémentaires qui leur assurent un certain niveau de sécurité.

La seconde notion à développer correspond au fait que ces activités sont **tolérées par l'usage**. Plusieurs niveaux de tolérance peuvent être définis :

- Pour que l'ALU soit réalisée, il faut dans un premier temps que l'opérateur impliqué tolère cette activité dans le sens où il jugera que sa connaissance du système, son expérience, ses savoirs et savoir-faire, son état fonctionnel lui permettent de procéder à une adaptation de la tâche (tâche admise) se traduisant par la réalisation d'une ALU : c'est une **tolérance individuelle**, car propre à chaque opérateur.
- Cette tolérance individuelle doit être combinée avec une **tolérance technique du système**. En réalité, l'ALU ne peut réussir que si le système fait preuve d'une certaine robustesse (Hollnagel, 1991). Cette robustesse peut être définie comme la capacité du système à réaliser une fonction particulière dans des conditions environnementales pour lesquelles il n'est pas prévu. Etant donné que par principe l'ALU est réalisée en dehors des conditions d'exploitation définies par le concepteur, on voit toute l'importance de la robustesse du système.
- Finalement, si les tolérances précédentes sont effectives, on a alors affaire à une **tolérance de niveau collectif**, c'est à dire à un niveau plus général incluant notamment des acteurs issus de centre de décisions et de niveaux hiérarchiques différents. Dans ce sens, nous avons essayé pour chaque ALU de déterminer le niveau de tolérance dont fait preuve l'encadrement (contremaîtres essentiellement) vis à vis de ces activités qui comportent des risques (par entretiens et observations). D'une façon générale, il semble que les ALU observées soient toutes connues de l'encadrement et donc toutes tolérées de façon plus ou moins forte par celui-ci. Il est important de préciser que si les membres de l'encadrement "ferment les yeux" sur ces activités c'est parce que le but ultime n'est pas de nuire au système, mais bien au contraire d'optimiser le fonctionnement par différents moyens :
  - en assurant un maintien de la disponibilité de la production : les opérateurs mettent en œuvre des activités qui vont permettre d'éviter un arrêt de la ligne, comme par exemple, lorsqu'ils éliminent une salissure sur les blanchets avec un chiffon, alors que le système est en roulage,
  - en essayant de diminuer le temps d'indisponibilité, c'est le cas notamment de l'intervention à plusieurs de la plieuse, puisque cette façon de procéder est beaucoup plus rapide que si un seul opérateur intervient.

Ces deux objectifs visés ont des répercussions directes d'une part, sur la limitation des pertes, puisqu'un arrêt implique un redémarrage avec une perte de cahiers imprimés relativement importante, jusqu'à ce que les opérateurs retrouvent le niveau de qualité de l'impression et d'autre part, sur le gain de temps, puisqu'en général les activités développées sont plus en adéquation avec la situation de travail que celles préconisées par le concepteur.

Par ailleurs, certaines ALU sont tolérées parce qu'il n'existe pas d'autres manières de procéder, c'est **une acceptation de fait**, c'est le cas par exemple de l'ALU concernant "*la neutralisation des cellules de détection au niveau du chariot automatique des bobines*", car dans ce genre de situation, la barrière mise en place par le concepteur est totalement contradictoire à la fonction de production.

Elles peuvent également être tolérées parce qu'**elles accompagnent certaines migrations du système**, par exemple dans le cas de la pose des plaques à deux opérateurs (concernant la M601 et la M602), c'est à cause d'un encrassement progressif des molettes d'avalement de plaque que cette ALU a été mise en place de façon systématique. De ce fait, la procédure qui devrait être considérée comme normale, c'est à dire avec la pose des plaques par un seul opérateur, est devenue une violation des règles établies par l'encadrement.

En ce qui concerne la tolérance des opérateurs vis à vis de ces activités, on peut estimer dans l'ensemble qu'elle est également élevée puisque d'une part, les accidents sont plutôt rares et d'autre part, les opérateurs ont une certaine confiance dans l'exécution de l'ALU puisqu'ils pensent en maîtriser les risques et puisqu'ils les pratiquent régulièrement.

Il est important de préciser que **certaines ALU sont réalisées en fonction du "grade" (statut) et de l'ancienneté de l'opérateur**. Cela signifie que certaines ALU spécifiques ne seront jamais réalisées par des opérateurs novices qui n'ont pas une connaissance suffisamment approfondie du système. Dans de nombreux cas, nous avons pu voir que ce sont essentiellement les premiers et les seconds conducteurs qui réalisent les ALU, car comme nous l'avons précisé par ailleurs, elles nécessitent des savoirs et savoir-faire spécifiques.

Ce raisonnement nous permet d'énoncer **une définition synthétique de l'ALU** : *ce sont des modes opératoires spécifiques correspondant à des activités palliatives qui permettent de maintenir les performances du système, parfois au détriment de la santé/sécurité des opérateurs et qui apparaissent dans des conditions particulières.*



La définition du concept nous permet à présent de construire une typologie des ALU en les caractérisant par rapport aux différentes variétés que nous avons pu relever du terrain.

### **I.3. Typologie des ALU : deux types d'ALU selon le niveau d'analyse du processus**

La recherche d'une typologie doit permettre de prendre du recul par rapport aux situations observées, de comprendre leur variété, leur but multiple, leur mode d'apparition... c'est à dire de les caractériser pour pouvoir les restituer et les expliquer au concepteur qui généralement ne les connaît pas ou sous-estime leur importance et leurs conséquences.

Le but ultime de cette approche est de pouvoir donner au concepteur des pistes permettant de rendre la conception plus sûre ou en tout cas plus proche de la réalité de l'exploitation, mais également de ne plus particulariser le retour d'expérience qui fonctionne généralement au coup par coup. Pour cela, il est nécessaire de restituer au concepteur non seulement les modalités de réalisation de ces situations, mais surtout les déterminants de ces situations appelés les *Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)*.

Afin de remonter à ces déterminants, il est indispensable, dans un premier temps, de bien analyser les situations observées sur le terrain. Ainsi, il est apparu clairement que les ALU surviennent à différents moments ou phases de production, qu'elles sont réalisées par différents acteurs de la production, qu'elles sont en relation avec différentes contraintes opérationnelles.

Par rapport aux différents acteurs impliqués dans la réalisation d'une ALU, nous avons dégagé deux types d'ALU : les ALU opérationnelles et les ALU managériales.

#### ***I.3.1. Les ALU opérationnelles***

Ce sont en quelque sorte les plus "classiques", dans le sens où elles proviennent de décisions prises par les opérateurs confrontés à la dynamique opérationnelle. Ces ALU sont donc réalisées en référence aux contraintes opérationnelles qui créent des environnements fragiles du point de vue de la sécurité (Rasmussen, 1997). Elles correspondent à des compromis établis par les opérateurs qui intègrent les exigences de production, de qualité, de sécurité, ainsi que toutes les caractéristiques propres à l'opérateur lui-même : son expérience, sa connaissance du système, son savoir-faire, son statut...

Elles ont un caractère dynamique et peuvent selon les situations, tendre vers une réduction de l'incertitude en augmentant les marges de manœuvre des opérateurs ou, au contraire, tendre

vers une augmentation de l'incertitude en réduisant les marges de manœuvre (Fadier et al, 2001). La notion d'incertitude est ici définie en fonction des possibilités de contrôle qu'a l'opérateur sur la situation (anticipation, diagnostic, actions...). Ce caractère dynamique de l'ALU induit une régulation du processus qui est réalisée grâce à cette marge de manœuvre laissée à l'opérateur qui agit selon deux modalités éventuelles : l'autonomie et la discrétion.

L'autonomie concerne "l'espace de liberté de décision que l'acteur individuel ou collectif cherche à construire ou à affirmer" (Maggi, 1996).

En revanche, la discrétion indique "des espaces d'action dans un processus réglé où l'opérateur est obligé de décider et de choisir dans un cadre de dépendance" (Maggi, 1996).

Les ALU observées oscillent entre des processus d'autonomie et des processus de discrétisation.

Comme nous l'avons déjà évoqué, ces activités sont orientées essentiellement dans le sens d'un bénéfice pour la production. Dans le but de montrer le rôle nécessaire voire indispensable des ALU au sein de la dynamique opérationnelle, nous avons repris les résultats concernant l'Arbre de Défaillances que nous avons construit dans le cadre de l'analyse causale des dysfonctionnements (Partie II, Chapitre II, §IV.5 et Annexes 5). Le traitement qualitatif nous avait amenés à conclure que le système fait preuve d'une grande fragilité, mais aux vues de l'évaluation du pourcentage de fonctionnement selon les exigences du client qui est de 60% du temps d'ouverture de la ligne, nous en concluons que certaines interventions humaines semblent effectivement améliorer le niveau de disponibilité du système. Pour approfondir cette idée, nous avons en quelque sorte insérer certaines ALU mises en œuvre en phase de roulage, dans l'AdD (Figure 38).

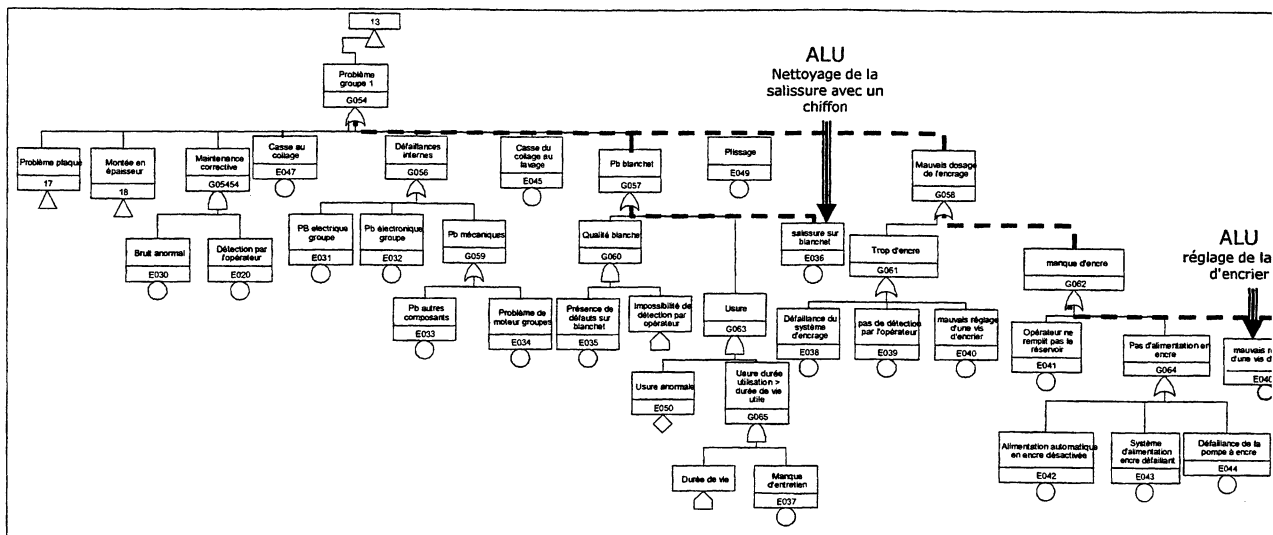


Figure 38: Extrait de l'AdD mettant en évidence l'apport des ALU opérationnelles pour l'amélioration du niveau de disponibilité (Didelot et al, 2001 A)

Ainsi, cette représentation montre l'action bénéfique de l'ALU sur certaines défaillances et par conséquent sur les coupes minimales concernées (schématisées en pointillés) :

- dans le premier cas, la réussite de l'ALU *nettoyage de blanchet avec un chiffon* permet d'éliminer l'événement de base "salissure sur blanchet",
- dans le deuxième cas, la réussite de l'ALU *réglage de la vis d'encrier* permet d'éliminer l'événement de base "mauvais réglage de la vis d'encrier".

Pour traduire l'effet de ces activités au niveau de l'AdD, nous sommes donc contraints de prendre l'inverse de l'ALU, c'est à dire son échec. On voit alors que la combinaison des événements de base concernés avec l'échec de leur ALU nous amène à construire une porte ET (Figure 39). Nous pouvons dès lors considérer que **les ALU viennent agir comme des nouveaux types de barrières qui renforcent le système en transformant une coupe minimale d'ordre 1 en une coupe minimale d'ordre 2** (tel que schématisé sur la Figure 39).



Il sera intéressant par la suite d'étudier **l'échec de l'ALU** pour d'une part, identifier les conditions de cet échec et leur combinaison et d'autre part, mettre en évidence les différentes conséquences de ces échecs. C'est un aspect important, car il faut garder à l'esprit que même si peu d'accidents sont recensés (à notre niveau), le fait que les barrières initiales soient franchies (celles mises en place par le concepteur), peut provoquer des accidents beaucoup plus graves qu'à l'origine.

Afin de se détacher des cas pratiques analysés et pour généraliser le concept d'ALU, nous avons dégagé des caractéristiques qui nous semblent fondamentales, à partir des différentes descriptions établies et des traitements par tableaux de chaque ALU. Nous précisons qu'à une ALU peut correspondre plusieurs caractéristiques :

- **Système à l'arrêt ou système en fonctionnement** : quand elle est réalisée à l'arrêt, elle a pour vocation d'en diminuer la durée; quand elle est réalisée en roulage, elle permet d'éviter un arrêt.
- **Individuelle ou collective** : d'après notre analyse, les ALU réalisées individuellement semblent n'être exécutées que par des opérateurs ayant le statut de premier ou second conducteur, c'est à dire des opérateurs dont le niveau de compétence est élevé. Cela prouve que les ALU ne sont pas le fruit du hasard, elles nécessitent une certaine maîtrise et expérience du processus. Les ALU réalisées collectivement nécessitent quant à elles des processus de coopération, de coordination préalable ou contextuelle, de collaboration ou d'entraide (Dequaire et al, 2000 – De la Garza et al, 2000). Elles comportent une construction de sécurité collective basée sur le partage d'un référentiel opératif commun.
- **Avec ou sans neutralisation de sécurité** : la neutralisation de sécurité résulte généralement d'une opposition entre les exigences de l'activité et l'application par le concepteur des normes pour la sécurité des machines (EN 292, EN 614, EN 1010). Ces sécurités représentent généralement des gênes pour l'activité des opérateurs qui les neutralisent pour pouvoir travailler. Lorsque aucune sécurité n'est neutralisée, cela suggère que le concepteur a laissé une certaine marge de manœuvre aux opérateurs qui leur permet d'agir avec précaution sur le système généralement en fonctionnement. Cet aspect peut être interprété comme une démarche implicite de la part du concepteur ayant pour but de laisser une certaine autonomie aux opérateurs.
- **De confort ou d'obligation** : une ALU de confort (assimilée à une violation routinière) correspond au fait que la tâche pourrait être réalisée selon les procédures prescrites en

respectant les protections, mais qu'étant donné la pénibilité et le manque de confort, l'opérateur préfère faire appel à une autre alternative. L'ALU d'obligation traduit le fait que les opérateurs se trouvent dans l'impossibilité de faire autrement (par exemple en cas d'inaccessibilité de commandes sur un poste de travail).

Les observations réalisées mettent plutôt en avant le côté bénéfique de l'ALU, puisque ces observations sont ponctuelles, en revanche à long terme, comme nous l'avons déjà évoqué, les effets attendus initialement peuvent se transformer en effet inverse, "pervers" tels que :

- des prises de risque de plus en plus grandes liées à l'habitude qui induit à terme un sentiment de réduction de l'incertitude parfois erroné au niveau de la sécurité des différentes contraintes de la situation,
- une dégradation de l'outil de production,
- une perte du modèle de référence par transmission de connaissances partielles, par transmission directe des ALU dans l'apprentissage...

La Figure 40 résume toutes les dimensions relatives à l'ALU opérationnelle.

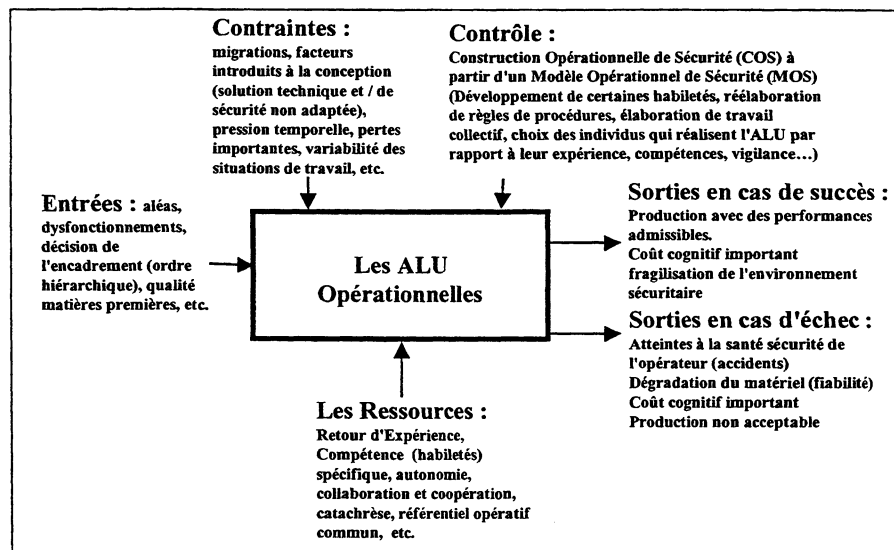


Figure 40 : Actigramme, selon le formalisme SADT, représentant les ALU Opérationnelles (Fadier et al, 2001)

### I.3.2. Les ALU managériales

Ce deuxième type d'ALU a été qualifié de managérial dans le sens où ce sont des ALU qui proviennent d'une décision de l'encadrement. Elles sont de ce fait indépendantes de la dynamique opérationnelle telle que les opérateurs la vivent au quotidien quand ils conduisent

la ligne. Néanmoins ces décisions se répercutent directement sur l'activité de ceux-ci. En effet, l'effet visé par ces ALU concerne directement des aspects financiers, en relation avec les diverses contraintes économiques et sociales auxquelles est soumise la société.

Elles touchent donc les acteurs de l'encadrement à différents niveaux hiérarchiques et centres de décision et peuvent être assimilées aux notions de "défaillance latente" définie par Reason (1993) ou "d'erreur organisationnelle" au sens défini par Reason (1995) et Baram (1995).

Pour caractériser ces ALU managériales, nous avons considéré que ces décisions prises à différents niveaux hiérarchiques ont des incidences au niveau de deux grandes dimensions en forte interaction d'une part, la **dimension humaine** et d'autre part, la **dimension technique**. Ces décisions peuvent donc concerner :

- La gestion des ressources humaines se traduisant par exemple au niveau de l'organisation des équipes (dotation en personnel, manque de personnel, formation...). Ainsi, il a été constaté dans la plupart des imprimeries que la formation est essentiellement réalisée sur le tas par transmission des connaissances des opérateurs considérés comme expérimentés vers les opérateurs novices, selon des modes de régulation mis en place par les opérateurs eux-mêmes.
- La gestion de la maintenance (non respects des cycles de maintenance établis par le concepteur, maintenance préventive minimale, ou nulle). Nous avons évoqué par ailleurs l'incidence de telles pratiques en terme de fausse économie.
- La gestion de la sécurité des équipements de travail, puisque l'on a identifié des cas où la direction prend la décision de neutraliser une sécurité censée protéger les opérateurs, lorsqu'elle s'avère incompatible avec les exigences de la production, notamment dans le cas de "*la neutralisation des cellules de détection au niveau du chargement automatique des bobines pour l'alimentation du dérouleur*". Tel que cela été évoqué par ailleurs, nous nous situons dans le cas d'une sécurité paradoxale. On peut également évoquer l'exemple de l'ALU concernant la "*mise en place des plaques d'impression en binôme*" (imprimerie (B)). En effet, cette procédure a été installée, car un élément technique permettant de réaliser la pose de plaques par un seul opérateur, conformément aux manuels opérateurs, s'est définitivement encrassé et grippé. N'ayant aucun autre moyen de procéder, l'encadrement à en quelque sorte prescrit cette procédure qui comporte des risques (cf.

fiche signalétique) et les opérateurs procédant seuls se retrouvent en quelque sorte en situation de violation de règles.

Les bénéfices immédiats de ces ALU sont prioritairement liés à la réduction des coûts. Cependant, les retombées indirectes de ces ALU touchent l'activité des opérateurs, car elles impliquent dans certains cas, une redistribution des missions au sein de l'équipe en cas de réduction d'effectifs. Dans d'autres cas, elles impliquent un ajustement/réglage permanent des composants afin de pallier le manque et/ou l'absence de maintenance préventive.

En effet, ces ALU managériales apparaissent en amont de l'activité d'exploitation et vont donc déterminer en partie, les conditions de travail des opérateurs. Nous verrons par la suite que ces ALU vont agir comme des facteurs internes à l'entreprise, et vont favoriser l'apparition d'ALU opérationnelles au cours de l'exploitation.

Comme pour les ALU opérationnelles, compte tenu du fait que ces ALU managériales correspondent à des moyens de compensation partiels et/ou à des compromis de la part de certains acteurs, les retombées finales à moyen et à long terme, peuvent se traduire par exemple, par une dégradation du savoir, un vieillissement prématuré du système, une perte du système et du modèle de référence... En effet, à long terme et au fur et à mesure de la dégradation des connaissances et de la politique de maintenance, le système se transforme en un système comprenant un ensemble de dérives aussi bien procédurales que matérielles. Les résultats issus de cette migration du système sont à évaluer non seulement en termes de gains, mais aussi en termes de déficits par rapport au système de référence (Didelot et al., 1999). Ce dernier point devrait nous permettre en outre d'orienter les champs d'action plausibles et souhaitables du point de vue de la conception.

Dans le Tableau 18 qui suit, sont récapitulées quelques propriétés des deux classes d'ALU ainsi que leur dépendance.



Type : ALU	Initiateurs	Effets attendus Bénéfices/risques	Conséquences possibles Bénéfices/risques	Caractéristiques
<b>Opérationnelles</b>	Opérateurs	- Réduire le temps d'indisponibilité, - Maintenir la disponibilité de la mission du système, -Fragilisation du niveau de sécurité.	- Limitation des pertes, - Risque d'incident et/ou d'accident.	- En fonctionnement A l'arrêt, - Individuel / Collectif - Confort / Obligatoire - Avec / Sans neutralisation.
<b>Managériales</b>	Encadrement	Réduction des coûts : - Au niveau humain, cela concerne la dotation en personnel et la formation.  - Au niveau technique, cela peut concerner la neutralisation d'équipements, et le changement de cycle de maintenance préventive et parfois l'absence totale de ce type de maintenance.	ALU opérationnelles: - Restructuration des équipes et des activités, - Formation sur le tas entraînant une dégradation du savoir, - Entraves au travail et prise de risque par les exploitants, - Dégradation du matériel à moyen et à long terme.	- en dehors de la dynamique opérationnelle, - en concertation et sans concertation : le concepteur, - en concertation et sans concertation : le personnel, - implicite/explicite

Tableau 18: Récapitulatif des types d'ALU (Fadier et al, 2001)

Le concept d'ALU étant à présent bien identifié, il s'agit désormais de s'intéresser aux précurseurs de ces activités.

## II. RECHERCHE DES FACTEURS ET/OU CIRCONSTANCES INITIANT LES ALU : LES CONDITIONS LIMITES TOLEREES PAR L'USAGE (CLU)

Toute cette phase de définition et de caractérisation est nécessaire à la compréhension des ALU et permet d'alimenter le deuxième aspect de notre recherche qui consiste à identifier les facteurs et/ou circonstances initiant ces activités. C'est une réflexion que nous avons également menée à l'aide des tableaux de traitement des ALU (cf. Annexes 7).

### II.1. Définition des Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)

Ces facteurs/circonstances/éléments favorisant l'apparition des ALU ont donc été nommés les Conditions Limites tolérées par l'Usage, toujours en lien avec le modèle de Rasmussen (1997) qui met en évidence l'existence de contraintes multiples, pouvant induire des migrations de certains paramètres vers des zones inacceptables du point de vue de la sécurité et de la performance du système.

Les CLU ne sont pas toutes "visibles" en tant que telles lors des observations, elles sont plutôt déduites des ALU observées puis analysées.

En ce sens, les CLU semblent être la conjonction :

- d'un ensemble de **facteurs/éléments** que nous supposons **introduits au cours des différentes phases du cycle de vie du système** : conception, implantation, exploitation, c'est à dire le processus de conception,
- et de **circonstances liées à la situation de travail spécifique** : contexte socio-économique induisant des actions et des décisions qui ont un impact sur l'activité des opérateurs (un manque de personnel, la nécessité de rentabiliser les équipements, un planning serré...).

Les CLU favorisent donc la migration du système et augmentent de ce fait, l'incertitude dans le système de travail en réduisant les marges de manœuvre des opérateurs. Paradoxalement, cette réduction de la marge de manœuvre incite les opérateurs à retrouver un certain espace de liberté en développant des ALU.

Il faut souligner que la migration du système n'est pas observable sur des périodes d'étude courtes, cela nécessite de connaître "l'histoire" du système, son évolution aux différents stades du cycle de vie et l'évolution de ses modalités d'usage (dégradation du savoir, ALU routinières...).

Certaines CLU sont acceptées de fait par l'organisation utilisatrice : lorsque ce sont, par exemple, des éléments mécaniques inadaptés aux exigences réelles de travail, cette acceptation de fait se traduit par des solutions palliatives routinières et devenues normales du point de vue des utilisateurs. On citera pour illustrer cet aspect "*le nettoyage des blanchets en roulage avec un chiffon*" pour lequel face à l'inefficacité du nettoyage automatique et aux contraintes induites par un arrêt puis un redémarrage de la ligne (perte de temps et de consommables...), les opérateurs préfèrent opérer de cette façon. En ce qui concerne "*la pose des plaques en binôme*", il n'y a pas d'autres alternatives puisqu'un élément mécanique est définitivement grippé.

Notre réflexion a donc porté en quelque sorte sur la reconstitution de l'histoire des CLU pour pouvoir en constituer une typologie. Cette reconstitution nécessite de "remonter" dans les différentes phases du cycle de vie du système, ainsi que dans les différents niveaux hiérarchiques et de prendre en considération le contexte dans lequel s'insère l'exploitation (contrainte de délais, disponibilité du personnel, aspects financiers...).

Selon cette réflexion deux types de CLU ont pu être dégagés selon qu'elles proviennent d'une des phases du cycle de vie du système ou qu'elles proviennent de décisions internes et propres à l'exploitant.

## II.2. Typologie des Conditions Limites tolérées par l'Usage

Selon les deux axes cités plus haut, deux types de CLU ont été identifiés :

- les **CLU internes** dont l'origine se situe au niveau de la situation d'exploitation à différents niveaux hiérarchiques,
- les **CLU externes** dont l'origine se situe dans l'une (ou plusieurs) des étape(s) du cycle de vie du système.

Leur émergence n'a pas les mêmes origines, de ce fait les leviers d'action sur lesquels on peut agir pour les "éliminer", ne sont pas eux non plus, de même nature et ne concernent pas les mêmes acteurs (concepteur, "implanteur", exploitant).

### II.2.1. CLU internes

Ce type de CLU renvoie à des décisions prises à différents niveaux hiérarchiques en lien avec une politique interne à l'exploitant, ainsi que des contraintes socio-économiques qui lui sont propres. Ces CLU impactent directement sur l'activité des opérateurs et correspondent en partie aux ALU managériales mises en évidence précédemment (§ I.3.2), dans le sens où ces décisions vont conditionner l'activité des opérateurs qui vont éventuellement développer des ALU opérationnelles.

Dans les imprimeries observées, ces CLU correspondent au *suivi aléatoire de la maintenance de premier niveau, au travail en équipe incomplète, à la formation des opérateurs essentiellement sur le tas...*

Ce type de CLU dépasse le cadre de la conception des équipements, mais nécessite néanmoins d'être considéré dans une politique de prévention plus large.

### II.2.2. CLU externes

Les CLU externes sont donc à rechercher au niveau du processus de conception. En ce sens, quatre types d'écarts ont été identifiés, mettant en évidence quatre leviers d'action possibles pour la conception :

- **Ecart entre solution de sécurité et fonction de sécurité** : conflit entre la protection mise en place et son objectif qui aboutit à sa neutralisation, c'est le cas pour *la neutralisation des cellules de détection au niveau du chargement automatique des bobines pour l'alimentation du dérouleur*. La réflexion du concepteur doit donc se situer au niveau de la résolution de ce conflit. Ce type de conflit apparaît en raison d'une logique d'obligation de moyens issue des normes et nécessite une réflexion profonde sur les modalités de prise en compte de la sécurité.
- **Ecart entre solution technique et exigences de travail** : solutions techniques initiales non compatibles avec les exigences de l'activité. Cet écart provient notamment du fait que le concepteur ne suit pas de réflexion ordonnée et construite sur la situation de travail, puisque le système est envisagé en dehors de tout contexte opérationnel, comme cela a pu être démontré dans la partie II de ce mémoire. Ce type de CLU conduit à la mise en œuvre d'ALU du type *intervention de deux opérateurs dans la plieuse pour débouillage (imprimerie B)*, car dans ce cas, c'est la gêne liée à une difficulté de débouiller le papier tout en actionnant les commandes qui est à l'origine de l'ALU (il semble qu'actuellement, le concepteur mène une réflexion sur la possibilité de rendre les commandes mobiles).
- **Ecart entre modèle conçu et modèle implanté** : solution technique finale non optimale/dégradée par rapport à la solution initiale. Quelques exemples de ce type de CLU ont été mis en évidence lors des observations d'une implantation (*adaptation aléatoire du système, incohérence entre système conçu et système implanté...*). Nous les avons appelées facteurs de migration, mais il est clair à présent qu'ils constituent véritablement des CLU.
- **Ecart entre les conditions nominales prévues et les conditions opérationnelles vécues** : la dynamique opérationnelle est très irrégulière (alternance de moments d'attente avec des moments où l'on rattrape les retards) et incite de ce fait à une optimisation des

activités (gain de temps, recherche d'efficacité, limitation des pertes...) qui poussent les opérateurs à développer des ALU. Par exemple, lorsque les opérateurs *descendent les marches à la façon "sous-marinier"*, c'est dans le souci d'être rapides et également dans une recherche de confort ; toutefois des chutes ont été recensées.

La réflexion concernant "l'élimination" des CLU est donc à envisager sur l'ensemble du processus de conception, depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation du système (CLU externe), ainsi qu'au niveau d'une démarche de prévention plus large impliquant l'exploitant (CLU interne).

Dans certains cas, des liens de causalité peuvent être mis en évidence entre les deux grands types CLU identifiés.

### III. RECHERCHE D'ÉLÉMENTS DE "GENERALISATION" DES ALU

Afin de mieux comprendre le processus de génération des ALU et d'affiner la recherche de leurs CLU, nous avons comparé les ALU générées sur deux systèmes semblables (de même technologie), exploités dans deux imprimeries différentes et implantés différemment. Cette comparaison est réalisée dans le but de comprendre, par exemple, si les ALU sont liées à un contexte spécifique dans lequel est immergé le système, à une implantation particulière, aux équipes de conduite, aux politiques engagées par l'encadrement... Ou bien s'il est possible d'identifier des situations invariantes qui traduiraient l'existence de précurseurs invariants. Cette analyse consiste en quelque sorte à constituer une "genèse" des ALU (Didelot et al, 2001 B).

Cette recherche a été réalisée en partenariat avec l'équipe LAMIH qui a observé un système de type M3000<sup>1</sup>, mais avec une configuration juxtaposée (les lignes sont disposées côte à côte).

Il est également important de préciser que l'équipe LAMIH a utilisé une méthodologie qui lui est propre puisqu'elle reprend, en grande partie, les étapes de la méthode APRECIH (Vanderhaegen, 1999), étendue pour les besoins de l'étude (Polet et al, 2000 B).

Une comparaison permet de mettre en évidence les fondements considérés pour chacune des méthodologies (Tableau 19).

---

<sup>1</sup> Système que l'on a pu analyser dans le cadre de l'imprimerie (A).

	APRECIH	MAFERGO
<b>Cadre de référence</b>	Issu des manuels opérateurs, des interviews avec experts (Opérateurs, Responsables maintenance, formation et sécurité)	- Manuels opérateurs (standard) - Analyse structuro-fonctionnelle (propre à la ligne ) - Analyse des tâches et fonctions requises
<b>Analyse menée pour l'identification des ALUs</b>	- Relevé des écarts entre procédures issues du manuel et modes opératoires réalisés - Analyse multicritère de ces écarts en terme de coût/bénéfice	- Analyse opérationnelle (activité réelle) - Analyse des dysfonctionnements (AMDEC simplifiée) et activités de récupération associées - Analyse causale des dysfonctionnements - Identification des activités à risque et recherche de leurs déterminants
<b>Ressources</b>	2 ingénieurs Bloc-notes	1 ergonome et 1 ingénieur Bloc-notes Aralia Sim Tree Enregistrement audio

Tableau 19 : Comparaison des méthodologies utilisées

La comparaison des cadres d'analyse de chaque équipe a également révélé des différences non négligeables au niveau de la situation économique des deux sociétés, du type de formation dont disposent les opérateurs de conduite, des types de produits et de la disposition des postes de travail (dans le cas du LAMIH, seuls les pupitres de commandes sont enfermés dans une enceinte anti-bruit).

Les résultats obtenus concernant l'identification des ALU, à l'issue de ces deux analyses, figurent dans le Tableau 20.

	ALU managériales	ALU opérationnelles
Invariants (concernant les deux imprimeries)	2	5
Ne concernant que l'imprimerie analysée par l'équipe LAMIH	0	3
Ne concernant que l'imprimerie que nous avons analysée	2	3
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>11</b>

Tableau 20 : Bilan des ALU observées par les deux équipes

L'analyse de chaque type d'ALU a permis d'établir plusieurs éléments de réponse à cette recherche d'éléments de généralisation.

#### a) Comparaison des ALU managériales

Lorsqu'elles sont invariantes, les ALU managériales concernent la *politique de maintenance essentiellement corrective* et la *formation* (seuls quelques opérateurs formés se chargent par la suite de former les autres membres de l'équipe). On voit alors que les deux imprimeries gèrent de la même façon ces deux aspects, motivées essentiellement par *une volonté de réduction des*

*coûts*. Concernant la mise en place d'une maintenance essentiellement corrective, nous avons pu établir que dans les deux cas, les responsables comptent sur des interventions en temps masqué induites par des attentes liées à des problèmes de nature organisationnelle.

Lorsque les ALU managériales sont différentes (concernant uniquement le système M3000 superposé de l'imprimerie (A)), dans le cas par exemple du *travail avec une équipe incomplète*, elles proviennent certainement du fait que les deux imprimeries ne sont pas exactement soumises aux mêmes impératifs de production. Bien que d'une manière générale, le rythme de production est relativement élevé, il est important de préciser que l'imprimerie (A) produit des ouvrages de dernière heure, qui accentuent considérablement les tensions et poussent l'encadrement à prendre des décisions ayant un impact fort sur les conditions de travail des opérateurs. De plus, la ligne est récente et nécessite d'être rentabilisée.

On constate donc que d'une manière générale, les ALU managériales identifiées semblent essentiellement liées à certaines circonstances généralisables correspondant à une indispensable limitation des coûts pour être en quelque sorte plus compétitif que les concurrents. Dans cette optique, les dirigeants s'efforcent de faire des économies sur les consommables et la formation, avec un but sous-jacent qui consiste à faire en sorte d'arrêter la ligne le moins souvent possible (ce qui implique une optimisation des temps d'arrêt du système : travail en temps masqué).

#### ***b) Comparaison concernant les ALU opérationnelles***

Lorsque les ALU sont invariantes, elles concernent par exemple, *le nettoyage de blanchet en roulage avec un chiffon* (à vitesse élevée ou vitesse modérée), *l'intervention sur une vis d'encrier en roulage*, *l'intervention collective dans la plieuse pour débouillage...*

Pour ces différents cas qui ont été analysés par ailleurs, la présence de CLU externes (introduites par le processus de conception) est indéniable. Face à certaines solutions techniques ne répondant pas aux exigences de la tâche, les opérateurs ont développé exactement le même type d'activités palliatives dans les deux imprimeries. Par exemple, dans le cas de l'ALU *intervention collective dans la plieuse*, puisque les commandes des organes internes à la plieuse sont positionnées de telle sorte qu'elles ne permettent pas une totale efficacité lors d'une activité normale et s'avèrent contraignantes, les opérateurs ont contourné le problème en manipulant à plusieurs.

D'ailleurs ce type d'intervention avait également été observé dans le cas de la M600 de l'imprimerie (B), ce qui prouve que ce problème est à la fois indépendant du type d'entreprise (contexte socio-économique) et du type de système (car la plieuse de la M600 est de génération antérieure à celle des M3000).

Lorsqu'elles sont différentes, les ALU opérationnelles concernent par exemple *la saisie des exemplaires en amont de l'emplacement prévu en se précipitant*, pour l'équipe LAMIH ; et *la descente des escaliers à la façon sous-marinier*, en ce qui concerne nos observations.

Ce genre d'ALU est la conséquence directe de paramètres introduits par les choix d'implantation. On se rend compte, dans les deux cas observés, qu'il n'existe pas de situation optimale. Chacune d'elle génère des difficultés quant à l'activité des opérateurs :

- dans le cas du système observé par le LAMIH, les deux bandes étant juxtaposées, cette disposition facilite les déplacements et limite les chutes. Néanmoins le système occupant une surface au sol importante, il n'a été possible de n'enfermer que les pupitres de commande dans une enceinte anti-bruit. Nous supposons que cela induit : 1) une exposition au bruit importante des opérateurs qui sont relativement rarement derrière ces pupitres, comme l'analyse de l'activité a pu le démontrer dans la partie II de ce mémoire, 2) des contraintes liées à la saisie des exemplaires imprimés pour le contrôle de la qualité d'impression.
- dans le cas de l'imprimerie (A), on peut pratiquement dire qu'on assiste à une situation inverse pour laquelle les nuisances induites par le bruit sont limitées (puisque la configuration permet d'enfermer la ligne complète dans une enceinte), par contre les nombreuses marches induites par la superposition des bandes créent beaucoup de problèmes quant aux déplacements des opérateurs (fatigue accrue, risque de chutes).

Pour conclure sur ces aspects, nous pouvons dire que certains éléments nécessitent une réflexion approfondie de la part du concepteur, puisqu'ils se propagent quel que soit le contexte dans lequel se trouve l'imprimerie et quel que soit le système concerné : cas des ALU opérationnelles invariables. Ces éléments correspondent à des CLU introduites au cours du processus de conception et dont les solutions techniques de sécurité ne sont pas "revisitées" lors de la conception de systèmes de nouvelle génération (puisque en réalité elles répondent à l'obligation de moyens issue des normes).



Ces éléments nous confirment qu'il est nécessaire de remonter ce type d'ALU au niveau du concepteur, afin qu'il intègre la portée de ces choix technologiques et qu'il sache que les solutions de sécurité généralement ajoutées en fin de cycle, sont bien souvent contournées et génèrent des risques pour les opérateurs.

Concernant les ALU opérationnelles qui sont différentes d'un terrain à l'autre, il faut tout d'abord souligner qu'étant donné les périodes d'observation relativement courtes rien ne garantit que nous ayons pu observer toutes les ALU mises en œuvre, certaines d'entre elles ont pu échapper à notre analyse. D'autre part, la plupart de ces ALU différentes sont induites par des CLU issues de choix d'implantation des lignes. Ce problème doit également susciter une réflexion de la part du concepteur : l'optimisation de l'espace, la recherche d'économie concernant les protections anti-bruits, etc. sont autant de paramètres qui induisent des difficultés et contraintes pour l'activité des opérateurs.

Quant aux ALU managériales, elles nécessitent une action de prévention plus large qui implique les membres de différents niveaux hiérarchiques des imprimeries. Néanmoins, certaines d'entre elles, peuvent être résorbées par le concepteur, comme par exemple dans le cas de la formation sur le tas : ne pourrait-on pas imaginer une formation pour formateur ? Ce type de formation pourrait éviter ou limiter certaines migrations issues d'une transmission du savoir bien souvent déformée.

Un dernier point important à soulever par le biais de cet essai de généralisation, concerne le fait qu'à une CLU peut correspondre plusieurs réponses, c'est à dire plusieurs ALU, selon le contexte socio-économique de la société. Réciproquement, on ne peut se fier à l'ALU (qui peut être une stratégie propre à un opérateur) en tant que réponse à une CLU unique, bien au contraire elle peut être initiée par de multiples CLU. D'où la difficulté des concepteurs de pouvoir trouver des solutions efficaces, quel que soit le contexte.

#### **IV. CLU ET RETOUR EN CONCEPTION**

La distinction entre d'une part, les activités palliatives mises en place par les opérateurs pour faire face aux divers aléas et contraintes opérationnelles et les décisions prises par l'encadrement (ALU) et d'autre part, les causes initiatrices de ces activités (CLU), a rendu possible la clarification de ces concepts et leur lien de causalité (Figure 41).

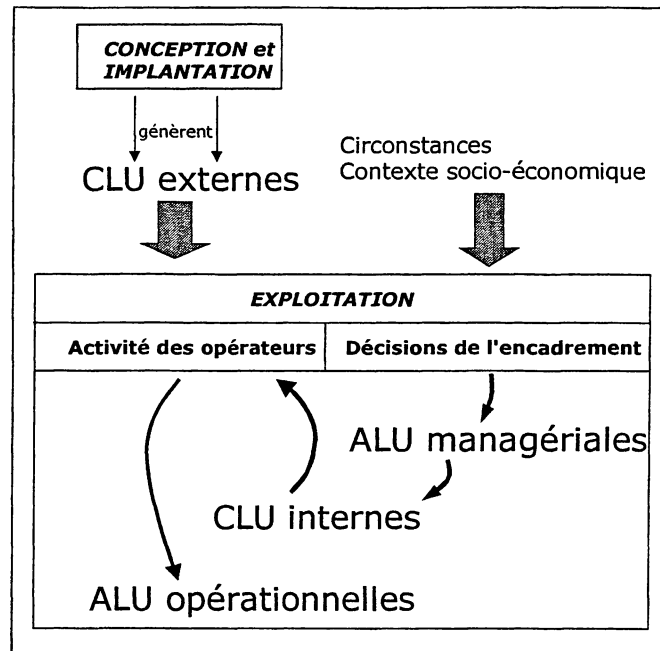


Figure 41: Représentation des liens de causalité entre ALU et CLU

Par ailleurs, la confrontation des analyses menées sur deux systèmes similaires implantées dans deux imprimeries différentes a permis de mettre en évidence qu'il est possible d'identifier des ALU invariantes induites par des CLU externes invariantes et que le choix d'implantation joue également un rôle crucial.

Ces aspects nécessitent d'être restitués au niveau du concepteur pour qu'à la fois, il prenne conscience de l'impact de certaines décisions ou négligences au niveau de l'activité des opérateurs et qu'il puisse identifier les leviers sur lesquels il peut jouer pour améliorer ces aspects.

Notre réflexion va de ce fait porter sur un moyen qui permettrait d'articuler à la fois l'ALU, ses risques induits, ses bénéfices et les CLU qui sont à l'origine de sa mise en œuvre.

Ce développement a fait l'objet d'une construction d'arbres logiques que nous explicitons dans le chapitre suivant.

---

## Chapitre II : Vers une conception plus sûre

---

Ce chapitre s'appuie à la fois sur :

- la partie I qui a consisté en un bilan théorique sur les outils et méthodes existants en matière de prévention des risques et qui a permis de mettre en évidence les difficultés liées à leur insertion dans les démarches de conception et leurs limites en matière de prévisibilité des risques,
- la partie II qui a montré de façon opérationnelle 1) les réalités d'une prévention des risques à la conception pensée en fin de processus et essentiellement basée sur les normes, favorisant de ce fait l'introduction de CLU, 2) que la phase d'implantation est une phase cruciale qui, elle-aussi, par adaptation du système à son environnement introduit des CLU, 3) qu'in fine, les opérateurs sont garants des objectifs de production et développent pour cela des ALU.

Dans ce cadre, nous menons une réflexion sur l'origine des risques qui émergent à l'exploitation à travers les différentes phases du cycle de vie du système, en montrant qu'ils sont conçus parallèlement aux solutions techniques élaborées par le concepteur et l'implanteur. Puis, nous retracerons l'évolution des ALU au sein de ce processus grâce à un modèle montrant toute la complexité des ALU au niveau du compromis sécurité – productivité auquel sont soumis les opérateurs dans le cadre d'une obligation implicite de production.

### **I. DE LA CONCEPTION DU RISQUE A LA CONSTRUCTION DE SECURITE**

#### **I.1. Les origines du risque**

Pour conclure sur la première partie de ce mémoire, nous avons construit un modèle montrant l'approche séquentielle des démarches de conception (Figure 16, page 72). Ce modèle montre plus particulièrement que le concepteur s'attache à répondre aux attentes de l'utilisateur en termes de performances techniques et que pour cela, il centre presque exclusivement sa démarche sur des résolutions de problèmes techniques : choix des technologies, des composants... Par ailleurs, les outils d'analyse de risques qu'il utilise potentiellement sont orientés vers une évaluation de la fiabilité technique du système.

Néanmoins, pour pouvoir commercialiser le système, il se doit de répondre aux exigences réglementaires de sécurité. Dans cette optique, une fois le système conçu techniquement, il utilise les normes pour protéger les zones dangereuses et les accès par différentes solutions techniques de sécurité répondant à l'obligation de moyens : c'est une sécurité réglementaire. Comme nous l'avons montré dans la partie II par une analyse des accidents dans le domaine de l'imprimerie, cette approche a montré son efficacité à partir de la fin des années 1980, en diminuant considérablement le nombre d'accidents. Elle fait néanmoins preuve de certaines limites qui ont été mises en évidence par l'analyse opérationnelle.

En réalité, lorsque les concepteurs ont procédé aux choix des composants technologiques qu'ils se sont efforcés de protéger (sécuriser) par la mise en place de systèmes de sécurité adéquats, ils définissent ensuite conjointement les conditions d'utilisation du système et les modes opératoires permettant, de leur point de vue, de faire fonctionner le système sans risque. C'est ce que l'on appelle la Zone d'Exploitation Nominale (ZEN). Les concepteurs sont d'ailleurs totalement couverts au regard de la loi concernant les accidents puisqu'ils suivent les recommandations normatives. La difficulté réside dans le fait qu'ils ne basent pas leur réflexion sur un moyen d'éliminer définitivement le risque lié aux composants techniques par la recherche de nouveaux concepts. Ils réutilisent préférentiellement des solutions techniques connues et éprouvées, à partir desquelles ils essaient de "masquer" ou de contrôler le risque. Ils procèdent en quelque sorte à **une conception du risque**, puisque celui-ci accompagne presque "naturellement" les composants techniques choisis.

De ce fait, on peut considérer que **certains risques sont "contenus" dans la tâche** définie par le concepteur. Par exemple, dans le cadre des systèmes d'imprimerie, il existe tout un dispositif complexe de portes de sécurité, de commandes bimanuelles, etc. nécessaires à la protection des zones dangereuses et accompagnées de procédures strictes en cas de besoin d'intervention. Ces procédures impliquent de côtoyer un risque masqué par des dispositifs, mais qui reste omniprésent.

Les travaux de Clot (2000) concernant la conduite des trains en banlieue parisienne permettent également d'illustrer cet aspect. En effet, l'auteur a montré que le risque sous-jacent à la tâche de conduite des trains concerne le manque d'intéressement qui induit des absences mentales de la part des conducteurs. Les tâches prescrites consistent essentiellement à contrôler la vitesse du train qui circule à vitesse réduite (étant donné l'encombrement important du trafic), en fonction de la signalisation. La tâche a donc été conçue de telle sorte

que le conducteur se trouve plutôt en position de spectateur, il n'est pas maître de la situation, il ne fait qu'"obéir" à des instructions sans avoir un aperçu global de la situation. De ce fait, l'activité de conduite est sujette à une distorsion entre la mise en œuvre des automatismes acquis par l'expérience et une vigilance qui est parfois en "pointillés" : *"il faut pouvoir à la fois réagir sans réfléchir et contrer les "délits d'habitudes" pour agir"*.

Cet exemple illustre le fait que le concepteur a introduit des aspects sécuritaires, correspondant à une tentative de réduction de la charge de travail et de la marge de manœuvre des opérateurs (dans le but d'éviter les erreurs), en ne leur attribuant "qu'une" tâche de contrôle qui présente l'effet pervers que nous venons d'explicitier. Nous sommes donc en présence d'un cas typique qui consiste à élaborer une tâche tout en induisant parallèlement un risque.

Comme l'a souligné Clot (2000), le problème vient du fait que les concepteurs ont une représentation faussée du processus. Dans le cas présent, le train est assimilé à une flèche ayant une trajectoire et une vitesse à respecter. Or, l'écart provient du fait que d'une part, le conducteur n'a pas souvent la cible dans son champ de vision et d'autre part, il se retrouve lui-même dans le projectile. On voit bien, par cet exemple, que le concepteur réfléchit en terme de technicité, délaissant la notion de travail du point de vue de l'opérateur.

Concernant les systèmes d'imprimerie, nous avons pu remarquer le même type de situation : il existe un décalage entre la définition des modalités d'accès aux organes dangereux élaborée par le concepteur et la réalité du travail. Lorsque le concepteur s'attache à protéger les accès, il a un raisonnement qui consiste à essayer "d'être plus malin que l'opérateur" (qui contourne la sécurité) et s'efforce dans ce sens de bloquer au maximum les accès. Il n'envisage à aucun moment les interventions en mode dégradé qui constituent le travail quotidien des opérateurs et qui sont nécessaires à l'atteinte des objectifs de production.

De plus, les modes opératoires prescrits suivent une logique d'actions précises à réaliser sur les différents composants de la ligne (dérouleurs, groupes...), cependant rien n'est dit sur l'attribution de ces tâches : est-ce qu'elles requièrent un statut, un savoir-faire spécifique ?... Elles sont décrites par le concepteur en dehors des considérations organisationnelles de l'équipe de travail. Cette dimension reste implicite et doit être en conséquence gérée par les utilisateurs. Dans le cadre des imprimeries analysées, c'est l'encadrement qui définit les modalités de fonctionnement de l'équipe en répartissant les rôles et les tâches. On peut se demander si cette lacune n'est pas source de risque pour l'activité des opérateurs, car on pourrait imaginer que des opérateurs non expérimentés aient à manipuler certains composants,

or nous avons observé que par exemple, concernant les tâches de calage au niveau des groupes, seuls les premiers ou seconds conducteurs disposent des compétences requises.

Les systèmes sont donc généralement conçus en dehors de tout contexte opérationnel, sans réflexion construite sur la situation de travail, comme cela a été constaté pour la société Heidelberg. Ce type de prescriptions est valable dans le cadre d'un fonctionnement nominal prévu. **Le concepteur connaît en quelque sorte une Couche Réglementaire de Sécurité (CRS)** qui constitue un espace entre la Zone d'Exploitation Nominale et la Zone d'Exploitation Non Acceptable, en d'autres termes entre l'opérateur et l'accident.

Or, lorsque le système est exploité, un premier décalage classique, largement mis en évidence dans le domaine de l'ergonomie, émerge entre la tâche et l'activité réelle. En effet, dans les systèmes complexes et instables, la tâche prescrite est redéfinie, actualisée par les opérateurs, en fonction de leur propres représentations et des aléas de la situation. L'activité elle-même ne correspond pas forcément aux opérations projetées et résultats attendus (Poyet, 1990). On peut ajouter que la tâche prescrite est basée sur une compétence supposée de l'opérateur, alors que la tâche effective est basée sur une compétence réelle (Leplat, 1991).

Nos analyses ont clairement montré que le système est rarement en fonctionnement nominal. L'analyse par arbre de défaillances réalisée lors de l'analyse opérationnelle (partie II) a par ailleurs démontré la grande fragilité de la ligne et la nécessité des opérateurs à intervenir régulièrement sur le système en fonctionnement dégradé. Ces interventions correspondent généralement à des activités sortant du cadre prescrit dont une partie implique une prise de risque de la part de l'opérateur. Cette prise de risque peut se manifester par un franchissement des barrières tel que nous l'avons montré lors de la définition des ALU (chapitre I). **Les ALU se situent dans l'espace initialement prévu par le concepteur entre la première barrière de sécurité et la dernière barrière de sécurité** (frontière de la zone accidentelle).

Cette réflexion avait pour but de resituer les origines du risque : notre constat permet d'établir que le risque est conçu en même temps que la tâche, puis se "rapproche" de l'opérateur lorsque celui-ci doit faire face aux différentes contraintes opérationnelles et franchit certaines barrières de sécurité réglementaire. La construction d'une sécurité réglementaire a donc montré ses limites. D'ailleurs, si dans la plupart des cas, l'accident est évité, c'est parce que les opérateurs procèdent eux-mêmes à une construction positive d'un espace opérationnel de sécurité.

## I.2. **Evolution de la maîtrise des risques dans un *processus de conception***

Les résultats issus de nos analyses de terrain nous amènent à conclure que :

- la phase de conception s'étend jusqu'aux premières utilisations, comme certains auteurs l'ont également souligné (Perrin, 1991 ; Rabardel, 1995 ; Fadier, 1998 B ; Dequaire-Falconnet, 2001) : les opérateurs découvrant le système neuf procèdent à un apprentissage par essai-erreur, s'approprient l'outil en développant des modes opératoires spécifiques...
- la phase d'implantation correspond à une conception de "détail" pendant laquelle des données implicites du CdC sont définies dans la phase de réalisation physique de l'installation sur le site (Neboit et al, 2000).

De ce fait, il n'y a plus lieu, selon nous, de parler de "phase de conception", mais bien de **processus de conception** comportant différentes étapes distinctes : conception – implantation – premières utilisations. L'analyse sur le terrain a pu mettre en évidence que chacune d'entre elles est susceptible d'introduire des facteurs de migration, tel que cela a été montré en synthèse de la partie II.

Pour comprendre l'évolution du système et de ses risques associés à l'intérieur de ce processus, nous avons construit un modèle représentant l'opérationnalisation d'un système montrant à la fois l'évolution de la maîtrise des risques et des objectifs visés à chaque phase (Figure 42).

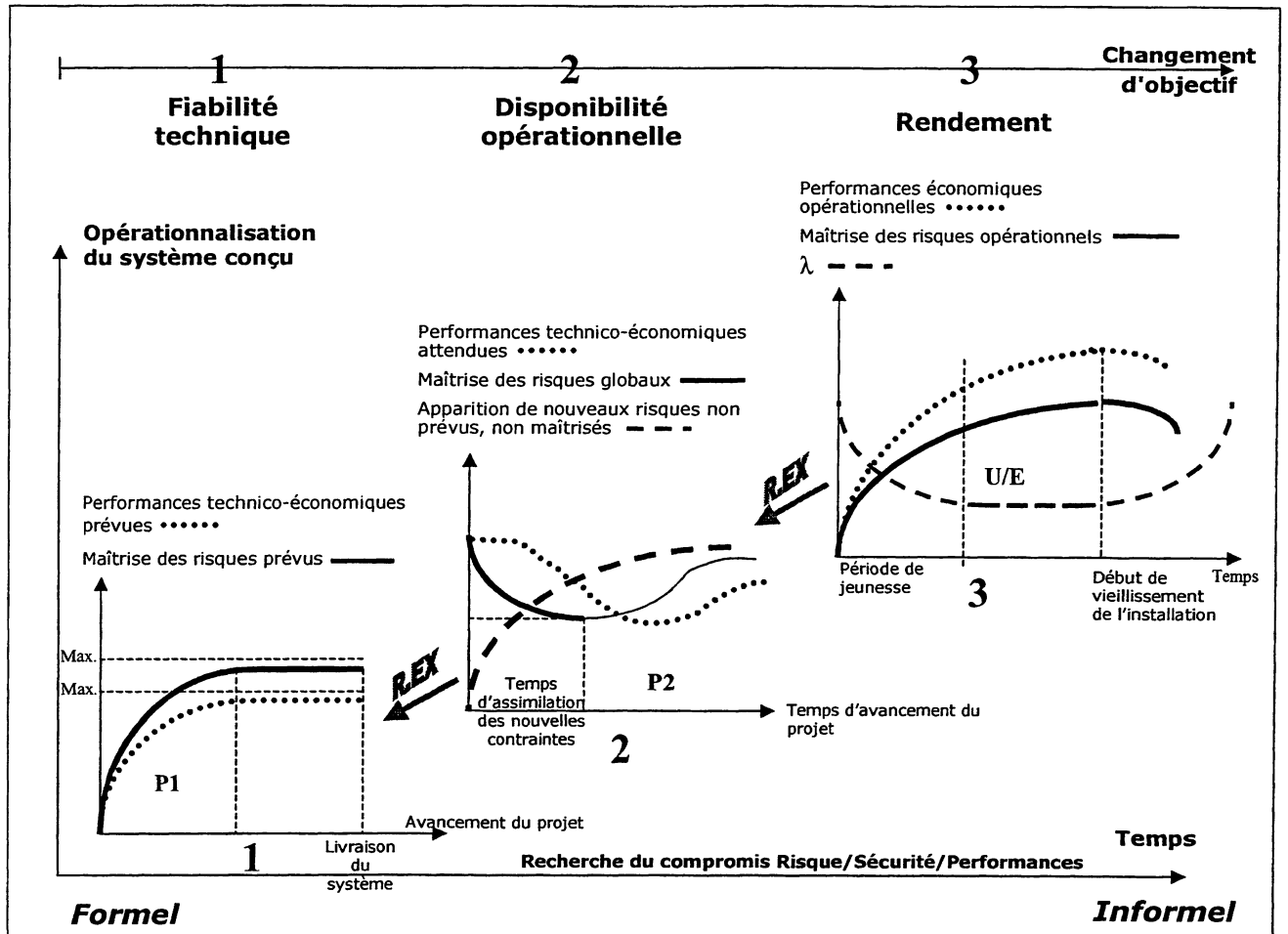


Figure 42 : Opérationnalisation du système dans l'espace de conception

Ce modèle est à considérer selon deux axes principaux : le passage du formel à l'informel en lien avec la recherche d'un compromis entre le risque – la sécurité – les performances (horizontalement) et le degré d'opérationnalisation du système (verticalement).

Les trois diagrammes à l'intérieur de cet espace représentent :

- 1) la conception,
- 2) l'implantation,
- 3) l'exploitation.

Ils sont placés les uns par rapport aux autres selon un axe de pente positive, montrant qu'au cours de son évolution, le système devenant opérationnel est constitué progressivement d'éléments informels de plus en plus importants (développements de modes opératoires acquis par l'expérience, de savoirs et savoir-faire) au détriment des données formelles (issues du concepteur).



Dans ce cadre, nous reprenons chacune des phases et explicitons les phénomènes qui s'y produisent en termes d'évolution des performances technico-économiques et de maîtrise des risques<sup>2</sup>.

**1) La phase de conception** correspond à une activité collective de résolution de problèmes au cours de laquelle, les acteurs vont s'efforcer de composer progressivement un système, à partir de solutions techniques, généralement connues, qui répondront à des objectifs de performance bien déterminés par le CdC. Lorsque le système est livrable, le concepteur a selon lui, conçu un système répondant aux performances technico-économiques exigées par le client (courbe en pointillés). Par ailleurs pour assurer ces performances, le concepteur procède éventuellement à une analyse de risques essentiellement centrée sur la fiabilité technique du système et se réfère aux normes concernant les aspects réglementaires de sécurité (la courbe en ligne pleine schématise cette progression de la maîtrise théorique des risques).

A ce stade, le système se situe dans le domaine du formel pour lequel toutes les tâches et procédures sont décrites précisément du point de vue du concepteur par l'intermédiaire de manuels opérateurs, guides de maintenance...

**2) La phase d'implantation** est quant à elle, assimilée à une phase de conception de détails pour laquelle les équipes de montage déploient tous leurs savoirs et savoir-faire pour adapter un système aux différentes contraintes liées à un environnement industriel spécifique, combinées à des difficultés d'ordre organisationnel (livraison des pièces, coordination des différents intervenants...). Au début du projet, la maîtrise des performances technico-économiques (courbe en pointillés) et la maîtrise des risques décroissent (courbe ligne pleine), car l'équipe de montage fait face aux multiples difficultés, qu'elle parvient progressivement à pallier (les deux courbes croissent à nouveau). Finalement, le système issu de cette phase est caractérisé par une disponibilité dite opérationnelle, dans le sens où elle diffère de celle prévue par le concepteur du fait des nombreuses adaptations qui ont dû être réalisées. D'ailleurs, ces adaptations et difficultés palliées peuvent introduire des facteurs de migrations qui généreront en

---

<sup>2</sup> Nous soulignons que nous ne commentons que des allures de courbes sans prendre en considération aucune échelle de grandeur, cela signifie qu'il n'y a pas lieu de comparer les courbes les unes aux autres à l'intérieur de chaque graphique.

quelque sorte de nouveaux risques (courbe en tirets), impliquant également une augmentation des éléments informels.

3) **L'exploitation** correspond donc théoriquement à l'aboutissement des deux phases précédentes, dans le sens où le système devrait être prêt à l'utilisation, néanmoins elle présente elle-aussi des caractéristiques en lien avec l'activité de conception.

Lorsque le système est neuf, son taux de défaillance suit généralement une évolution de courbe dite en baignoire (Villemeur, 1988) (courbe en tirets) selon laquelle, le système est soumis à de nombreuses défaillances au début de sa vie (période de défaillances précoces). Or, cette période coïncide également avec celle d'appropriation du système par les opérateurs. Dans ce cadre, la maîtrise des risques (courbe ligne pleine) et la maîtrise des performances technico-économiques (courbe en pointillés) augmenteront progressivement, jusqu'à un état plus ou moins stationnaire (période de défaillance à taux constant). Cet état stationnaire correspond également à une période au cours de laquelle les opérateurs ont acquis une expérience relativement importante du système, c'est à ce stade qu'ils développeront préférentiellement des ALU.

Ici les objectifs ont changé par rapport à la conception et l'implantation, ils sont envisagés du point de vue des opérateurs qui doivent répondre à une obligation implicite de production, donc en termes de rendement. On discerne bien toute la complexité liée à l'activité de production, puisque les opérateurs doivent faire en sorte de produire avec un système ayant subi de nombreuses adaptations et qui de fait, ne répond plus aux performances théoriques prévues. De surcroît, il n'a jamais été envisagé par le concepteur en tant qu'outil utilisé par des opérateurs, mais seulement en tant qu'outil technique de production ; d'où l'importance des ALU.

Ce modèle a donc pour vocation de reconstituer un espace de conception pour lequel :

- au fur et à mesure de l'opérationnalisation du système l'informel prédomine,
- l'objectif évolue : on passe des objectifs de fiabilité technique envisagés par le concepteur aux objectifs de rendement de l'utilisateur final,
- il devient de plus en plus difficile de trouver un compromis entre la maîtrise des risques, la sécurité, et les performances,
- la nature des risques évolue à travers les différentes phases du processus et leur maîtrise fluctue.

Une autre façon d'illustrer ce processus de conception, mais surtout le phénomène de migrations qu'il induit, consiste à reprendre le développement d'une ALU en fonction des différentes CLU et circonstances (Figure 43).

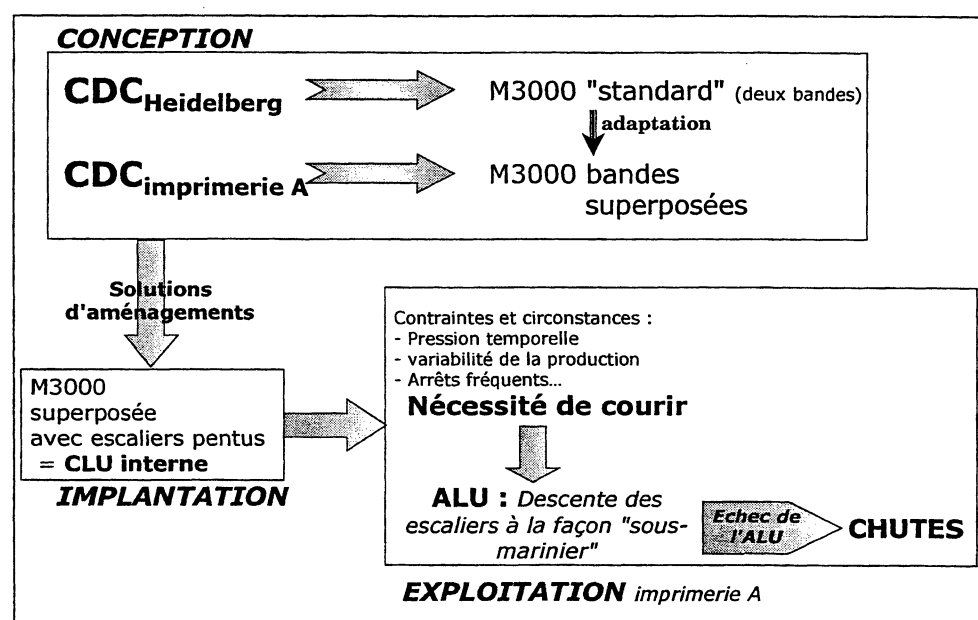


Figure 43 : Exemple de processus de génération d'une ALU

Cette figure illustre par un cas concret le fait que les choix établis au stade de la phase de conception peuvent générer des ALU, lorsqu'ils sont combinés à des contraintes fortes de production. Le choix d'implanter une ligne sur deux niveaux est induit par la nécessité de gagner de la place dans l'atelier. Le mode de régulation développé par les opérateurs consiste à descendre les escaliers en glissant avec les mains sur la rampe (gain de vitesse, moins de fatigue...). Néanmoins, cette ALU peut échouer et provoquer une chute de l'opérateur.

### I.3. Maîtrise des risques dans le processus de conception : intérêt de MAFERGO

La première partie de la thèse a montré que pour une prévention efficace des risques et au regard des outils existants, **il est indispensable d'appréhender le système sous un angle socio-technique**. Or, les analyses menées chez un concepteur ont montré que rares sont les réflexions construites autour de la situation de travail (l'homme et le système en interaction), puisque d'une part, il n'utilise pas d'outil de sûreté de fonctionnement pour évaluer la fiabilité technique d'autre part, il pratique une "ergonomie sans ergonome" induite par les acteurs habituels de la conception. Finalement, la démarche est essentiellement basée sur un "bon sens commun" et sur une expérience collective dans la construction de rotatives.

L'analyse opérationnelle, menée en deuxième partie de ce mémoire, a bien montré les limites d'une telle approche et a confirmé qu'il est **indispensable de raisonner en termes de processus de conception**.

Ces deux points sont donc à prendre en compte pour développer des démarches d'analyse de risques efficaces du point de vue opérationnel.

En ce sens, la méthodologie MAFERGO a permis de mettre en lumière, au niveau de l'exploitation, les conséquences liées aux nombreux facteurs de migration introduits au cours du processus de conception.

Son approche combinant les aspects de la fiabilité technique avec ceux de l'ergonomie a permis de soulever des inadéquations importantes entre les solutions techniques issues des phases de conception et d'implantation et la réalité opérationnelle avec ses aléas et incidents qui incitent les opérateurs à développer des ALU.

De plus, la mise en œuvre de MAFERGO exige l'utilisation de différents outils de description et d'analyse du système (Diagrammes blocs, AMDEC, Arbres d'événements, Arbres de défaillances). Ces outils sont conventionnellement prévus pour être utilisés à la conception. Or, leur application a posteriori donne une vision de l'état de fonctionnement réel du système, c'est à dire de tout ce que le concepteur ne peut prévoir et ignore. Il est donc intéressant grâce à MAFERGO, d'appréhender la conception des systèmes par une approche mixte : des données issues des analyses terrain (déterministes) couplées avec les données techniques théoriques issues du concepteur (probabiliste).

De plus, la démarche appliquée sur un site d'exploitation permet d'obtenir des données ordonnées et articulées, mettant en évidence les points faibles du système et leurs impacts sur l'activité et la sécurité des opérateurs.

Nous proposons donc d'étendre la mise en œuvre de MAFERGO, qui jusqu'à présent n'a fait l'objet que d'analyses a posteriori, jusqu'en phase de conception. Cette approche se différencie du retour d'expérience classique généralement pratiqué par le fait qu'elle est capable de constituer une analyse très approfondie et globale sur la situation. Contrairement aux retours d'expérience conventionnels, le champ d'action ne se situe pas au coup par coup, mais plutôt de façon systémique.

Dans le cadre des analyses menées chez les imprimeurs, toutes les données n'étaient pas accessibles et le personnel peu disponible. De ce fait, l'analyse dresse un cadre essentiellement basé sur les observations, les entretiens avec les opérateurs et quelques données de suivi de production. Ce cadre nécessiterait d'être complété par des données théoriques techniques issues du concepteur et nécessaires pour trouver les solutions adéquates

aux différentes difficultés identifiées. Par exemple, la construction d'un AdD concernant la plieuse s'est avérée être un exercice beaucoup trop complexe aux vues du peu de données techniques dont nous disposons et de la complexité du processus. Une réflexion commune avec des membres du BE et du service après-vente serait adéquate pour combler ce manque et approfondir la réflexion.

La méthodologie a un double impact puisque :

- d'une part, comme on vient de le souligner, elle permet au concepteur d'approfondir sa connaissance du système et de dépasser le stade des réclamations clients,
- d'autre part, elle permet de signaler à l'exploitant, l'impact de ses décisions en termes de gestion de la maintenance, du personnel, des consommables... sur l'activité des opérateurs (ces données sont plutôt indépendantes du concepteur et nécessitent des actions en interne).

## **II. ELABORATION D'ARBRES LOGIQUES POUR L'AIDE A LA DECISION EN CONCEPTION**

Comme nous l'avons montré précédemment, les ALU sont le fruit d'adaptations réalisées par les opérateurs en fonction de leurs compétences, savoirs, savoir-faire, en réponse à des CLU issues du processus de conception, des décisions prises à différents niveaux hiérarchiques et en fonction d'un contexte spécifique.

La recherche des concepts d'ALU et CLU a été menée dans le but de pouvoir procéder à une généralisation permettant de ne plus particulariser le retour d'expérience tel que cela est pratiqué généralement (c'est à dire au coup par coup) et d'inciter le concepteur à réfléchir plus profondément à ce type de problèmes. Dans cette optique, nous cherchons dans un premier temps à lui faire prendre conscience de l'impact des CLU introduites en conception. Cela nécessite de trouver un mode de représentation qui soit suffisamment explicite et complet pour que le concepteur ait une vision claire des activités identifiées sur le terrain.

Nous avons montré que le concepteur s'attache avant tout à satisfaire des exigences liées aux performances techniques du système et qu'autour de ces exigences, il opte pour des modalités non systémiques de prise en compte de la sécurité : des modalités explicites collectives basées essentiellement sur les normes, répondant à une obligation de moyens ; des modalités implicites individuelles (principalement localisées sur des problèmes spécifiques) dont le concepteur n'évalue pas l'impact sur la globalité du système.

Nous avons, par ailleurs, identifié des cas de conception pour lesquels, par oubli, des commandes avaient été placées trop haut, ce problème ayant été détecté en fin de conception. Ce genre de situations est le témoin d'un manque de méthodes, de démarches, d'outils permettant de systématiser la résolution de conflit entre sécurité et performances techniques et confirme qu'il est nécessaire d'engager une démarche de conception basée sur une obligation de résultats pour la sécurité.

En ce sens, notre contribution se situe au niveau d'une modélisation des situations observées, qui a pour but de rendre ces situations "lisibles" pour le concepteur qui, dans l'état actuel de ses connaissances, n'en soupçonne pas l'existence ou en sous-estime l'ampleur. Cette forme de représentation des ALU contient des éléments sur lesquels le concepteur peut agir pour améliorer sa démarche.

### II.1. Modalités de construction des arbres logiques

La réflexion a donc porté sur un mode de représentation permettant de restituer en quelque sorte l'aspect dynamique des ALU, dans le sens où elles sont initiées par des précurseurs, elles nécessitent la mise en œuvre de modes opératoires spécifiques et elles peuvent engendrer des conséquences bénéfiques (en cas de réussite) ou néfastes (en cas d'échec) sur la sécurité des opérateurs et l'intégrité du système technique.

Pour répondre à ces exigences, nous avons utilisé la logique de l'arbre de défaillances (porte ET et OU) qui permet d'articuler les éléments les uns aux autres et nous avons par ailleurs conservé toute la symbologie liée aux événements intermédiaires et événements de base.

Néanmoins, les modalités de représentation, c'est à dire de façon strictement descendante en lien avec un raisonnement déductif, ne nous ont pas semblé adaptées pour pouvoir représenter une certaine temporalité des événements. En effet, un des points faibles de l'AdD correspond à son mode de représentation à caractère "statique" : aucune précision n'est faite sur l'ordre d'apparition des événements, à moins d'utiliser des symboles spécifiques tels que des portes délais (qui ne nous semblaient pas adéquates).

Les modalités de représentation que nous proposons reposent en réalité sur un mode de raisonnement mixte (déductif et inductif). Dans ce cadre, notre construction est centrée sur un événement majeur intitulé "*Décision d'effectuer l'ALU*" qui est **positionné au centre** et non

en tant qu'événement sommet, tel que cela est pratiqué dans la construction des AdD classiques. A partir de ce positionnement, nous essayons de déterminer les événements amonts et les événements aval.

Ainsi, tous les événements figurant dans l'arbre sont considérés du point de vue :

- d'une part, des causes de la réalisation de l'ALU : des problèmes ou défaillances liés à la production, des circonstances, des éléments introduits par le processus de conception...
- d'autre part, des modalités amenant à l'échec de l'ALU : du type mode opératoire "défaillant" et leurs conséquences, sachant que l'événement sommet considéré reste toujours un incident ou un accident de la production.

Nous précisons que cette modélisation a été réalisée exclusivement au niveau des **ALU opérationnelles** dont les circonstances et facteurs initiateurs sont bien souvent identifiables, contrairement aux ALU managériales qui dépendent généralement de facteurs externes à la conception donc beaucoup plus larges.

## II.2. Résultats obtenus par la représentation par arbres logiques

Cette représentation par arbres logiques vient en quelque sorte compléter ce qui avait été démontré dans le chapitre I de cette partie (§ I.3.1, p.182) : l'insertion des ALU opérationnelles dans l'AdD (ayant pour sommet l'arrêt incidentel de la production), avait mis en évidence que ces ALU agissent comme des barrières puisqu'elles renforcent le système en transformant une coupe minimale d'ordre 1 en une coupe minimale d'ordre 2.

Dès lors, nous nous étions interrogés sur les facteurs pouvant amener à un échec de l'ALU ainsi que les conséquences liées à cet échec.

La représentation par arbre logique constitue une réponse à cette interrogation.

Les différents éléments représentés dans l'arbre logique, d'amont en aval, correspondent :

- aux événements motivant l'ALU, c'est à dire les "*causes de la prise de décision d'effectuer l'ALU*"<sup>3</sup> pouvant être liées à des anomalies de fonctionnement du système, des CLU, des circonstances...
- à la "*prise de décision d'effectuer l'ALU*" en elle-même qui symbolise le moment où l'opérateur décidera d'intervenir de cette façon sur le système (plutôt que de respecter les procédures prescrites),

---

<sup>3</sup> Les éléments en italique sont ceux qui figurent dans l'arbre.

- aux modalités mises en œuvre pour réaliser l'ALU, c'est à dire "*l'exécution de l'ALU*" qui correspond à un recensement logique de tous les événements amenant à l'échec de l'ALU,
- aux conséquences de l'échec de l'ALU ("*conséquences liées à l'échec de l'ALU*") en terme d'incident de production (du type : pas de rétablissement d'un niveau de qualité acceptable, aggravation du niveau de qualité, dégradation du système,...) ou d'accident (atteinte à l'opérateur). L'événement "incident et ou accident de production" constitue donc l'événement sommet de l'arbre.

Cette façon d'agencer les éléments les uns par rapport aux autres constitue en quelque sorte un modèle utilisable quelle que soit l'ALU opérationnelle traitée et permet de ce fait au concepteur de toujours garder la même logique.

La Figure 44 présente un exemple d'arbre logique concernant l'ALU : nettoyage des blanchets en rotation.



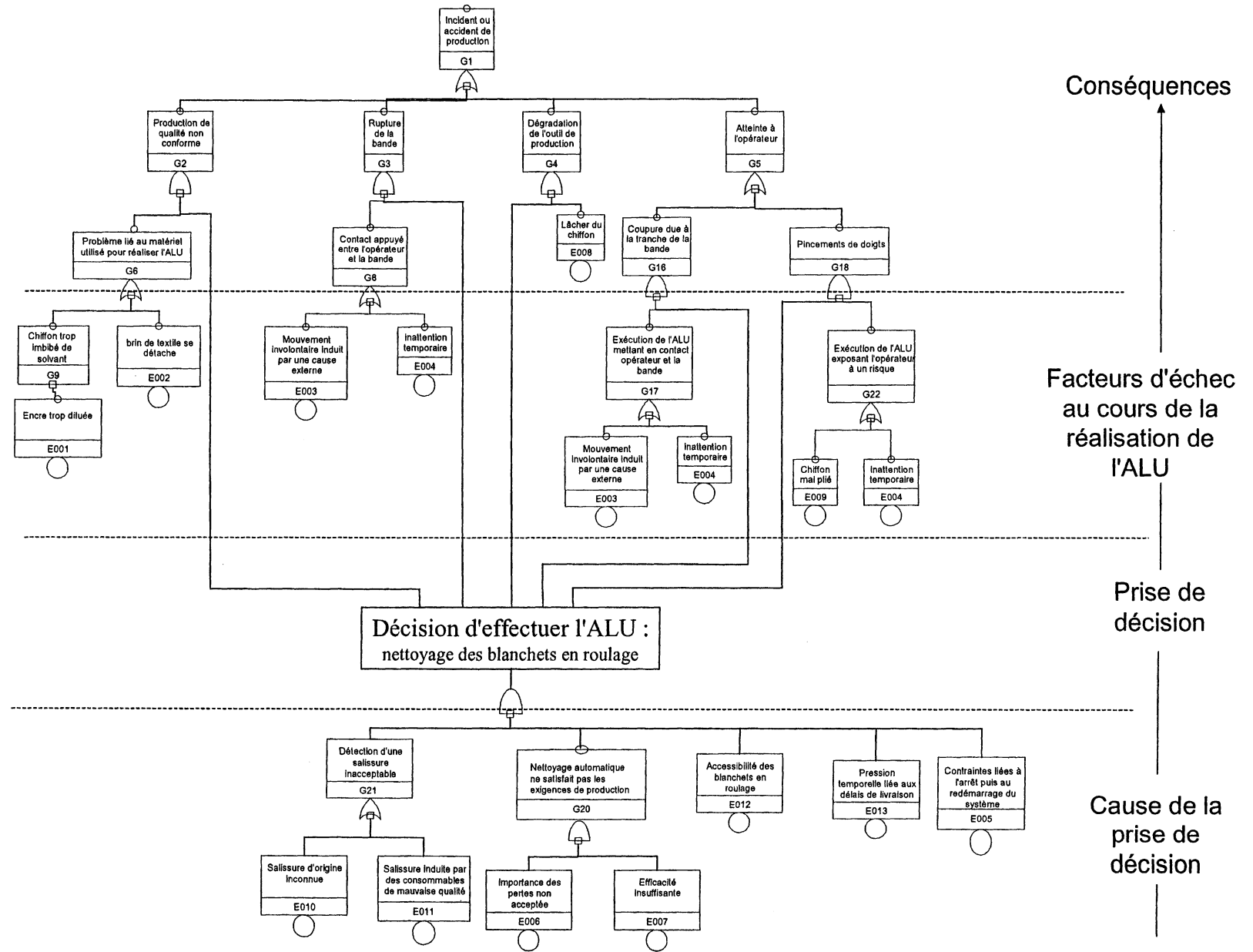


Figure 44 : Représentation par Arbre Logique de l'échec de l'ALU : nettoyage des blanchets en roulage

### II.2.1. Traitement de l'arbre logique de l'échec de l'ALU

Nous avons procédé à un traitement qualitatif classique de cet arbre (il suffit pour cela de reconstituer chaque branche correspondant à la décision d'effectuer l'ALU).

Nous obtenons les coupes minimales qui figurent dans le Tableau 21.

	<b>Coupes minimales</b>
1	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E001
2	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E002
3	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E001
4	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E002
5	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E003
6	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E004
7	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E003
8	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E004
9	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E008
10	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E008
11	E005, E013, E012, E007, E006, E011, E009
12	E005, E013, E012, E007, E006, E010, E009

Tableau 21 : Coupes obtenues par traitement qualitatif de l'arbre logique

Le Tableau 22 présente un récapitulatif des événements de base.

<b>Numéro de l'événement de base</b>	<b>Intitulé</b>
E001	Chiffon trop imbibé de solvant
E002	Brin de textile se détache
E003	Mouvement involontaire induit par une cause externe
E004	Inattention temporaire
E005	Contraintes liées à l'arrêt puis au redémarrage du système
E006	Importance des pertes non acceptée
E007	Efficacité insuffisante du lavage automatique
E008	Lâcher du chiffon
E009	Chiffon mal plié
E010	Salissure d'origine inconnue
E011	Salissure induite par des consommables de mauvaise qualité
E012	Accessibilité des blanchets
E013	Pression temporelle liée aux délais de livraison

Tableau 22 : Récapitulatif des événements de base

### **II.2.2. *Interprétation des résultats***

Le traitement nous permet d'identifier 12 scénarios pour lesquels la mise en œuvre de l'ALU conduit à un "incident ou accident de production", c'est à dire son échec.

**Les scénarios recensés correspondent à des coupes minimales d'ordre 7.** Cela signifie que la mise en œuvre de l'ALU est susceptible d'engendrer un incident ou un accident à la condition qu'il y ait une conjonction de 7 événements de base :

- d'une part, des événements qui initient la prise de décision (E005, E006, E007, E010, E011, E012, E013),
- d'autre part, des événements qui conduisent à des modes opératoires "défaillants" (E001, E002, E003, E004, E008, E009).

L'ordre élevé des coupes obtenues est bien représentatif du fait que l'ALU n'est pas le fruit du hasard : c'est ce genre d'élément qu'il est intéressant de remonter au concepteur.

Les 12 scénarios recensés sont autant de pistes à explorer par le concepteur pour éviter leur apparition.

Ainsi par rapport à ce traitement deux logiques peuvent être dégagées :

- soit une "exploration" des différents événements impliqués dans les scénarios pour faire en sorte de les éliminer définitivement, par exemple : faire en sorte que le nettoyage automatique soit plus efficace, empêcher définitivement l'accès au blanchet (sachant que le fait de bloquer les accès ne constitue pas en soi une solution efficace), éviter ou limiter toutes les contraintes liées à un redémarrage...
- Soit une "exploration" des scénarios un par un et de leur processus d'apparition qu'il faudrait essayer de canaliser dans des "chemins" ne présentant plus le risque de provoquer un accident ou un incident : configuration maîtrisée.

Les coupes obtenues révèlent par ailleurs que l'échec de l'ALU correspond à la **conjonction d'éléments de nature différente** :

- des facteurs inhérents au système et introduits par le concepteur (CLU) : tel que l'efficacité insuffisante du nettoyage automatique,
- des facteurs plutôt incontrôlables issus du processus : la présence d'une salissure peut venir de multiples origines différentes (poussières, cheveu...),
- des facteurs inhérents à l'activité mise en œuvre pour réaliser l'ALU : par exemple, l'utilisation d'un mauvais matériel (chiffon inadapté), des maladresses de la part de

l'opérateur ou un manque de savoir et savoir-faire (chiffon mal plié) sont autant de facteurs qui induisent un échec de l'ALU,

- des circonstances et facteurs issus de choix indépendants de l'exploitant : l'utilisation de consommables de mauvaise qualité qui sont exigés par le client, une pression temporelle induite par les délais.

Cette modélisation tente donc de recréer le caractère opérationnel des activités.

### II.2.3. Mise en évidence de la construction positive d'un espace opérationnel de sécurité

Nous avons souligné, lors de la définition du concept d'ALU, l'importance relative à la construction positive d'un espace de sécurité implicite de la part des opérateurs lorsqu'ils mettent en œuvre l'ALU.

Cet aspect semble également intéressant à mettre en évidence de façon explicite par l'intermédiaire des Arbres Logiques. Pour cela, nous avons construit un arbre ayant pour sommet "pertes réduites à un niveau accepté" qui correspond à l'objectif visé lors de la mise en œuvre de l'ALU, c'est à dire sa réussite. Cet arbre se différencie d'un AdD par le fait que l'événement sommet est un événement souhaité et tous les événements qui concourent à une exécution répondant aux objectifs, ne sont pas des événements de base (c'est à dire des défaillances), ce sont en quelque sorte des événements à réussir (événements figurant à droite de l'arbre).

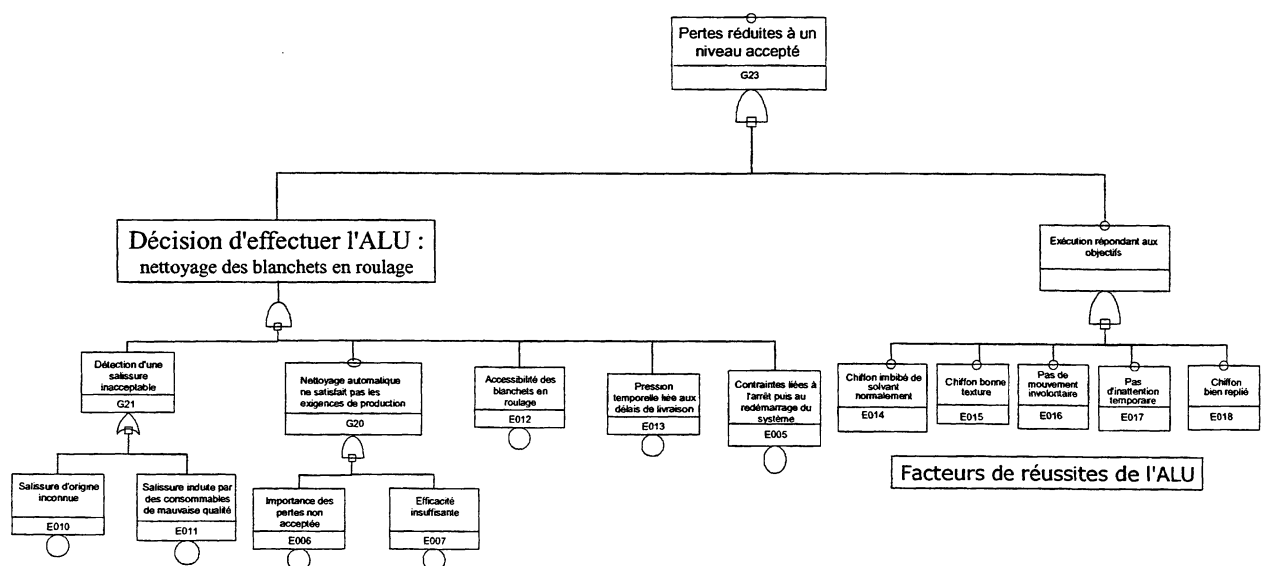


Figure 45: Représentation de la construction positive d'un espace de sécurité implicite

Le traitement qualitatif nous permet d'obtenir **deux coupes minimales d'ordre 11**, ce qui signifie que pour que la mise en œuvre de l'ALU puisse réduire les pertes à un niveau accepté, il faut une conjonction de 11 événements.

En réalité, il est surtout important dans ce cas, de tenir compte des facteurs de réussite de l'ALU qui représentent, à eux-seuls, la conjonction de 5 événements. L'importance liée à l'expérience, aux savoirs et savoir-faire des opérateurs prend alors toute sa signification.

### **II.3. Conclusion sur la représentation par Arbres Logiques**

L'arbre obtenu constitue donc un apport à deux niveaux pour la conception :

- d'une part, son aspect graphique est destiné à une visualisation ordonnée de tous les aspects relatifs à une décision de l'opérateur d'effectuer l'ALU,
- d'autre part, son traitement qualitatif permet de donner des pistes de réflexion quant à l'élimination de l'ALU opérationnelle ou sa canalisation vers des chemins n'amenant pas à des conséquences trop néfastes pour l'opérateur et le système.

L'Arbre Logique semble constituer un outil d'aide à la décision pour le concepteur, dans le sens où il restitue de façon relativement représentative la mise en œuvre de l'ALU et met en évidence des axes à prendre en considération dans le processus de conception.

Néanmoins cette construction nécessite d'être validée auprès du concepteur pour savoir si elle constitue réellement une aide. Cet aspect fera entre autre l'objet d'une rencontre entre des membres de la société Heidelberg et les différents laboratoires participant au projet GIPC PROSPER.

### III. DU FONCTIONNEMENT NORMAL AU FONCTIONNEMENT OPERATIONNEL INDUIT

A partir des différents constats et résultats établis dans cette troisième partie, nous nous attachons à présent à corroborer tous ces éléments sous la forme d'un modèle expliquant le passage d'un fonctionnement normal à un fonctionnement opérationnel induit.

La Figure 46 récapitule les composantes de la phase d'exploitation en lien avec les migrations et déterminants émanant de la conception et de l'implantation.

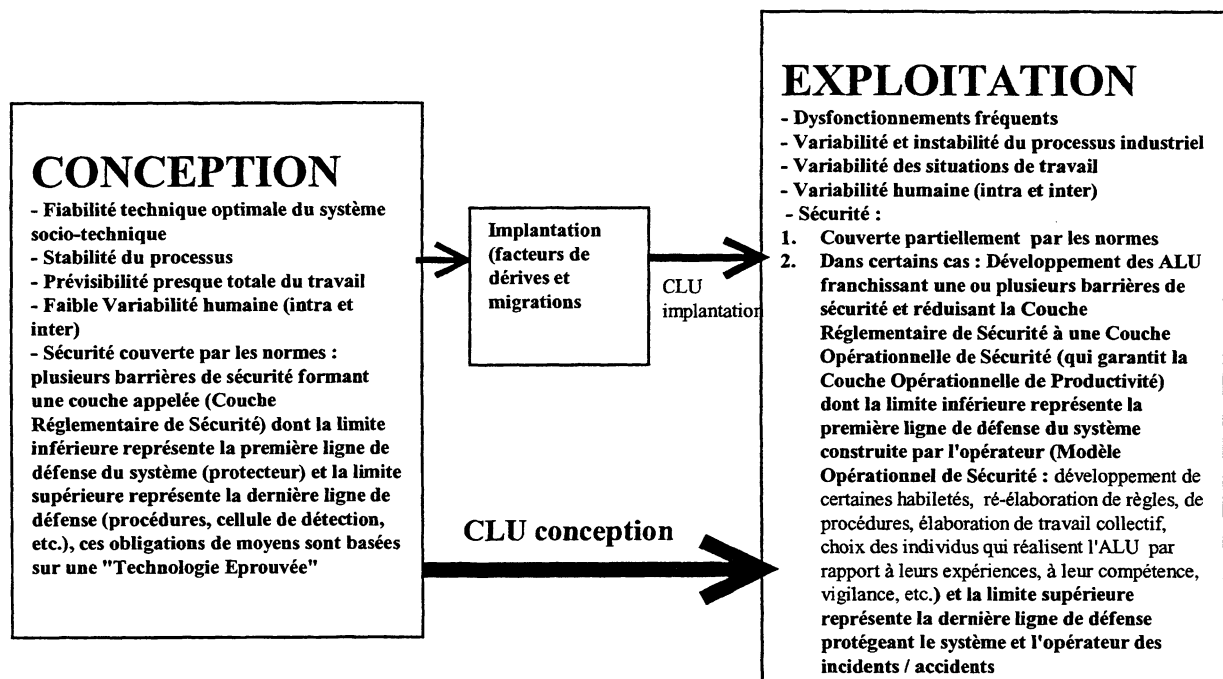


Figure 46 : La migration du système à partir de ce qui est prévu à la conception, jusqu'à l'exploitation opérationnelle (Fadier et al, 2001)

L'aboutissement de notre réflexion a permis la construction d'un modèle intégrant toutes les notions développées jusqu'à lors, pour montrer leur articulation et leur influence les unes par rapport aux autres.



Ce modèle est construit autour de trois zones principales :

- La **Zone d'Exploitation Nominale (ZEN)** comprise entre la Première Barrière de Sécurité et les Limites Supérieures des Performances Admissibles,
- La **Zone d'Exploitation Non Acceptable** du point de vue de la Sécurité (à droite du modèle) et de la Production (à gauche du modèle) : elle couvre la partie externe du modèle. Elle s'étend donc au-delà de la Dernière Barrière de Sécurité et des Limites Inférieures des Performances Admissibles,
- Entre ces deux types de zone, se trouve une troisième zone appelée **Zone d'Exploitation Limite tolérée à l'Usage** qui se situe au-delà de la Première Barrière de Sécurité, tout en restant dans les Limites Admissibles de Performances. Cette zone, à l'origine (à la conception), représente à la fois la Couche Réglementaire de Sécurité (CRS) et la Couche Admissible des Performances.

D'après nos analyses de terrain, la zone de pratiques quotidiennes correspond à une zone construite par les différents acteurs du travail, dans laquelle ils cherchent à accroître leurs marges de manœuvre, entre autres par des prises d'autonomie, en relation avec leurs compétences et en interaction avec les exigences et contraintes de la situation de travail. En outre, si dans le modèle de Rasmussen, cet espace est caractérisé par une marge d'erreur, nos analyses montrent qu'il s'agit :

- dans certains cas, plutôt d'un espace propre à l'apparition et à l'évolution des activités palliatives, pouvant tendre vers une zone limite, voire forcer le seuil de tolérance (permissivité) du système,
- dans d'autres cas, d'une migration dans le sens inverse, c'est-à-dire vers un espace de pratiques plus sûres. Ceci est illustré par des situations de récupération d'incidents.

Ainsi, ce modèle met en exergue la "réaction" dynamique du système de production face aux diverses contraintes (aléas, dysfonctionnements, etc.) qui dégradent les performances du système en l'emmenant dans la Zone d'Exploitation Non Acceptable (côté gauche du modèle). Cette réaction favorise une migration vers des choix organisationnels et des modes opératoires (ALU) ramenant les performances vers la Couche Admissible des Performances, en franchissant la Première Barrière de Sécurité prévue à la conception et fragilisant alors la sécurité globale du système socio-technique (côté droit du modèle). Toutefois, ce franchissement est compensé par la construction et la mise en place de procédures sécuritaires



de second ordre, constituant ainsi une Couche Opérationnelle de Sécurité (COS) et réduisant de la sorte la Couche Réglementaire Sécurité (CRS). Cette couche opérationnelle est fluctuante. Elle oscille au sein de la Couche Réglementaire de Sécurité, mais peut dépasser celle-ci en cas d'échec, provoquant alors l'incident ou l'accident.

---

## CONCLUSION

---

Comprendre comment est généré le processus de migration des systèmes de production a constitué l'objectif premier de cette recherche, afin de sensibiliser les concepteurs à l'impact de leurs choix et surtout favoriser l'intégration de la prévention des risques dans leur démarche de conception, tout en incitant un changement de regard sur la phase de conception.

### **Bilan de la recherche**

Après avoir réalisé une revue des définitions attribuées à la notion de risque, puis évalué la portée des approches et méthodes l'analysant, nous nous sommes positionnés selon une approche socio-technique qui permet selon nous, d'appréhender un système d'exploitation de façon systémique. Néanmoins, une revue de la littérature sur la conception a montré que cette activité complexe se heurte à la difficulté d'intégrer de tels outils dans les phases amont. De ce fait, la démarche de conception est plutôt de type séquentiel, répondant prioritairement aux exigences techniques (performance) du CdC et envisageant en fin de cycle les problèmes liés à la sécurité, essentiellement en utilisant les normes (partie I). Cette démarche s'avère insuffisante par rapport aux exigences et contraintes du contexte opérationnel dans lequel le système conçu évolue et dérive.

Dans le but d'identifier les facteurs initiant le processus de migration du système en exploitation, nous avons analysé des situations réelles de conception et d'implantation auprès de notre partenaire industriel concepteur de rotatives d'imprimerie. L'analyse de ces deux premières phases a, dès lors, confirmé que :

- certains éléments de migration sont introduits du fait des modalités non systémiques de prise en compte des aspects relatifs à la sécurité en conception : des modalités explicites collectives basées sur les normes et des modalités individuelles implicites principalement centrées sur des problèmes spécifiques locaux,
- l'implantation correspondant à une confrontation du modèle fonctionnel à la réalité et comprenant des caractéristiques de la conception, induit des modifications structurelles du système sur le tas et doit faire face à un certain nombre de difficultés organisationnelles et matérielles qui sont susceptibles d'avoir un impact sur les modalités d'exploitation.

Par ailleurs, lors de nos analyses opérationnelles de l'exploitation des rotatives, nous avons clairement identifié des situations de dérives, telles que Rasmussen (1997) les a définies dans son modèle. Dans ce cadre, les opérateurs mettent en œuvre des activités palliatives spécifiques permettant de rétablir les performances du système, parfois au détriment de leur sécurité (partie II).

Nous nous sommes alors attachés à définir et caractériser ces activités spécifiques que nous avons appelées Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU) pour pouvoir identifier leurs déterminants appelés les Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU) et construire un modèle de migrations comprenant la vision diachronique de l'évolution du système à travers les différentes phases (conception – implantation – exploitation) (partie III).

### **Les apports de la recherche**

Cette recherche a donc permis de confirmer une tendance générale, en matière de prévention des risques, dans les démarches de conception qui consiste à rester essentiellement basé sur les normes et à répondre à l'obligation de moyens qu'elles préconisent. Nous avons démontré les limites de cette approche, car nos analyses opérationnelles de travail ont mis en évidence les nombreuses incidences sur l'activité des opérateurs qui résultent notamment du manque de prise en compte de l'adaptation des équipements à leur environnement opérationnel futur, de la non prise en compte de la variabilité des situations industrielles et de leur caractère dynamique, d'un manque de connaissance sur la variabilité inter et intra-individuelle... Cette logique de conception classiquement pratiquée, consiste à faire en sorte de compenser la complexité croissante des systèmes techniques, par la création abondante et parfois excessive de procédures, consignes, systèmes de sécurité (constituant des "rajouts" de sécurité). On a vu que le risque est dans ce cas de figure, lié à la tâche.

Cette logique pousse alors les industriels à favoriser, dans les situations de conflit, la productivité (vue comme une rentabilité des investissements) à la sécurité (vue comme un coût, une contrainte). Dans ce cadre, face aux exigences et contraintes de travail, les opérateurs ont besoin d'une prise d'autonomie plus grande et supportent des responsabilités importantes lorsque certaines situations délicates nécessitent une prise de décision instantanée.

Ainsi, aux vues de ces difficultés, il apparaît que la *nouvelle approche* (exprimée par la Directive européenne, 89/392/CEE) énonçant de façon générale que les systèmes doivent répondre aux exigences essentielles, est plus adaptée pour une prévention systémique des

risques. En restant non directive, elle autorise une prise en compte multidimensionnelle des problèmes de sécurité. Pour cela, elle nécessite d'engager des analyses spécifiques et donc de mobiliser des ressources humaines (avec une complémentarité des compétences) et financières suffisantes. Elle implique de ce fait, d'envisager la prévention en tant qu'investissement et non en tant que coût. Or, les outils les plus systématiquement utilisés pour aborder cette approche, sont les outils relatifs à la SdF qui permettent certes d'améliorer la fiabilité technique, mais qui délaissent les aspects relatifs à l'activité humaine. Ils sont donc insuffisants pour améliorer la fiabilité globale du système.

Notre recherche a contribué à revoir les modalités de prise en compte des risques, en ce sens plusieurs résultats ont été établis :

- 1) La définition et la caractérisation des ALU doit permettre leur prise en compte dès la conception et donc de réactualiser le cadre de référence du système opérationnel dérivant et réagissant pour maintenir ses performances de production. Nous sommes néanmoins conscients que l'exhaustivité ne sera jamais atteinte et nous restons vigilants de ne pas tomber dans le travers de la conception largement connu, correspondant au fait que l'on ne peut pas tout prévoir. Cependant, en privilégiant une approche centrée sur les liens entre ALU et CLU, c'est à dire sur le processus de génération des migrations, nous pourrions aider les concepteurs d'une part, à considérer ces situations en tant que telles (car pour le moment les concepteurs ne connaissent pas toutes ces situations) et d'autre part, à trouver des solutions permettant de les éliminer (cas idéal) ou au moins de les accompagner (vers des scénarios sans risque).
  
- 2) Dans ce cadre, nous avons montré l'intérêt d'une analyse complémentaire des données issues de la fiabilité technique avec celles issues de l'ergonomie. En effet, la méthodologie MAFERGO a permis d'appréhender les situations de travail de façon systémique et nous considérons, par extension à son utilisation originelle, que cette méthodologie permet d'identifier les ALU (qui sont plus spécifiques que l'écart classiquement mis en évidence entre la tâche et l'activité réelle). Nous proposons de ce fait, d'intégrer MAFERGO aux démarches de conception, puisqu'elle préconise l'application d'outils SdF classiquement utilisés dans l'industrie (enrichissement des outils par les données déterministes) qui seront complétés par les données issues de l'analyse ergonomique pour avoir une vision globale de la situation.

Par conséquent, il s'avère indispensable d'envisager la mise en place d'une structure de retour d'expérience permettant d'intégrer les données déterministes recueillies à l'aide de MAFERGO. En effet, il est couramment observé, dans l'industrie classique<sup>1</sup>, que le retour d'expérience est plutôt informel, voire inexistant ou bien mis en œuvre en réponse à des cas extrêmes (tels que des accidents). Dans tous les cas, il est plutôt réalisé sur des problèmes locaux et non par rapport à la globalité du système.

Pour faciliter l'appréhension des ALU et CLU identifiées et leur intégration dans la démarche de conception, nous avons élaboré des arbres logiques recréant au maximum le caractère opérationnel de ces activités. Le traitement qualitatif de ces arbres permet d'obtenir des scénarios à partir desquels le concepteur peut envisager deux logiques :

- agir sur les différents événements impliqués dans les scénarios pour faire en sorte de les éliminer,
- analyser le processus de génération des scénarios afin d'essayer de les canaliser vers des "chemins" ne comportant plus de risque.

3) Le dernier point essentiel à prendre en compte pour une prévention efficace correspond à un élargissement de la *phase* de conception à un *processus* de conception. En effet, les analyses menées aux différents stades du cycle de vie du système ont clairement montré que le système subit des modifications qui sont autant de facteurs de migration future du fonctionnement. En ce sens, des facteurs de migrations (CLU) ont été formellement identifiés lors de l'implantation du système et d'autres ont été identifiés à partir de l'analyse opérationnelle des ALU (par déduction). Un modèle retraçant l'évolution du système à travers les différentes phases du cycle de vie (Figure 42) a permis de mettre en évidence que :

- au fur et à mesure de l'opérationnalisation du système, l'informel prédomine sur le formel,
- les objectifs évoluent puisque l'on passe d'objectifs de fiabilité technique envisagés par le concepteur à des objectifs de rendement du système que l'opérateur doit assumer,
- il devient de plus en plus difficile de trouver un compromis entre la maîtrise des risques, la sécurité et les performances,
- la nature des risques évolue à travers les différentes phases et leur maîtrise fluctue.

---

<sup>1</sup> Cela exclu les industries lourdes qui, elles, possèdent des structures de retour d'expérience très actives et efficaces, qui sont indispensables pour éviter les accidents graves.

Le Tableau 23 récapitule les éléments à prendre en compte pour une conception plus sûre des systèmes industriels.

Phase	Base de travail	Objectifs	Type de risque introduit	Approche préconisée
Conception	CdC	<p>Limiter l'apparition des risques sur toutes les phases du cycle de vie ; intégrer la notion de migrations.</p> <p>Limiter l'introduction de CLU.</p>	Risque lié aux fonctions et aux tâches.	<p>Adopter une logique de conception centrée sur les exigences essentielles de la Nouvelle Approche.</p> <p>Considérer le risque comme donnée du CdC.</p> <p>Utiliser des outils permettant d'appréhender les interactions homme-machine, approches socio-techniques : MAFERGO.</p> <p>Intégrer le retour d'expérience suffisamment tôt : traitement des ALU (arbres logiques) pour agir sur les CLU existantes.</p> <p>Envisager une conception participative.</p>
Implantation <sup>2</sup>	Système implantable : plans, pièces, composants livrés...	<p>Faire en sorte que le système implanté réponde aux objectifs de performances exigés par le client et aux exigences de sécurité prévues par le concepteur.</p> <p>Limiter l'introduction de CLU.</p>	Risque issu des modifications réalisées sur le tas, risque induit par une vision biaisée du système par les opérateurs de conduite...	<p>Obtention d'un suivi des données et des composants plus rigoureux.</p> <p>Construction d'un référentiel opératif commun d'une part, entre les monteuses de différentes sociétés et d'autre part, entre les opérateurs d'exploitation et les monteuses.</p> <p>Transmission du savoir plus adaptée entre démonstrateurs et opérateurs.</p>
Exploitation	Système neuf implanté, puis vieillissant.	Assumer les cadences de production tout en gardant un niveau de sécurité suffisant.	Risque lié à l'activité réelle	<p>Identification des ALU par MAFERGO : analyse réalisée par des spécialistes (fiabiliste &amp; ergonome) ou bien par un représentant sachant identifier les ALU en fonction des différents critères.</p> <p>Favoriser la formation des opérateurs par le concepteur (système de référence)</p>

*Tableau 23 : Eléments pour une conception plus sûre*

<sup>2</sup> Concernant cette phase, les recommandations ne sont pas exhaustives, car elle nécessiterait une analyse plus approfondie ; nous nous limiterons à quelques recommandations.

## **Les limites et perspectives de la recherche**

Notre recherche fait preuve de quelques limites qui constituent en réalité, autant de perspectives s'inscrivant dans la continuité du projet PROSPER.

Une première limite est liée au fait qu'un choix de notre part a consisté à essayer de passer en revue les différents domaines abordant la notion de risque (essentiellement le risque industriel), plutôt que de dégager réellement notre propre définition. Nous avons en effet préféré rechercher la complémentarité de ces approches.

Par ailleurs, toute la réflexion menée nécessite à présent d'être validée et élargie à d'autres domaines, et cela à deux niveaux :

- au niveau de la conception, les modèles proposés feront l'objet (entre autres) d'une rencontre entre les membres du projet GIPC PROSPER et plusieurs membres de la société Heidelberg travaillant à différents niveaux (BE, SAV...), en septembre 2001, pour savoir si ces modèles répondent aux attentes du concepteur. Il serait également nécessaire de s'intéresser à d'autres domaines industriels pour pouvoir généraliser et enrichir cette approche, ainsi que les notions abordées (modèle de migration, ALU, CLU...).
- au niveau de l'implantation, ces deux remarques sont également valables, d'autant plus que plusieurs types "d'implanteurs" peuvent être différenciés : le client peut lui-même procéder à l'installation du système qu'il a acheté, l'implantation peut être réalisée par un spécialiste (ne possédant pas forcément la même culture d'entreprise que le concepteur)... Par ailleurs, il faut rester vigilant sur le fait que nos observations de la phase d'implantation ont été relativement courtes et réalisées sur un seul site. Pour atteindre une certaine exhaustivité dans l'identification des facteurs de migration, il serait également intéressant de suivre les phases amonts (c'est à dire avant que la totalité des composants ne soit présente sur le site). Par ailleurs, un suivi des premières utilisations du système implanté pourrait permettre d'identifier les premières incidences sur l'activité des opérateurs, liées aux modifications réalisées sur le tas et aux diverses difficultés rencontrées par les monteurs. Ce point a fait l'objet d'une étude réalisée par l'UTC, dans le cadre du projet GIPC PROSPER.

Les résultats obtenus sont donc essentiellement exploratoires et nécessitent d'être validés, comme nous venons de le préciser. En effet, tous les éléments de solutions ont été dégagés sans évoquer la question de l'investissement que cela nécessite, ni les retombées financières qu'ils peuvent engendrer. En réalité, la validation de nos différents résultats constituera un appui pour convaincre les industriels à opter pour une telle approche.

De plus, pour le moment, la question d'une entité, d'un organisme ou d'une instance procédant à un "relevé" des ALU mises en œuvre lors de l'exploitation du système n'a pas été résolue.

Par ailleurs, une fois identifiées, la prise en compte des ALU et CLU dans la démarche de conception nécessite une structure permettant de traiter ce retour d'expérience. Selon les travaux de l'équipe UTC, la société Heidelberg ne dispose pas pour le moment d'une structure réellement adaptée (elle ne traite que les retour-clients litigieux). Dans ce cadre, l'équipe du CRAN a développé un modèle informationnel générique de situations de travail, qui peut être utilisé comme une méthodologie ou comme un guide permettant de représenter à tout moment les éléments en relation avec les concepts et indicateurs liés à la sécurité. Ce modèle est en cours de validation au sein de la structure d'Heidelberg.

Les recherches du LEI s'attachent, conjointement aux travaux de l'équipe du CRAN, à identifier les représentations dont disposent actuellement les acteurs de la conception, afin de procéder à leur enrichissement en lien avec les ALU et CLU définies.

Pour finir, la notion de barrières a souvent été évoquée dans notre recherche sans réellement la développer. Cet aspect fait l'objet d'une recherche menée par l'équipe du LAMIH qui s'attache à mettre en place une plate-forme expérimentale dans le but de tester différents types de barrières : leur flexibilité, leur utilité, leur limite...



---

## BIBLIOGRAPHIE

---

**ABRAMOVICI M., 1999**

La prise en compte de l'organisation dans l'analyse des risques industriels, méthodes et pratiques, Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan

**AFAV- AFNOR, 1989**

Exprimer le besoin – Application de la démarche fonctionnelle, Collection AFNOR Gestion

**AFNOR, 1990**

Analyse de la valeur –Vocabulaire, Norme expérimentale X50-150

**AMALBERTI R., 1996**

La conduite des systèmes à risques, PUF, collection le travail humain, 239 p.

**AMOUSSOU G.-A., 1999**

Modélisation fonctionnelle dans la conception et la re-conception des systèmes industriels, Thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne

**BAINBRIDGE L., 1982**

Ironies of automation – in *Analysis, Design & Evaluation of Man-Machine Systems*, Johannsen G. and Rijnsdorp J. E.

**BARAM M., 1995**

Safety management : organizational learning disabilities in using accident analysis, Personal paper presenting at Network Meeting, Bad Homburg, Germany

**BARBET J.F., GUYONNET J.F., 1984**

Les méthodes d'analyses de la sécurité des systèmes, RGS n°30, janvier, pp. 42- 50

**BLAISE J.C., 2001**

Apport d'une modélisation de l'information normative à l'intégration des règles de sécurité des machines en conception, Thèse de doctorat, Université Henry Poincaré Nancy I.

**BONNARDEL N., 1992**

Le rôle de l'évaluation dans les activités de conception, Thèse de doctorat, Université d'Aix en Provence

**BONNARDEL N., 1999**

L'évaluation réflexive dans la dynamique de l'activité, in *Pilotage et évaluation des processus de conception*, (sous la direction de) Perrin, L'Harmattan, 159p.

**BOSSARD P., 1997**

Origines et définition de l'ingénierie concourante, in *Ingénierie concourante, de la technique au social*, (sous la direction de) Bossard, Chanchevri, Leclair - Economica, 166p.

**CAISSE NATIONALE de l'ASSURANCE MALADIE des travailleurs salariés, 1991**

Machines à imprimer offset à bobines, prévention des accidents - Recommandations aux entreprises relevant du Comité Technique National des Industries du Livre, adoptées le 22 octobre 1991.

**CALVEZ, 1992**

Spécification et conception des systèmes : une méthodologie, Paris : Masson, 614 p.

**CABARBAYE A., LAMINE N., 2000**

Simulation dynamique des arbres d'événements, 12<sup>ème</sup> Colloque National de Sécurité de Fonctionnement, Montpellier, 28-30 mars 2000, pp. 231-240.

**CECA, 1972**

Fiabilité et sécurité, éléments pour une ergonomie des systèmes en milieu industriel – Etudes de physiologie et de psychologie du travail, n°7, Luxembourg

**CELLIER J.M., 1990**

L'erreur humaine dans le travail, ?, in *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, (sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, 386 p.

**CHANAN S. S., UNNY M., 1994**

Concurrent Engineering, concepts, implementation and practice – Chapman & Hall, 234p.

**CHESNAIS M., 1990**

Erreurs, facteur de risque ou prise de risque, facteur d'erreur ?, in *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, (sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, 386 p.

**CICCOTELLI J., 1997**

Intégration de la sécurité à la conception – Approche réglementaire et normative relative aux machines : principes généraux et méthodologie- Séminaire INRS, Nancy.

**CLARK, HAYES, WHEELWRIGHT, 1988**

Dynamic manufacturing, creating the learning organization, The free press, New York

**CLOT Y., 2000**

La place des autres dans le travail du conducteur de train, Séminaire "Le risqué de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations", 6-7 novembre 2000, Gif sur Yvette.

**CNRS, 1997**

Projet GIPC PROSPER – Programme Système de Production – *Intégration des conditions limites d'utilisation des équipements de travail, pour la prévention des risques associés, dans la conception des systèmes de production.*

**CORBETT J.M., 1988**

Ergonomics in the development of human-centered AMT, Applied Ergonomics, 19, 1, 35-39 pp.

**DANIELLOU F., 1987**

Les modalités d'une ergonomie de conception, introduction dans la conduite des projets industriels – Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS

**DANIELLOU F., 1988**

Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continus, quelques étapes clé, Le travail Humain, tome 51, n°2/1998

**DANIELLOU F., 1992**

Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception, Habilitation à Diriger des Recherches – Toulouse, Université Le Mirail

**DARSES F., 1992**

Mécanismes cognitifs de gestion de contraintes dans la résolution de problèmes de conception, ERGO-IA'92, Biarritz, 7-9 octobre

**DARSES F., FALZON P., 1996**

La conception collective : une approche de l'ergonomie collective, in *Coopération et conception*, (sous la direction de) De Terssac & Friedberg, Octarès, 330 p.

**DE KEYSER V., 2001**

Les systèmes de report d'incident, Séminaire "Le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations" – 12-13 mars 2001 - Gif sur Yvette

**DE LA GARZA C., 1999**

Repères théoriques et méthodologiques pour l'analyse du processus de conception dans le domaine industriel, Rapport d'état d'avancement Projet PROSPER n°2

**DE LA GARZA C., 2000**

Modalités d'intégration de la sécurité dans une activité de conception : l'exemple d'une rotative, Rapport d'état d'avancement Projet PROSPER n°4

**DE LA GARZA C., WEILL-FASSINA A., 2000**

Régulations horizontales et verticales du risque. In Weill-Fassina A., Benchekroun T. H. (eds.), *Le travail collectif, perspectives actuelles en ergonomie*. Toulouse : Octarès éditions, pp. 217-234.

**DE TERSSAC G., CHABAUD C., 1990**

Référentiel opératif commun et fiabilité in *Les facteurs humains de la fiabilité*, (sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, pp. 109-139

**DE TERSSAC G., 1992**

Autonomie dans le travail, Presses Universitaires de France, 279 p.

**DE TERSSAC G., 1996**

Le travail de conception : de quoi parle-t-on?, in *Coopération et conception*, (sous la direction de) De Terssac & Friedberg, Octarès, 330 p.

**DEQUAIRE E., THEUREAU J. , 2000**

Coopération et autres formes de travail collectif dans la conduite de rotatives et prévention des risques dès la conception, In Journée PROSPER "*Coopération en conception et en exploitation dans les systèmes de production*" - 17 février – Paris

**DEQUAIRE-FALCONNET E., 2001**

Compte rendu d'activité, Projet GIPC PROSPER, Septembre

**DIDELOT A., FADIER E., 1999 A**

Risques et conception : problématiques, caractéristiques et perspectives, 6<sup>ème</sup> séminaire Confère, Angers

**DIDELOT A., DE LA GARZA C., FADIER E., OTTENSEN C., 1999 B**

Analyse d'une situation de travail dans l'imprimerie et application de MAFERGO : le cas de la M3000 – *Rapport d'avancement projet GIPC PROSPER*

**DIDELOT A., 2000**

Deuxième rapport d'avancement, convention INRS – INPL

**DIDELOT A., FADIER E., CICCOTELLI J., 2000**

Contributions and limitations of standardization with respect to automated system design, European Safety & Reliability International Conference, ESREL 2000, Edinburgh, Scotland, pp. 127-131

**DIDELOT A., FADIER E., 2001 A**

Caractérisation des situations à risque à partir d'une analyse opérationnelle pour l'optimisation de la conception, 4<sup>ème</sup> congrès international pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement, 22-23 mars 2001, Annecy, pp. 64-71

**DIDELOT A., FADIER E., POLET P., VANDERHAEGEN F., 2001 B**

Toward the prevention of risks at the design stage: Comparative survey of two operating systems. European Safety & Reliability International Conference, ESREL 2001, Torino, Italy, September 16-20, 2001

**DIRECTIVE EUROPEENNE 89/392/CEE, 1989**

concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines, modifié par les directives 91/368/CEE du 20 juin 1991 et 93/44/CEE du 14 juin 1993.- J.O.C.E. n° L 183 du 29 juin 1989, pp.9-32 ; n° L 198 du 22 juillet 1991, pp 16-32 ; n° L 175 du 19 juillet 1993, pp. 12-20.

**DUTUIT Y., 2001 A**

Autour de la "mesure" du risque, Séminaire "Le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations" – 12-13 mars 2001 - Gif sur Yvette

**DUTUIT Y., 2001 B**

Fiabilité Dynamique, Projet ISDF 6/2000

**E 09-000, 1933**

Momérandum sur la normalisation en matière de santé et de sécurité destinée à appuyer les directives "nouvelle approche" – Application au domaine des machines

**EN 1010, 1997**

Sécurité des machines – Prescription de sécurité pour la conception et la construction des machines d'impression et de transformation du papier

**EN 1050, 1997**

Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque

**EN 614, 1995**

Sécurité des machines - Principes ergonomiques de conception

**EN 292, 1991**

Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception

**FADIER E. GUILLERMAIN H., 1987**

Fiabilité humaine, Aspects qualitatifs et/ou quantitatifs, *Préventiques*, n° 4, pp. 44-48

**FADIER E., 1988**

L'apport de l'outil arbre de défaillances pour la conception d'aides au diagnostic d'incident : application à un système chimique informatisé, 5<sup>ème</sup> Séminaire Européen sur la Sécurité des Systèmes, Cannes

**FADIER E., 1989**

Approche a priori, approche a posteriori : une complémentarité nécessaire pour une analyse de fiabilité, RGS, n°83, pp. 46-51

**FADIER E., 1990**

Fiabilité humaine : méthodes d'analyse et domaines d'application, in *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*,(sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, 386p.

**FADIER E., 1992**

Les pratiques françaises en matière de sûreté de fonctionnement, cyndinics'92 : Actes du séminaire européen sur les sciences du danger, RGS Editions

**FADIER E., 1995**

Analyse fonctionnelle et facteurs humains, journées d'études "Analyse fonctionnelle, analyse de la valeur et maîtrise de la qualité", organisée par l'ISI et l'ISDF

**FADIER E., 1996**

L'intégration des facteurs humains dans la sûreté de fonctionnement, une nécessité pour la maîtrise des risques, REE, n°8, septembre

**FADIER E., NEBOIT M., 1996**

Proposition d'une méthode d'analyse de la fiabilité opérationnelle intégrant l'analyse ergonomique, 10<sup>ème</sup> Colloque National de Fiabilité & Maintainabilité

**FADIER E., 1997**

La fiabilité opérationnelle des systèmes automatisés, Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine

**FADIER E., 1998 A**

Développement d'une méthode d'analyse, d'évaluation et d'optimisation de la fiabilité – Etude Terminée de l'INRS

**FADIER E., 1998 B**

L'intégration des facteurs humains à la conception, travaux actuels et perspectives - Phoebus, numéro spécial, pp. 59-66

**FADIER E., 1999**

Controlling risks at the design stage : contribution of operational logic, Conférence internationale Sécurité des systèmes industriels automatisés, pp. 79-84

**FADIER E., DIDELOT A., 2000**

Identification and predictive modelling of risks at the design stage : contribution of the MAFERGO methodology, 5<sup>th</sup> international conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, edition Universal Academy Press, pp. 1787-1792, 2000

**FADIER E., DE LA GARZA C., DIDELOT A., 2001**

Design and safe use of automated systems : contribution of the analysis of human activity, *proposée pour la revue Safety Science*

**FADIER E., 2001**

Safety of automated systems and the human factor : considerations and perspectives, 2<sup>nd</sup> International Conference – Safety of Industrial Automated Systems, 13-15 November 2001, Bonn, Germany

**FAVARRO M., MONTEAU M., 1990**

Bilan des méthodes d'analyse a priori des risques, partie 2 : Principales méthodes de la sécurité des systèmes – Cahiers de notes documentaires n° 139, INRS

**FAVARRO M., 2001**

Evaluer les risques professionnels : Aperçu de la complexité des problèmes pour le préventeur - Préventique, n°56, mars-avril.

**FAVERGE J.-M., 1967**

Psychologie des accidents du travail, Presses Universitaires de France, Coll. Le Psychologue, Paris, 160 p.

**FEVRIER QUESADA T., 2001**

La phase d'essais dans la conception de rotatives: validation de l'opérativité du fonctionnement et de la sécurité de systèmes automatisés. Mémoire de DEA d'Ergonomie, CNAM, Université Paris 5, Université Paris 8, Université de Toulouse Le Mirail.

**GARRIGOU A., 1992**

L'apport des confrontations d'orientations socio-cognitives au sein de processus de conception participatifs : le rôle de l'ergonomie, Thèse de doctorat, CNAM

**GARRIGOU A., 1994**

La compréhension de l'activité des concepteurs, un enjeu essentiel – Actes des journées de Bordeaux sur la pratique de l'ergonomie

**GOGUELIN P., CUNY X., 1988**

La prise de risque dans le travail, Actes des journées d'étude et de réflexion, Octarès, p. 252

**GROSJEAN V., 1999**

Assistance à la conduite des situations dynamiques : influences de la construction d'une perspective temporelle sur la performance experte, Thèse de Doctorat, Université de Liège.

**GROUPE MADS, 1994**

Contribution à l'élaboration d'une science du danger, aspects méthodologiques – Les "entretiens de la technologie" – 3<sup>ème</sup> Edition

**GRUSENMEYER C., 1996**

De l'analyse des communications à celle des représentations fonctionnelles partagées, une application à la relève de poste, Thèse de doctorat réalisée dans le cadre de l'étude INRS A.8/1

**GUILLERMAIN H., FADIER E., 1990**

De l'analyse du système à l'analyse de l'interaction opérateur-machine : proposition méthodologique, In Leplat & de Terssac, *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, Octarès Entreprises – pp.241-265

**HASAN R., 1999**

Deuxième rapport d'avancement, dans le cadre du projet GIPC PROSPER, CRAN, novembre

**HASAN R., 2000**

Troisième rapport d'avancement, dans le cadre du projet GIPC PROSPER, CRAN, novembre

**HATCHUEL A., 1996**

Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription, in *Coopération et conception*, (sous la direction de) De Terssac & Friedberg, Octarès, 330 p.

**HENRY J. L., LAHITTE A., LEGUILLY H., MARQUET R., PLADYS P., 1981**

Etude des nuisances dans l'industrie graphiques (association des entreprises de médecine de travail).

**HO M.T., 1976**

Réflexion sur l'analyse de la sécurité des systèmes, ses méthodes et ses problèmes, Cahier de Notes Documentaires, pp. 571-580

**HOLLNAGEL E., 1991**

Cognitive ergonomics and the reliability of cognition, *Le travail humain*, 54, 4, pp. 305-322

**HOLLNAGEL E., 1999**

Accident and barriers, 7<sup>th</sup> European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, 21-24 Septembre, Villeneuve d'Ascq, France. pp175-180

**HOLLNAGEL E., 2001**

Accident modeling and performance variability management, 4<sup>th</sup> Multidisciplinary Seminar on "Risk, Errors and Accidents, and their Control" – "Risk Control and Risk Management", 14-15 mai, Gif-sur-Yvette

**ISDF, 1994**

L'état de l'art dans le domaine de la fiabilité humaine, (sous la direction de) Fadier E., Octarès, 446 p.

**JEANNETTE J.-P., LIMNIOS N., 1985**

Méthodes actuelles d'analyse de la sûreté des systèmes, RGS, n°43, pp. 46-52

**JOUFFROY D., 1999**

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, thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy I

**KRAWSKY G., 1995**

Ergonomie, normalisation et acceptation des protecteurs individuels, Cahier de Notes Documentaires INRS, n°158, pp. 113-116

**LAPRIE J.-C., ARLAT J., BLANQUART J.P., COSTES A., CROUZET Y., DESWARTE Y., FABRE J.C., GUILLERMAIN H., KAÂNICHE M., KANOUN K., MAZET C., POWELL D., RABEJAC C., THEVENOD P., 1995**

Guide de la sûreté de fonctionnement, (sous le direction de) Laprie, Cépaduès Edition, 324 p.

**LEPLAT J., CUNY X., 1977**

Introduction à la psychologie du travail, Presse Universitaire de France, Le Psychologue, 240 p.

**LEPLAT J., 1985**

Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail, Armand Colin, 197 p.

**LEPLAT J., 1991**

Compétence et ergonomie, in *Modèles en analyse du travail*, (sous la direction de ) Amalberti & de Montmollin & Theureau, éd. Mardaga, 346 p.

**LEPLAT J., 1997**

Regards sur l'activité en situation de travail, Contribution à la psychologie ergonomique, Presses Universitaires de France, 256 p.

**LEROY A., SIGNORET J.-P., 1992**

Le risque technologique, Presses Universitaires de France, 127 p.

**LIEVENS C., 1976**

Sécurité des systèmes, Cépaduès-Edition, 284 p.

**LIMNIOS N., 1991**

Arbres de défaillances, Traité des nouvelles technologies, Hermès, 183 p.

**MAGGI B., 1996**

La régulation du processus d'action du travail, in *Traité d'ergonomie* (nouvelle édition actualisée), (sous la direction de) Cazamian, Hubault, Noulin, Octarès Edition, pp. 637-662

**MALINE J., 1994**

Simuler le travail, une aide à la conduite de projet, Editions de l'ANACT, 156 p.

**MAUGEY B., 1996**

L'utilisateur final et le processus de conception, A partir d'un exemple de l'industrie aéronautique, DEA, Université Toulouse Le Mirail

**MAYER A., 1992**

European directive and standards relating to personal protective equipments. In Mc Briarty JP, Henry N.W. (éds) – Performances of protecting clothing. Philadelphia, American Society of testing and materials, n°ASTM SPP 1133, vol. 4

**MAZEAU M., CHRISTOL J., 1995**

De l'analyse de l'activité à l'élaboration des solutions, Performances humaines & techniques, n° hors série Septembre, pp. 52-62

**MEINADIER J.-P., 1998,**

Ingénierie et conception, Hermès, 542p.

**MIDLER C., GIARD V., 1993**

Pilotages de projet et entreprises : diversités et convergences, ECOSIP, Economica, 327 p.

**MIDLER C., 1996**

Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception, in *Coopération et conception*, (sous la direction de) De Terssac & Friedberg, Octarès, 330 p.

**MIDLER C., GAREL G., KESSELER A., 1997**

Le co-développement, définitions, enjeux et problèmes, Educations Permanentes.

**MILLER D., 1993**

Le paradoxe d'Icare, comment les entreprises se tuent à réussir, Laval (Québec), ESKA, 1993.

**MILLOT P., 1988**

Supervision des procédés automatisés et ergonomie, Edition Hermès, Paris, 237p.

**MILLOT P., 1999**

Systèmes Homme-machine et automatique, Journées Doctorales d'automatique JDA'99, Nancy

**MINISTERE DE L'INDUSTRIE, DE LA POSTE ET DES TELECOMMUNICATIONS, 1997**

L'ingénierie centrée sur l'homme ou la prise en compte des facteurs humains dès les premières phases de la conception, Brime – Eurosyn Développement

**MONTEAU M., 1992**

La gestion de la sécurité du travail dans l'entreprise : du carter au plan qualité, Performances humaines & techniques, n°61 nov-déc 1992 pp.30-34

**MONTEAU M., 1997**

Prise de risque, « dérives » et autres imprudences, Les notes scientifiques et techniques de l'INRS n°155

**MORIN E., 1996**

Introduction à la pensée complexe, Communication et complexité, ESF, 158 p.

**NAVARRE, 1993**

Pilotage stratégique de la firme et gestion de projets : de Ford et Taylor à AGILE et I.M.S., in *Pilotages de projet et entreprises*, ECOSIP, Giard & Midler, Economica, 327 p.

**NEBOIT M., CUNY X., FADIER E., HO M.T., 1990**

Fiabilité humaine : présentation du domaine, in *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, (sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, 386p.

**NEBOIT M., FADIER E., POYET C., 1993**

Analyse systémique et analyse ergonomique, Application conjointe à la re-conception d'une cellule robotisée d'usinage – Les notes scientifiques et documentaires de l'INRS, juillet

**NEBOIT M., FADIER E., DEMOR S., WEIL-FASSINA A., 2000**

Contribution of the workers' expertise to the design of a new computer aided manufacturing system, in *Human aspects of advances manufacturing : agility & hybrid automation – III*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference, edited by Tadeusz M. & Waldemar K., pp. 50-52

**NF X 50-151, 1991**

Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle, AFNOR, Paris, décembre 96

**NICOLAS L., 1996**

Etude de l'activité des concepteurs durant la phase d'Analyse Fonctionnelle – Un exemple dans la conception de produit automobile, DEA, Université de Toulouse Le Mirail

**NORMAN D.A., 1991**

Cognitive artefacts, In *Designing interaction, Psychology of Human Computer Interface*, Caroll J.M. Eds Cambridge University Press

**PERRIN J., 1991**

Construire une science des techniques, L'interdisciplinaire, Limonest.



**PERRIN J., 1999**

Diversité des représentations du processus de conception de produit, in *Pilotage et évaluation des processus de conception*, (sous la direction de) Perrin, L'Harmattan, 159p.

**PIETRUSZYNSKI, 1996**

Aide-mémoire juridique n°6, INRS, Prévention des risques professionnels en France, Structures et fonctionnement

**PINSKY L., THEUREAU J., 1987**

L'étude du cours d'action : analyse du travail et conception ergonomique (rapport n°88). Paris, Laboratoire de Physiologie du travail et d'Ergonomie, CNAM

**PITTON J.P., 1997**

RELIASEP : une méthode et un outil pour construire la sûreté de fonctionnement, 2<sup>ème</sup> congrès international franco-québécois de génie industriel, Albi

**POLET P., VANDERHAEGEN F., WIERINGA P., 2000 A**

Theory of barrier crossing, 19th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, June 26-28, Ispra – Italy, pp. 73-80

**POLET P., VANDERHAEGEN F., 2000 B**

Analyses of deviated modes for risk assessment, European Safety & Reliability International Conference, ESREL 2000, Edinburgh, Scotland, pp. 133-140

**POYET C., 1990**

L'homme agent de fiabilité dans les systèmes automatisés, in *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, (sous la direction de) De Terssac & Leplat, Octarès, 386p

**PRUNIER S., 1998**

Contraintes des horaires et exigences des tâches : la double détermination des effets du travail posté, santé et vie socio-familiale des douaniers, Thèse de doctorat, EPHE

**RABARDEL P., 1995**

Les hommes et les technologies, Approche cognitive des instruments contemporains, Armand Colin, 239p.

**RASMUSSEN J., 1980**

What can we learn from human error?, in *Duncan, Grunetey, Wallis (eds.) – Changes in working life*, London

**RASMUSSEN J., 1986**

Information processing and human-machine interaction, Amsterdam, North-Holland, 1986.

**RASMUSSEN J., 1991**

Compétences et ergonomie, in *Modèles en analyse du travail*, (sous la direction de) Amalberti & de Montmollin & Theureau, éd. Mardaga, 346 p.

**RASMUSSEN J., 1997**

Risk Management in a Dynamic Society : a modeling problem – *Safety Science*, vol. 27, n°2/3, pp. 183-213

**RASMUSSEN J., 2001**

Accident Causation and Risk Management : Basic research problems in a dynamic, tightly coupled society, 4<sup>th</sup> Multidisciplinary seminar on "Risk, Errors and Accidents, and their Control", May, CNRS, Gif- sur-Yvette

**REASON J., 1993**

L'erreur humaine, PUF, Paris 336 p. (édition originale : 1990)

**REASON J., 1995**

A system approach to organizational error, *Ergonomics*, vol. 38-8, pp. 1708-1721

**ROOK L.W., 1962**

Reduction of human error in industrial production – Report SCTM 93.62 (14), Sandia Corporation

**ROUSE W.B., 1991**

Design for success: a human centered approach to designing successful products and systems, Wiley J. & Sons, New York

**SALAUD I., 1995**

La conception distribuée : théorie et méthodologie, thèse de doctorat du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN)

**SIX F., VAXEVANOGLU X., 1993**

Les aspects collectifs du travail. Editions Octares. Ouvrage collectif réalisé sous la direction de F. SIX et X. VAXEVANOGLU, 211 pages.

**SOUBIE J.L., BURATTO F., CHABAUD C., 1996**

La conception de la coopération et la coopération dans la conception, in *Coopération et conception*, (sous la direction de) De Terssac & Friedberg, Octarès, 330 p.

**SOUDRY C., 2000**

La valeur juridique des normes, Travail & Sécurité, septembre 2000

**SPERANDIO J.C., 1988**

L'ergonomie du travail mental, 2<sup>ème</sup> édition, MASSON, collection psychologie appliquée

**THEUREAU J., 1992**

Le cours d'action : analyse sémio-logique essai d'une anthropologie cognitive située, Berne : P. Lang

**US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1975**

Reactor safety Study, An assessment of accident risk in US commercial nuclear power plants – WASH-1400 (NUREG-75/014) – appendix II – Washington DC

**VADCARD P., 1996**

Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits, thèse de doctorat, ENSAM, Paris

**VANDERHAEGEN F., 1999**

*APRECIH : a human unreliability analysis method – Application to railway system -*, Control Engineering Practice 7, pp 1395-1403

**VILLEMEUR A., 1988**

Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, Paris, Eyrolles

**WISNER A., 1996**

Questions épistémologiques en ergonomie et en analyse du travail, in *L'ergonomie en quête de ses principes, débats épistémologiques*, (sous la direction de) Daniellou, Octarès, 242p.



---

## ANNEXES

---

### Sommaire

**Annexes 1 : Projet GIPC PROSPER**

**Annexes 2 : Planning d'une implantation**

**Annexes 3 : Procédé étudié, les rotatives offset**

**Annexes 4 : Diagrammes Blocs**

**Annexes 5 : Arbres de Défaillances**

**Annexes 6 : Activités spécifiques – Fiches signalétiques**

**Annexes 7 : Traitement des activités observées**



---

## ANNEXES 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.

## DEMARCHE METHODOLOGIQUE :

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).

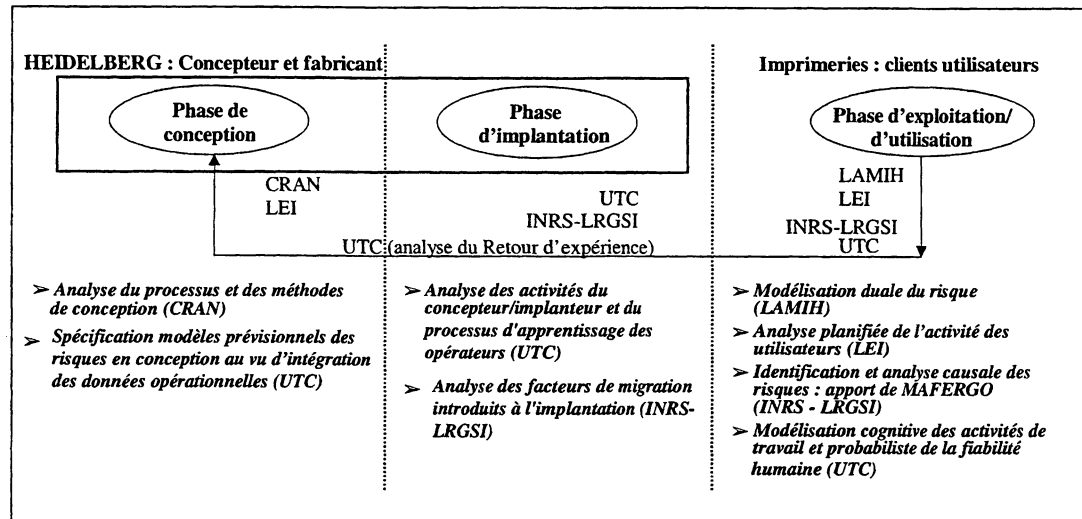


Figure 1 : Répartition des tâches et des interventions des différentes équipes du projet

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 (exploitantes) 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:

1. 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] ;
2. POLET Philippe. "Modélisation duale des risques pour l'analyse des conditions limites d'usage de machines" [B. VANDERHAEGEN, LAMIH, Valenciennes] ;

3. DIDELOT Armelle. "Contribution à l'identification et au contrôle des risques dans le processus de conception" [FADIER E., INRS, Vandœuvre-Les-Nancy];
4. 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].
5. 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].
6. 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:**

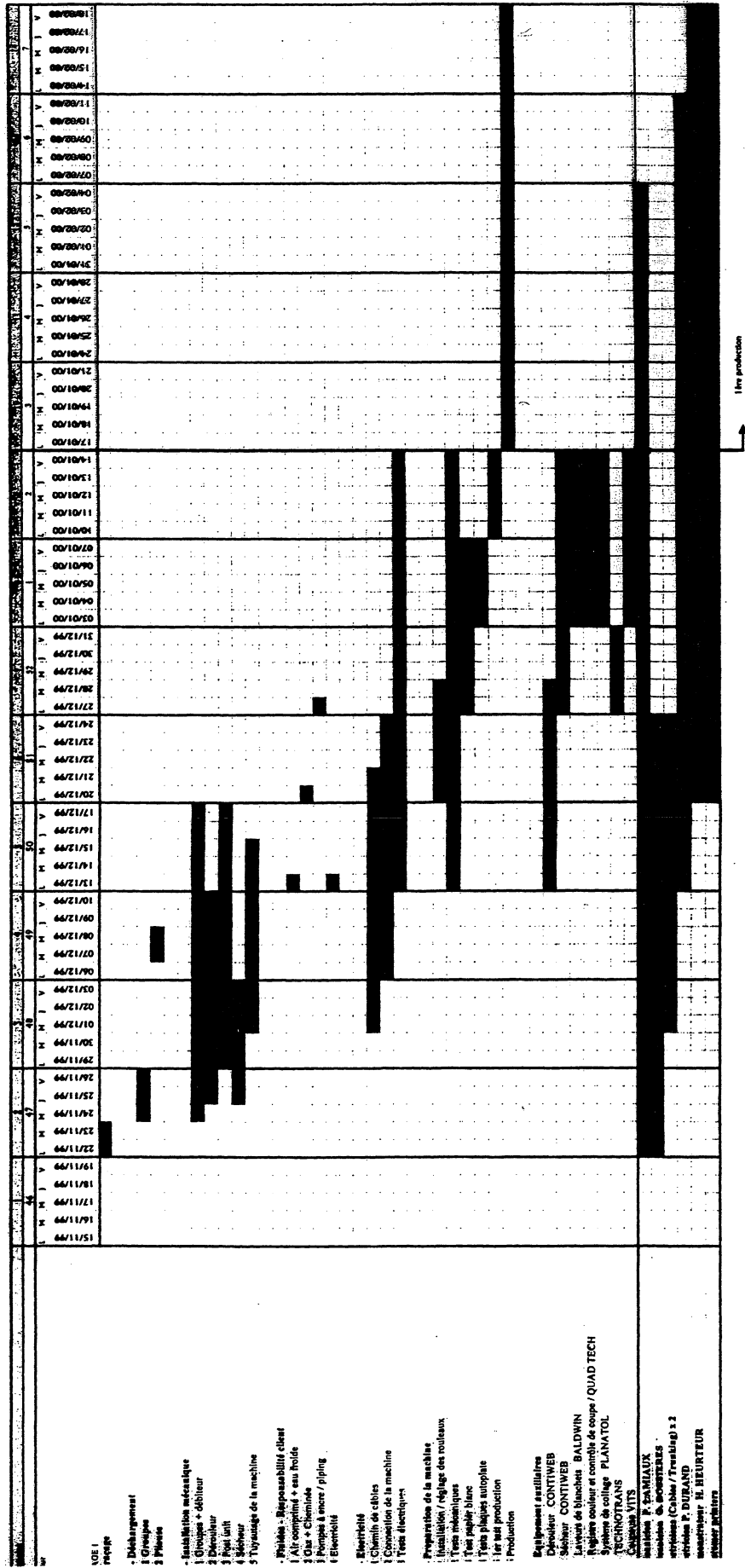
- AMALBERTI, R. - 1996 - La conduite des systèmes à risques, Le travail humain, PUF, 1996, pp.54-55
- DANIELLOU F., 1997 - Les enjeux des projets. *Préventique-Sécurité*, n° 34, juillet-août 1997, 31-35.
- DEMOR S., 1996 - *Les risques et leur gestion au cours des activités de récupérations dans un système 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](mailto:Elie.Fadier@inrs.fr)**

# ANNEXES 2 : PLANNING D'UNE IMPLANTATION

MECANIQUE, ELECTRIQUE, INSTALLATION  
IMPLANTATION DE CONTAINERS  
MISE EN PRODUCTION

voir plan 3 Jour : 09/11/99



- LOGE 1  
recevoir
- 1 Débarquement
  - 2 Groupes
  - 3 Plateau
  - 4 Installation mécanique
  - 5 Groupes + obilieur
  - 6 Electricien
  - 7 Pneu lift
  - 8 Sabeur
  - 9 Travaux de la machine
  - 10 Peinture - Repossabilité client
  - 11 Air comprimé + eau froide
  - 12 Ols + Chimie
  - 13 Pompe à eau + piping
  - 14 Electricité
  - 15 Electricité
  - 16 Chemise de câbles
  - 17 Contrôle de la machine
  - 18 Tests électriques
  - 19 Préparation de la machine
  - 20 Installation / réglage des rouleaux
  - 21 Tests mécaniques
  - 22 Tests réglage filaire
  - 23 Tests plaques support
  - 24 Mise en production
  - 25 Production
- Equipement auxiliaires  
 Débarreur CONTINER  
 Sabeur CONTINER  
 Livraison de blocs BALDWIN  
 Réglage rouleau et contrôle de coupe / QUAD TECH  
 Système de collage PLANATOL  
 TECHNOSTEANS  
 Coudage VITS  
 Soudure F. SAMALIX  
 Soudure G. ROBERTS  
 Electricien (Cable / Trunking) s 2  
 electricien P. DUBAND  
 soudeuseur H. HEURTEUR  
 electricien Heurteur

Mise production

---

### ANNEXES 3 : PROCÉDE ETUDIE, LES ROTATIVES OFFSET

---

Le procédé offset offre une gamme de matériels étendue, allant de la machine de bureau aux grandes rotatives. Les rotatives à bobines et les machines à feuilles constituent les deux grandes catégories de presses offset (CRAM, 1991).

Les rotatives à bobines que nous étudions plus spécifiquement ont une configuration modulaire. On trouve sous différentes configurations : l'alimentation (dérouleur), l'impression (groupes imprimant), la sortie (réception) et différents auxiliaires, néanmoins indispensables (refroidisseur, sécheur, plieuse,...). Les rotatives à bobines sont de dimension importante et peuvent être installées sur plusieurs niveaux.

L'impression offset est le procédé moderne de la lithographie où la pierre a été remplacée par un métal en feuille mince et très léger qui peut se cintrer pour épouser la forme d'un cylindre (Henry et al,1981). Le terme anglais "offset" implique une idée d'éloignement; c'est donc un procédé dans lequel il n'y a pas de contact direct entre la planche d'impression et le papier.

L'image imprimante, plaque mince enroulée sur un cylindre (cylindre porte-plaque) se décalque sur un support intermédiaire, feuille de caoutchouc appelé "blanchet", enroulée sur un deuxième cylindre (cylindre porte-blanchet) tangent au premier. Ce cylindre est en contact avec le papier pour assurer l'impression. Ce même processus est répété sur le verso de la feuille de papier (Figure 2).

Les cylindres sont animés d'un mouvement de rotation uniforme. Le décalque de l'image sur le blanchet et le report du décalque sur le papier s'effectuent à chaque tour de l'ensemble des cylindres.

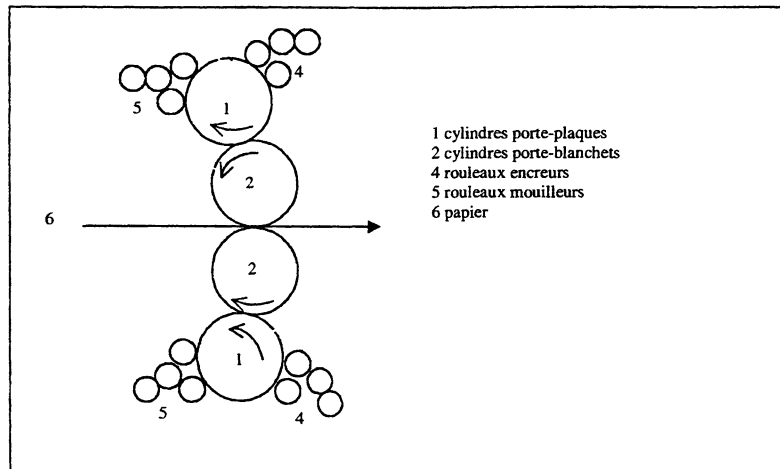


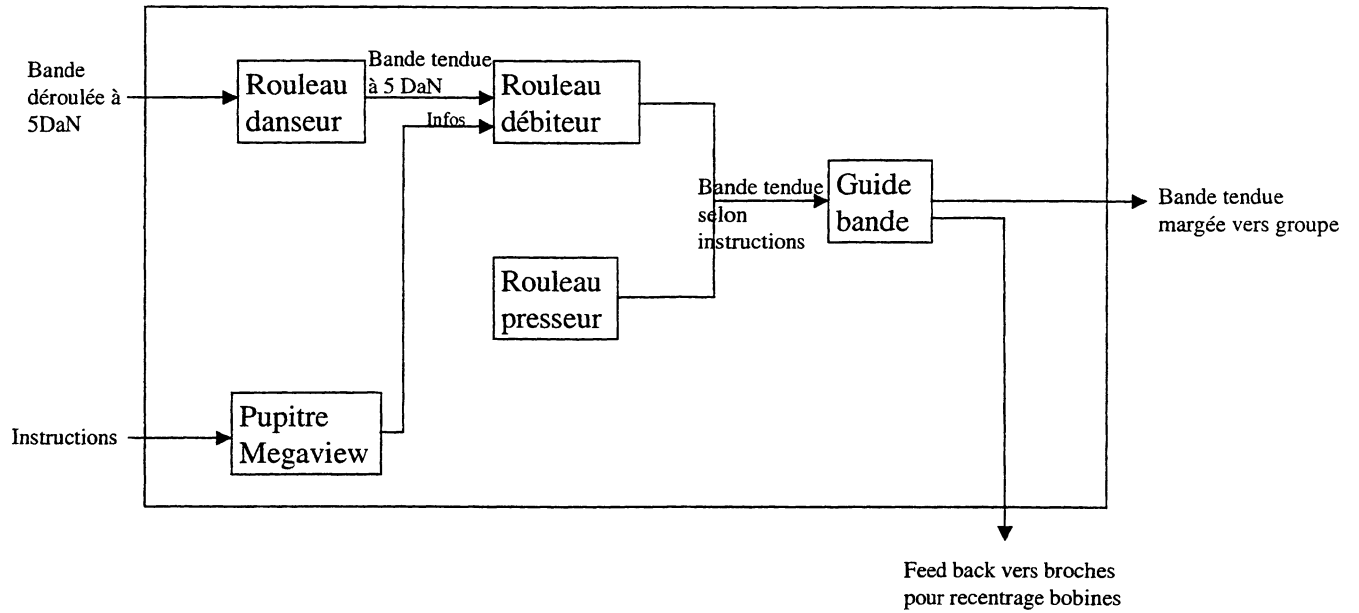
Figure 2 : Principe de l'impression offset

Les avantages de l'"offset" sur la lithographie ancienne sont variés :

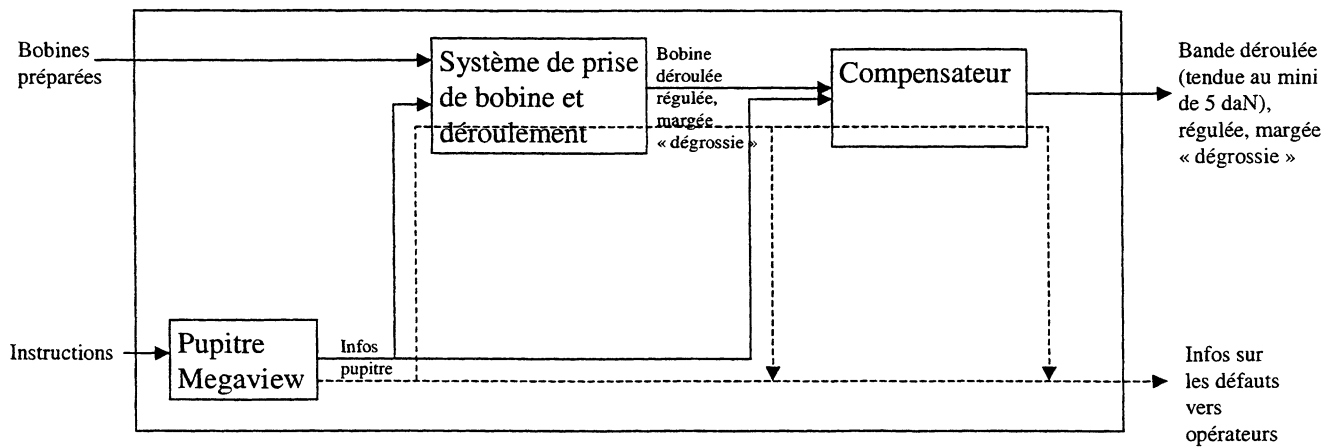
- L'absence de contact entre la plaque d'impression et le papier constitue un avantage pour la conservation de la plaque.
- Un second avantage est procuré par la souplesse du blanchet dont la surface s'écrase contre le papier en se moulant sur toutes les irrégularités de la feuille. On obtient ainsi un contact excellent sur toute la surface de l'image et le transfert de l'encre au papier peut s'effectuer dans les meilleures conditions.
- Enfin, tous les mouvements qui servent à l'impression sont des mouvements de rotation uniforme. Il y a donc une possibilité considérable d'augmentation de la vitesse et du rendement.

## ANNEXES 4 : DIAGRAMMES BLOCS

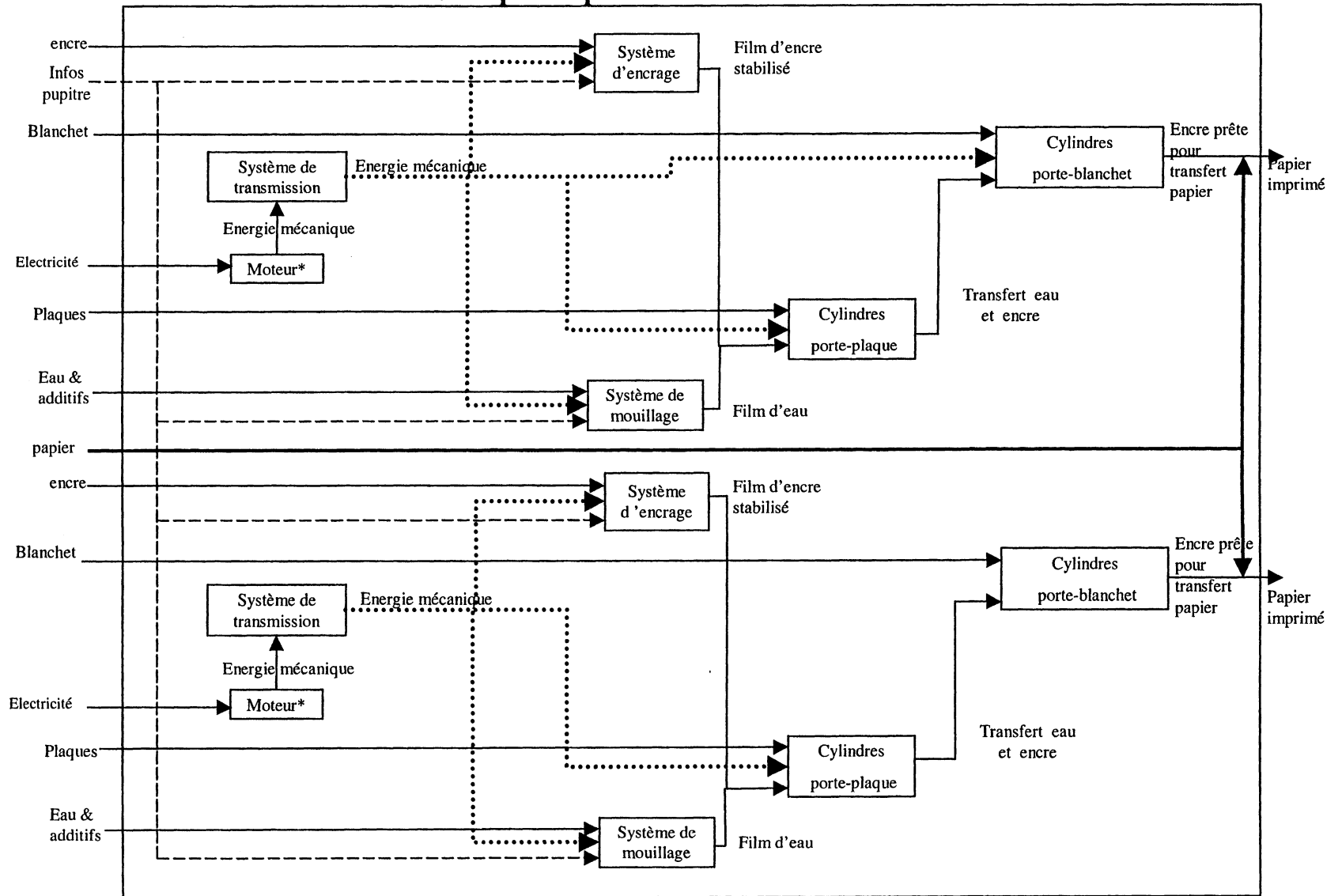
### Débiteur



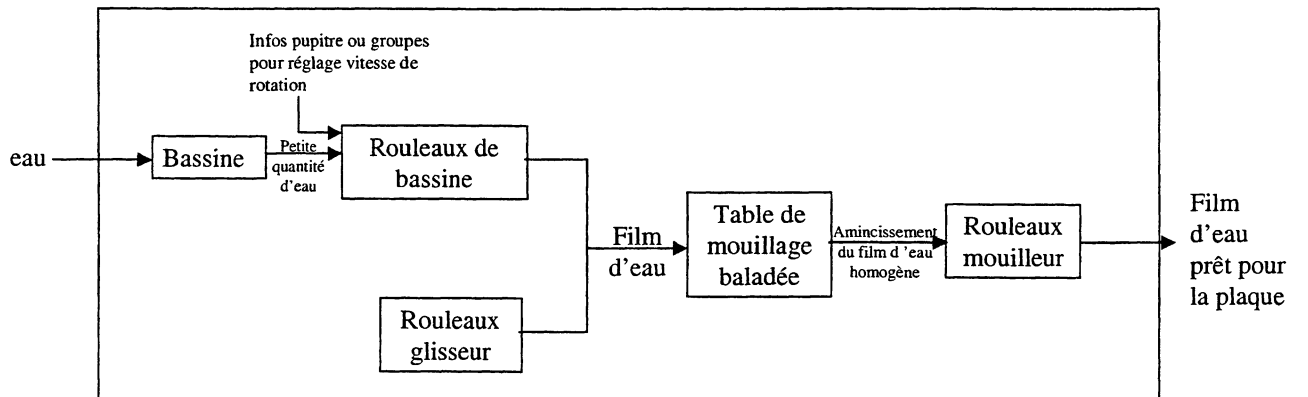
### Dérouleur



## Groupes imprimants

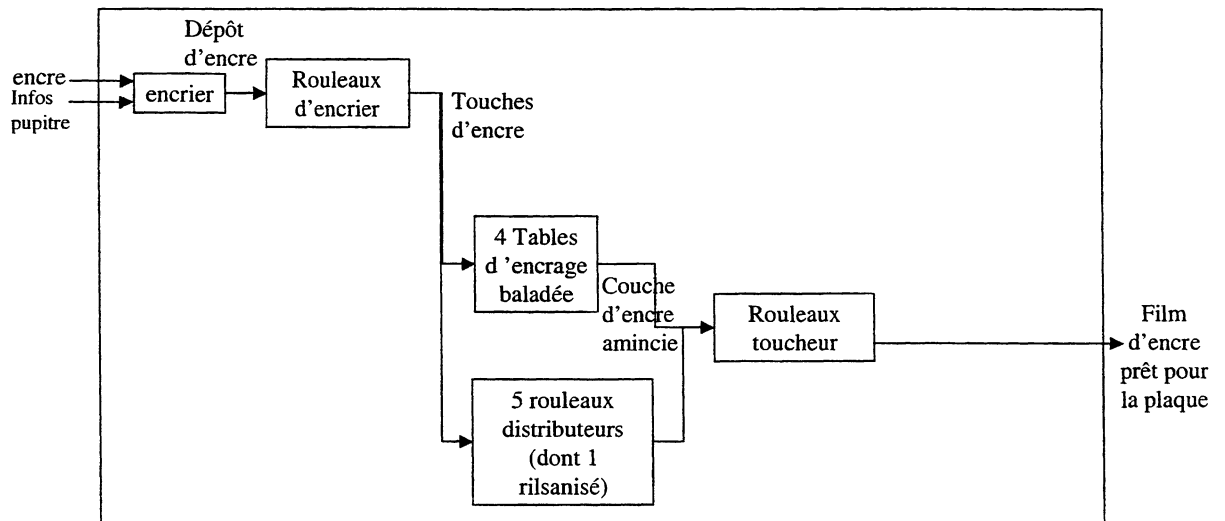


## Système de mouillage



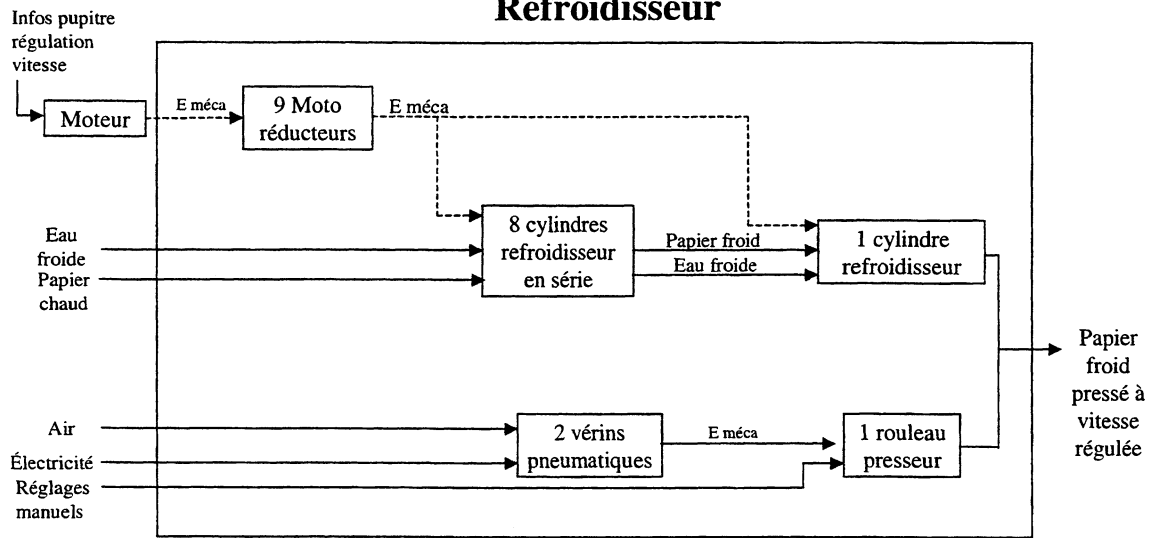
S2.1.2

## Système d'encrage

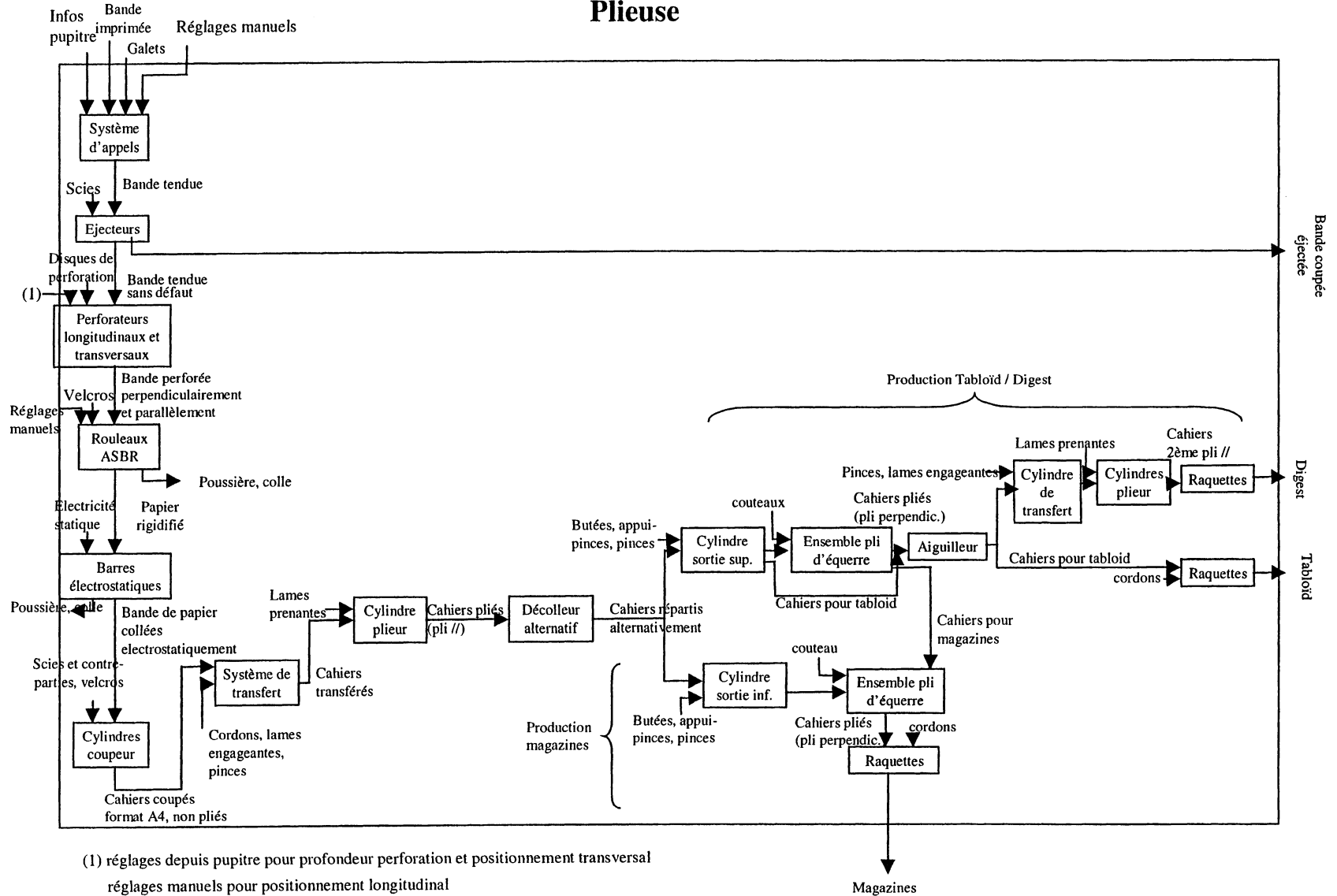




# Refroidisseur

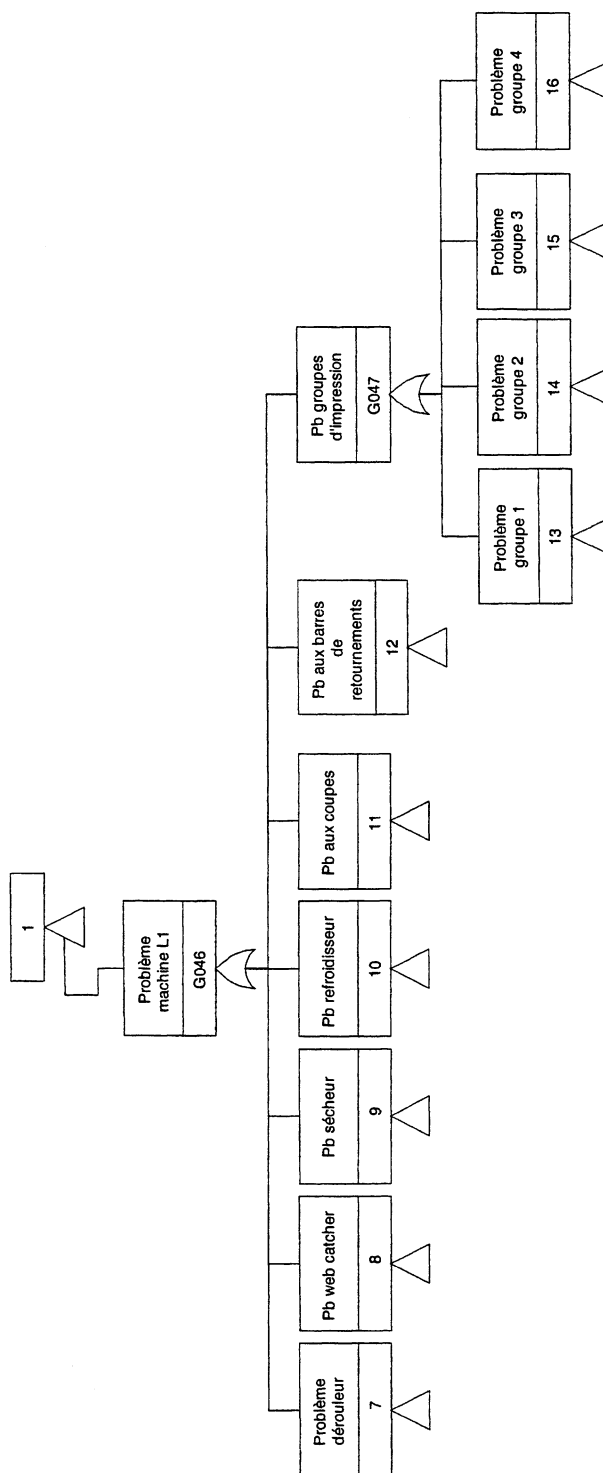


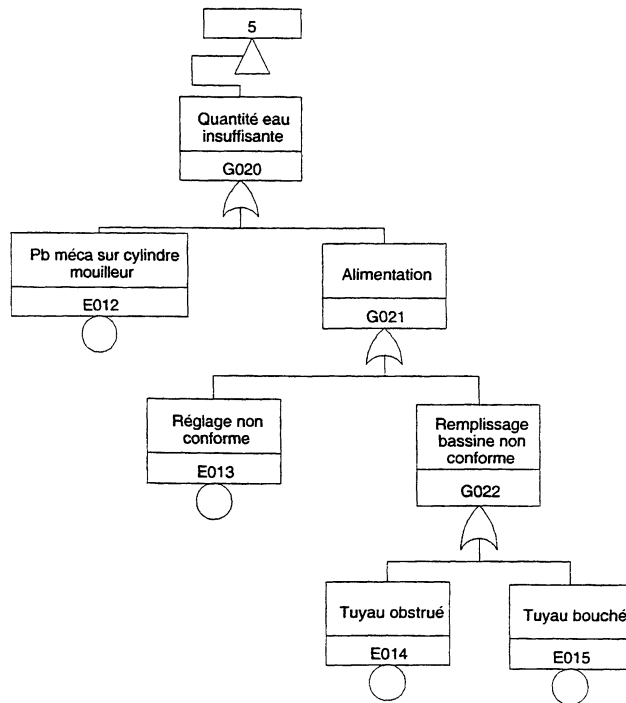
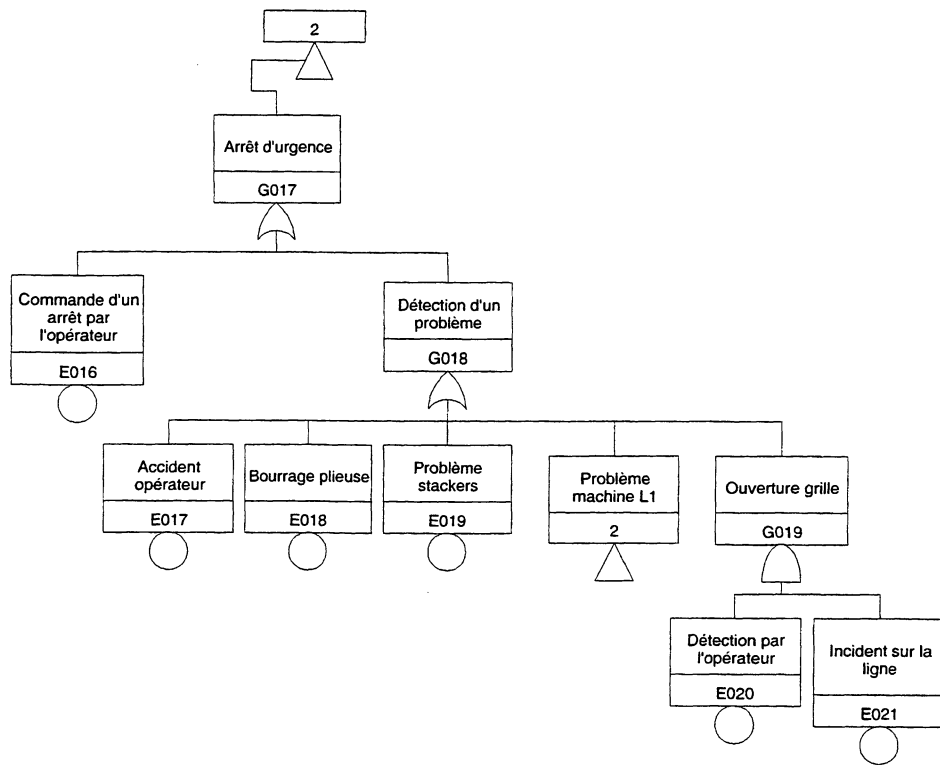
# Pliuse

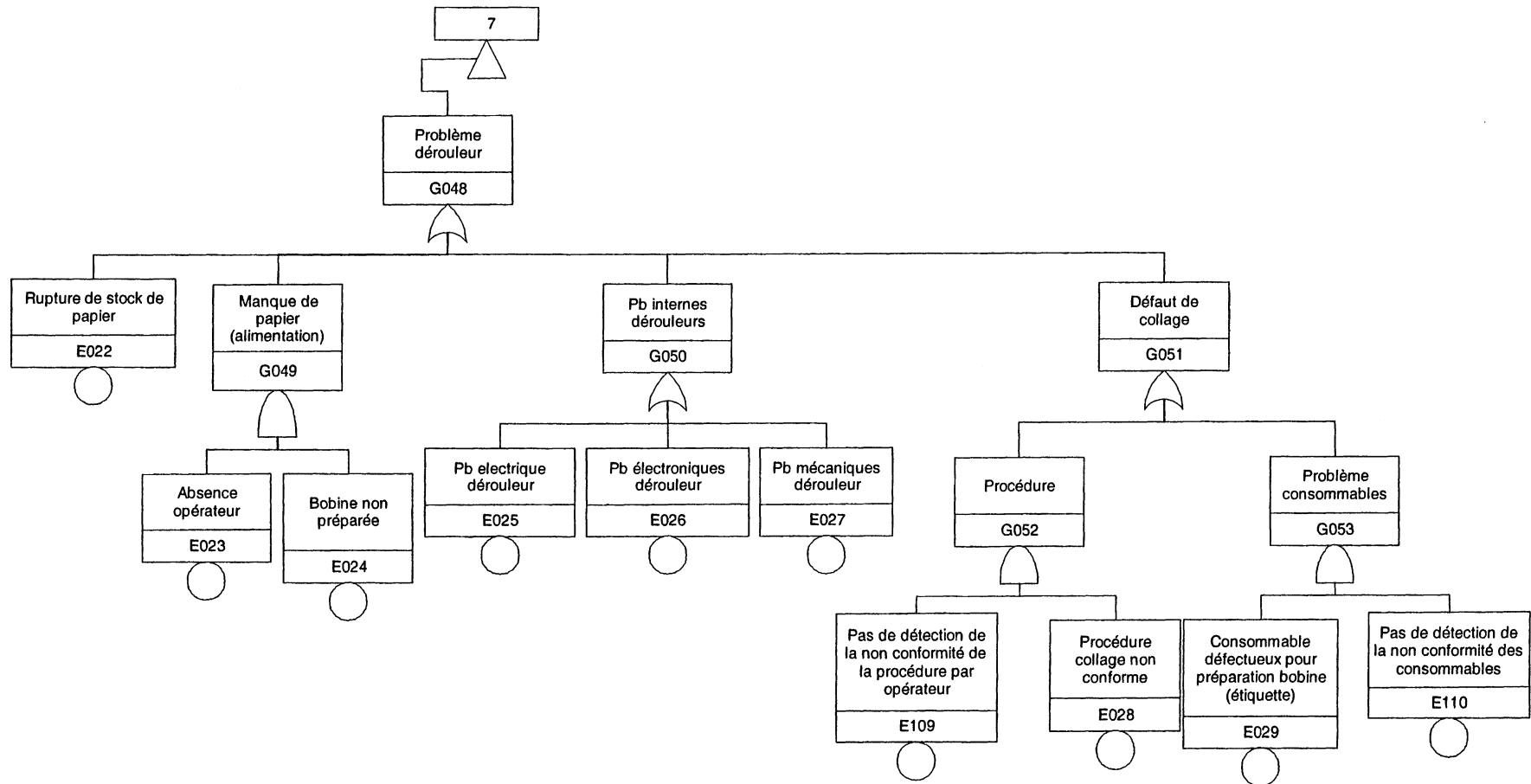


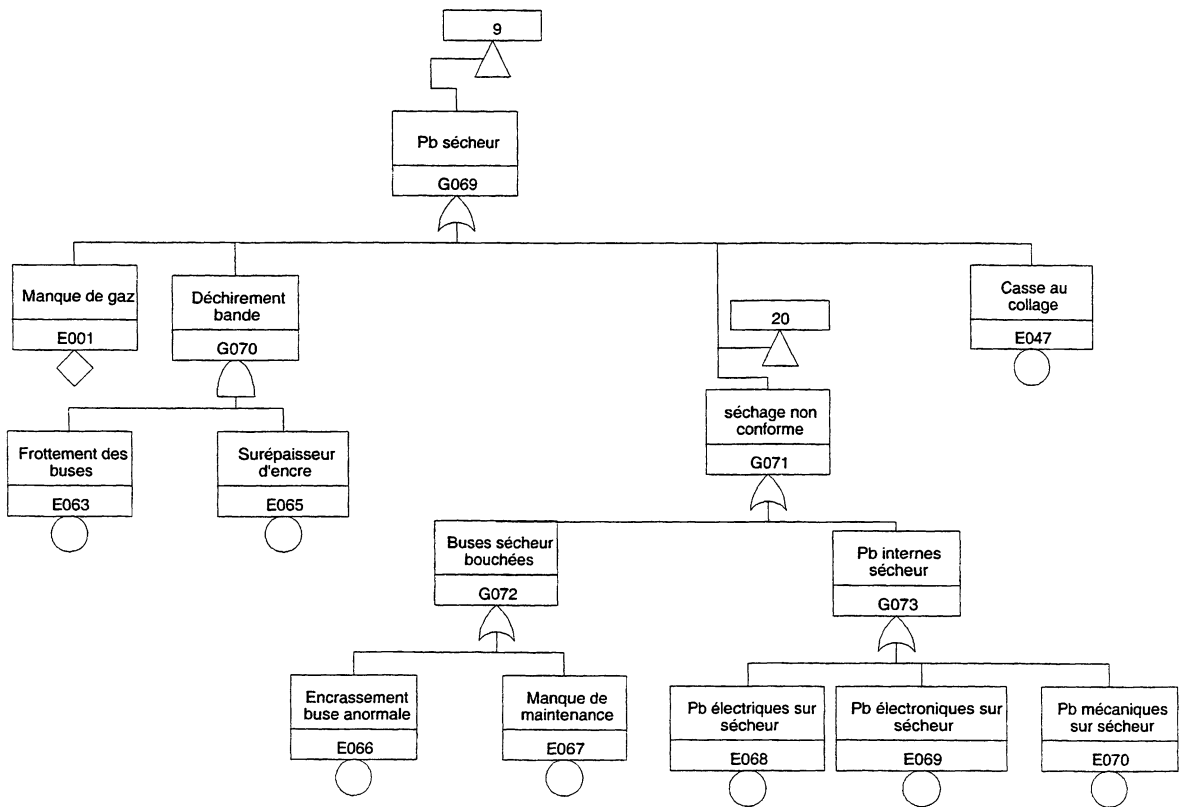
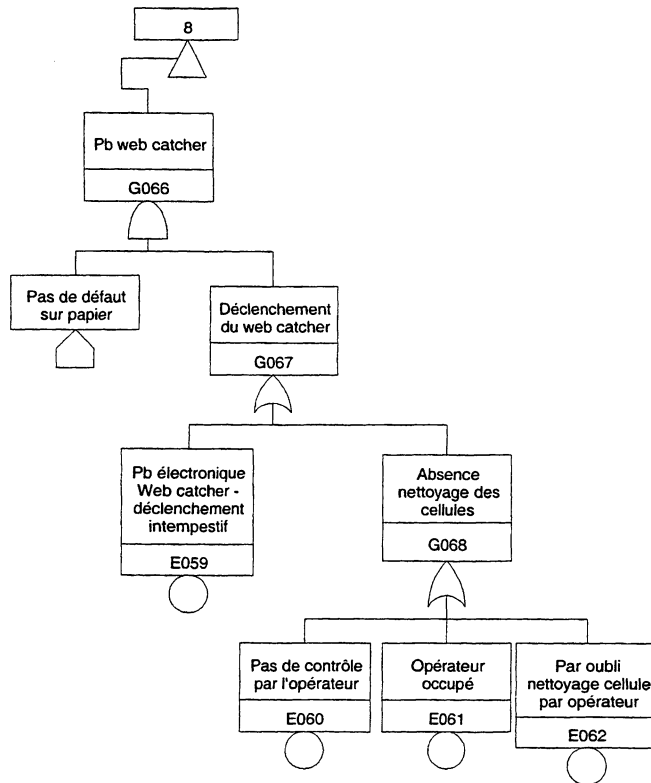
## ANNEXES 5 : ARBRES DE DEFAILLANCES

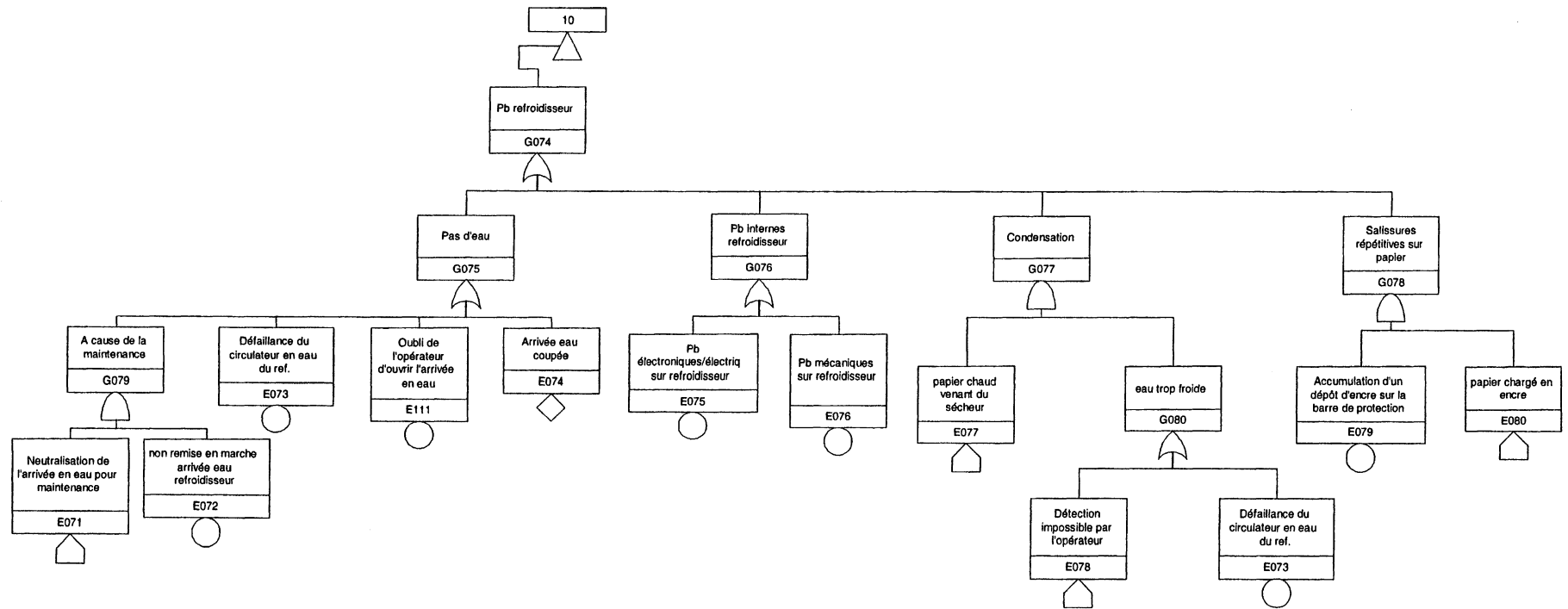
*L'AdD concernant la ligne 2 (L2) est identique à celui-ci.*

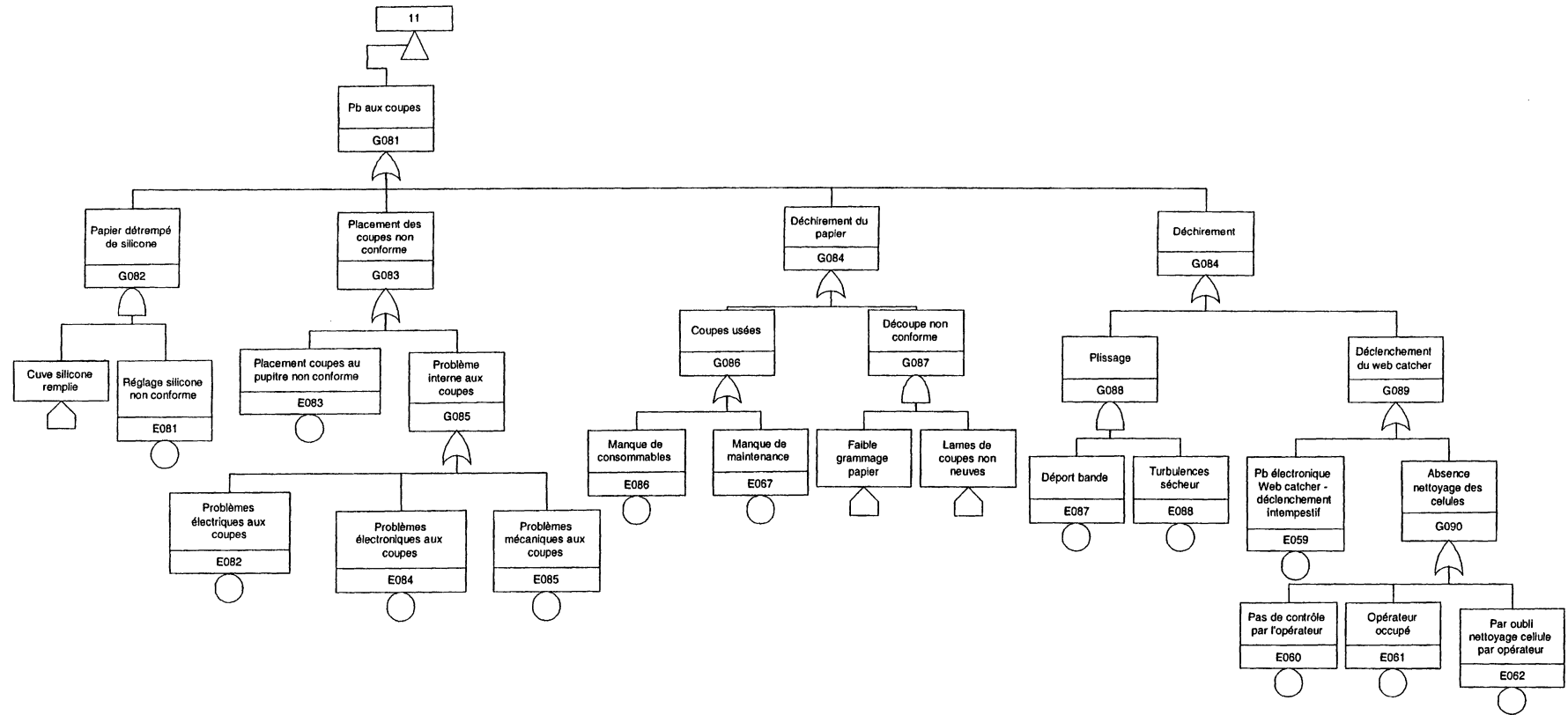




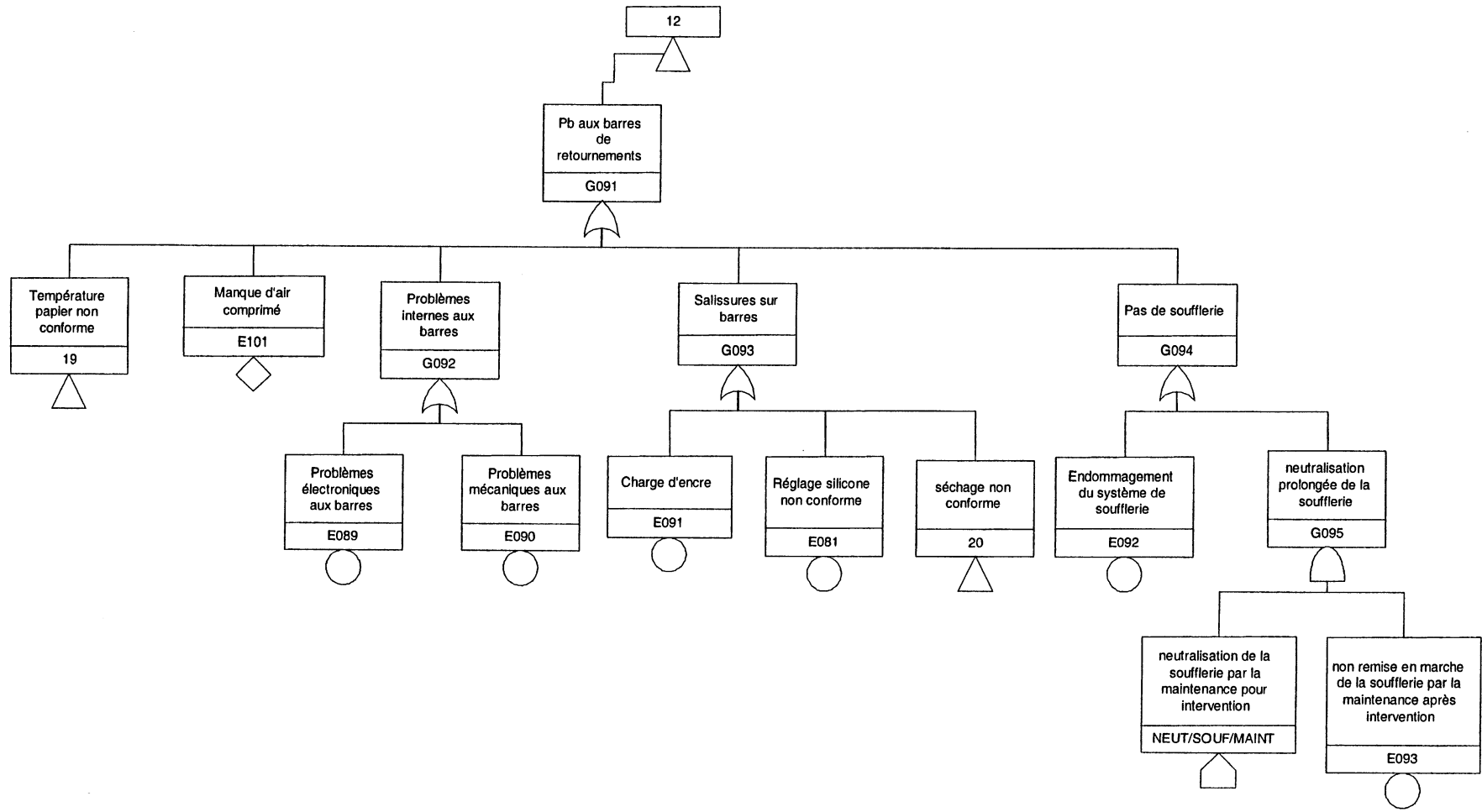


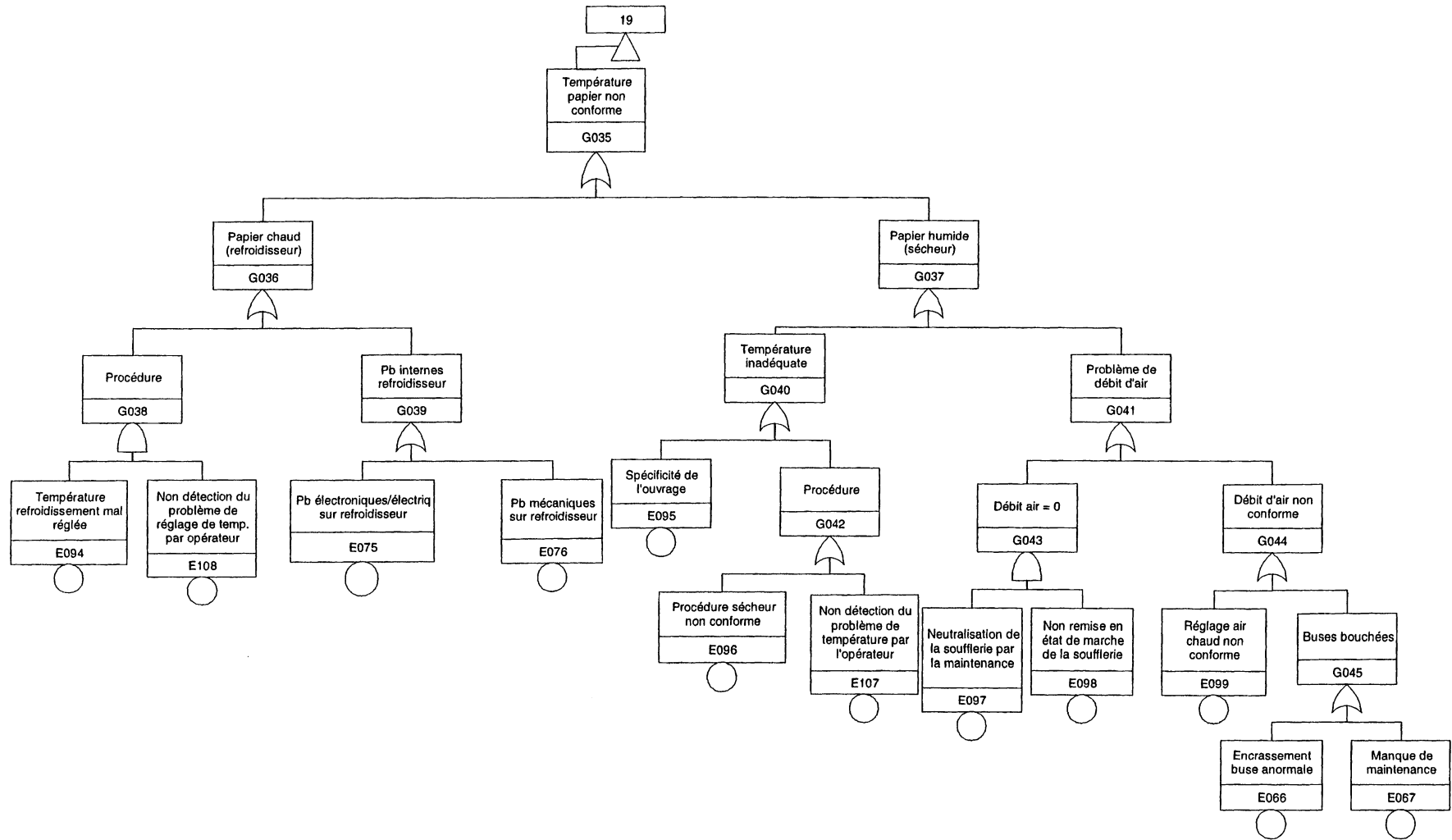


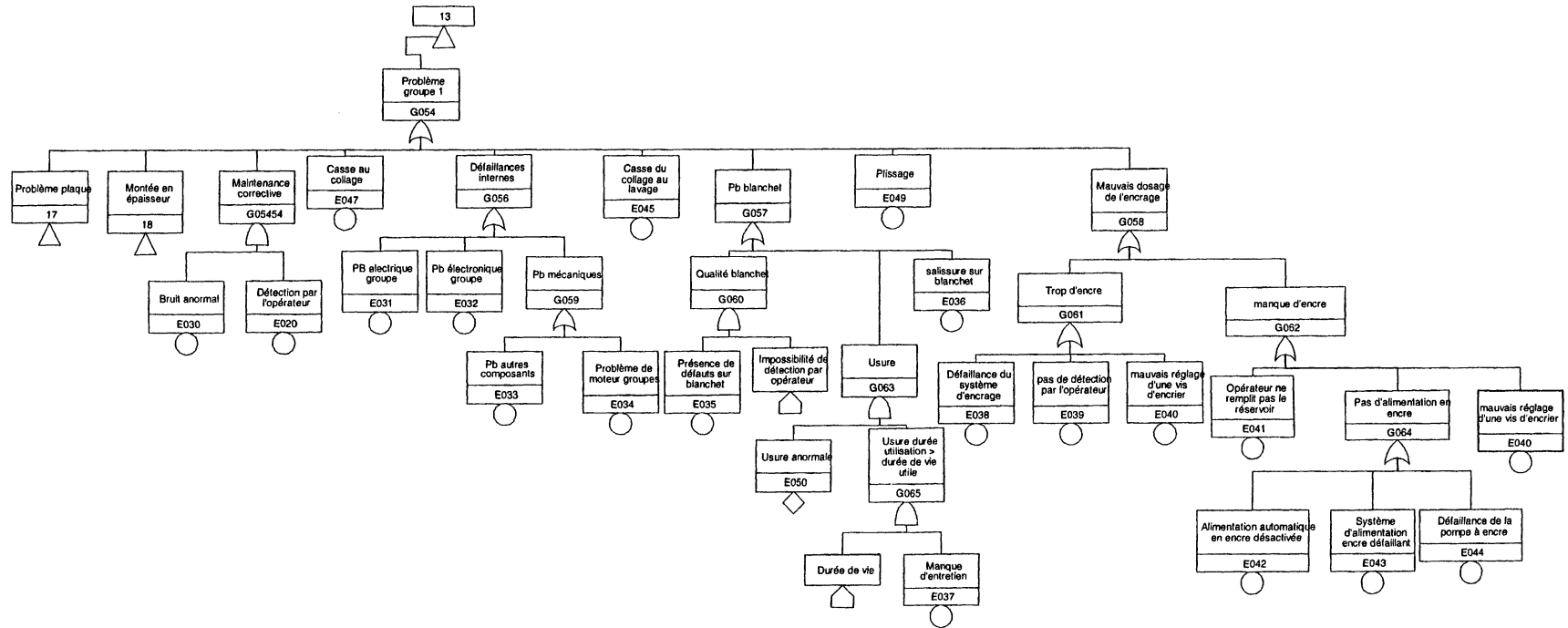




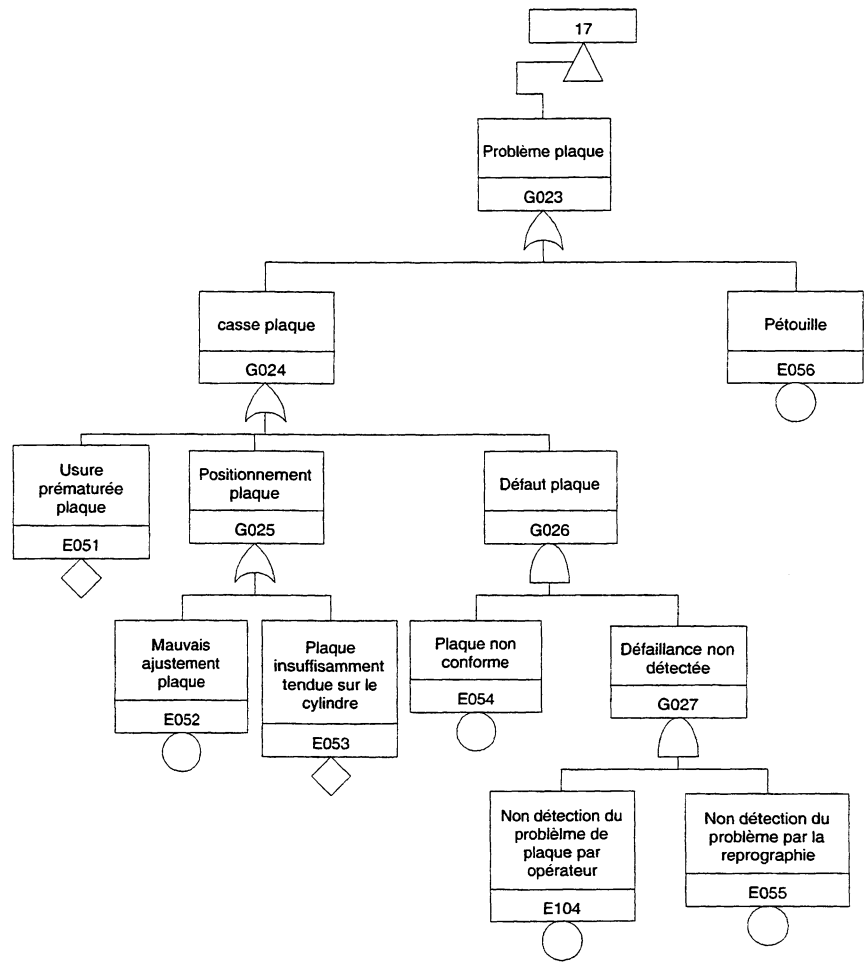


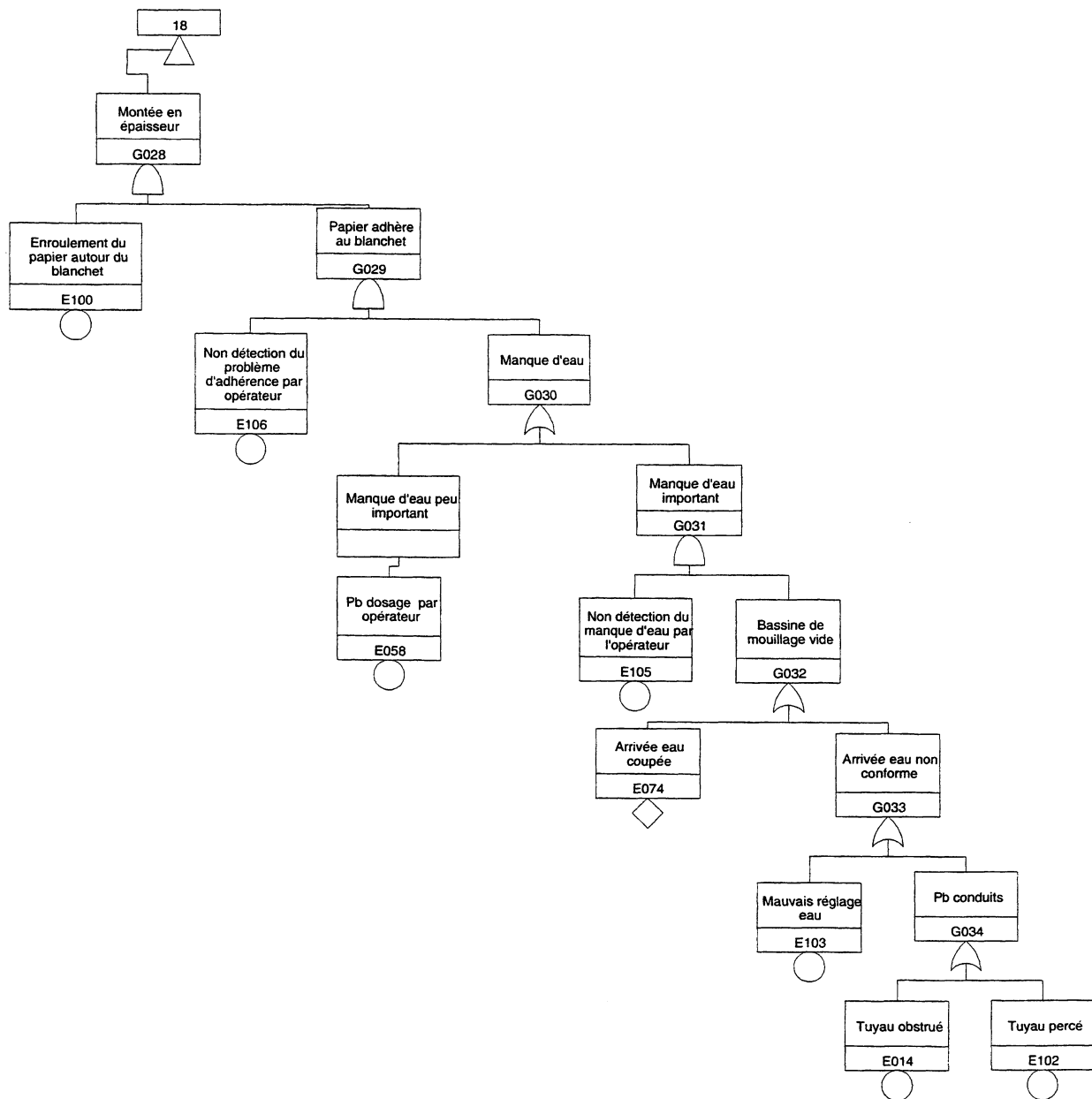






L'ADD "Pb Groupe" est identique pour les quatre groupes de la ligne.





---

## ANNEXES 6 : ACTIVITES SPECIFIQUES – FICHES SIGNALIQUES

---

### I. ACTIVITES SPECIFIQUES PROVENANT DE DECISIONS PROPRES AUX OPERATEURS

<b>Pas de port systématique des moyens de protection individuels : protections auditives</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Calage
Description	<p>Cette ligne dispose d'un nouveau système de changement de blanchet qui facilite énormément la manipulation (par rapport aux systèmes classiques). En contrepartie, les opérateurs doivent porter des protections auditives, car le système d'éjection du blanchet usagé provoque une émission sonore (de fréquence aiguë) supérieure au seuil de tolérance.</p> <p>Au cours de nos observations nous avons pu remarquer lors de cette manipulation, que certains opérateurs mettaient les protections en vigueur alors que d'autres non. Il arrive également que les opérateurs travaillant à proximité de cette zone ne portent pas les protections non plus.</p>
Objectifs (bénéfices)	Dans certains cas, il s'agit d'éviter un déplacement pour aller chercher les bouchons (car les opérateurs ne les portent pas en permanence autour du cou)
Risques	Lésions auditives irréversibles possibles
Construction de sécurité	Aucune
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"><li>- le fait que cette émission soit intense mais brève n'incite pas les opérateurs à mettre les protections</li><li>- cette activité est routinière</li><li>- c'est une activité de "confort" dans le sens où l'opérateur n'ayant pas toujours les protections sur lui, évite un déplacement</li></ul>

<b>Pas de port systématique des moyens de protection individuels : gants</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Calage
Description	Le concepteur stipule dans les manuels opérateurs que les manipulations dans les groupes (nettoyage, changement de plaque,...) doivent être réalisées avec le port de gants pour se protéger des coupures et des produits chimiques. Or, nous avons observé un non port de gants de la part de certains opérateurs.
Objectifs (bénéfices)	Certains opérateurs préfèrent travailler à mains nues pour avoir plus d'aisance dans les manipulations et les réaliser plus vite (gain de temps).
Risques	Brûlures, coupures (lors de la manipulation des plaques d'impression)
Construction de sécurité	- Concernant les coupures, ce genre de manipulation étant devenu routinier, les opérateurs font preuve d'une certaine maîtrise. - Seuls les opérateurs expérimentés participent au calage.
Facteurs favorisant l'activité	la gêne provoquée par les gants : les manipulations nécessitent une certaine précision, surtout concernant la pose des plaques (un travers de plaque engendre des défauts d'impression, éventuellement une casse papier, dans tous les cas un arrêt)

<b>Catachrèse : utilisation d'un bâton</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Calage ou Dépannage (réengagement de bande après une casse ou un bourrage)
Description	Utilisation d'un bâton pour avoir du "mou" de papier facilitant l'engagement de la bande dans la plieuse
Objectifs (bénéfices)	Cette manipulation permet de tirer le papier en se servant du poids du bâton (posé perpendiculairement à la longueur de la bande) afin que la bande reste bien alignée par rapport aux différents sous-systèmes. Si les opérateurs tiraient sur le papier à la main, la bande serait probablement de travers. Cette activité contribue à l'amélioration du processus.
Risques	Cette activité est a priori sans risque.
Construction de sécurité	
Facteurs favorisant l'activité	Rien n'est prévu par le concepteur pour faire descendre le papier sans qu'il ne soit de travers, alors que l'accès est assez difficile.

<b>Catachrèse : Pose de scotch autour d'un rouleau situé en sortie de refroidisseur</b>	
Systeme concerné	M3000
Phase	A l'arrêt
Description	Les opérateurs ont remarqué qu'au dernier rouleau du refroidisseur, le papier a tendance à plisser, entraînant inévitablement une casse papier. La pose du scotch autour du rouleau du refroidisseur contribue à l'amélioration du processus.
Objectifs (bénéfices)	Eviter des arrêts de la production
Risques	Cette activité est a priori sans risque.
Construction de sécurité	
Facteurs favorisant l'activité	Des éléments faisant plisser anormalement le papier à cet endroit

<b>Intervention sur une vis d'encrier</b>	
Systeme concerné	M3000
Phase	Roulage
Description	Les opérateurs avaient détecté un défaut d'impression se situant au niveau du groupe jaune inférieur. Ils décident alors d'intervenir directement sur le groupe, sans arrêter la ligne: le premier conducteur a resserré la vis de l'encrier à l'aide d'une clé.
Objectifs (bénéfices)	Obtention de cahiers de bonne qualité, pas d'arrêt de la ligne (gain de temps), pas de gâche engendrée par un arrêt puis un redémarrage.
Risques	Position délicate : en extension au-dessus des groupes en fonctionnement impliquant un risque de glisser et d'entrer en interaction avec les cylindres en rotation
Construction de sécurité	C'est le premier conducteur qui a réalisé la manipulation (étant donné son expérience et sa vigilance)
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- qualité d'impression insatisfaisante</li> <li>- vis d'encrier accessibles en fonctionnement</li> <li>- impossibilité de le faire depuis le pupitre</li> <li>- l'arrêt de la production implique trop de contraintes : temps, gâche, incertitude quant au redémarrage</li> </ul>



<b>Escalade des rambardes pour réengager la bande dans la plieuse</b>	
Systeme concerné	M3000
Phase	Calage ou dépannage (réengagement de bande) – système à l'arrêt
Description	<p>Ce système étant de grande taille de ce fait, certains éléments sont relativement éloignés les uns des autres. En l'occurrence, la distance entre les barres de retournement des bandes et l'entrée de plieuse est importante. Or après une casse ou un bourrage, il est nécessaire de réengager les bandes dans la plieuse. Pour faciliter la manœuvre et gagner en hauteur, les opérateurs grimpent sur les rambardes de sécurité des plates-formes.</p> <p>C'est une forme de catachrèse : la rambarde sert de marche-pied.</p>
Objectifs (bénéfices)	<p>Gain de temps</p> <p>Meilleure posture (sinon cela impose de lever les bras très haut, ce qui est fatigant pour une intervention un peu longue)</p>
Risques	chutes
Construction de sécurité	Une certaine vigilance
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espacement important entre les barres de retournement situées en hauteur et l'entrée de plieuse</li> <li>- Besoin de limiter ses efforts, surtout en fin de poste</li> <li>- Pas d'éléments du type marche-pied pour gagner un peu de hauteur</li> </ul>

<b>Intervention simultanée de deux opérateurs dans la plieuse pour débouillage</b>	
Systeme concerné	M601
Phase	Dépannage (après un bourrage) – système à l'arrêt
Description	<p>Deux opérateurs ont dû intervenir pour supprimer un bourrage dans la plieuse, car il est difficile voire impossible d'enlever le papier coincé et d'actionner les commandes de marche lente des organes mobiles de la plieuse, quand l'opérateur est seul.</p> <p>C'est pour cette raison que dans le cas observé, un opérateur avait les mains dans la plieuse, tandis que l'autre opérateur actionnait les commandes d'avance lente des organes mobiles.</p>
Objectifs (bénéfices)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter une posture fatigante</li> <li>- Gain de temps, recherche d'efficacité</li> </ul>
Risques	Coincements des doigts
Construction de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seuls les premiers ou seconds réalisent cette manipulation</li> <li>- Communication entre les deux opérateurs</li> <li>- L'opérateur qui actionne les commandes peut voir les mains de l'opérateur dans la plieuse.</li> </ul>
Facteurs favorisant l'activité	<p>Contradiction entre la solution de sécurité et la fonction : l'éloignement des mains par l'éloignement des commandes par rapport aux organes mobiles (tel que la norme le préconise) est tellement important qu'il faut être deux pour pouvoir travailler efficacement.</p>

<b>Mise en place d'un chiffon humide au niveau d'une barre de protection d'un rouleau du refroidisseur</b>	
Système concerné	M602
Phase	Roulage
Description	Des salissures répétitives ont été détectées par les opérateurs sur les cahiers imprimés. Selon les opérateurs, elles proviennent d'une barre de protection du refroidisseur qui se charge en encre et qui salit le papier (cela est variable selon l'encre et le papier utilisé). Pour y remédier, le premier conducteur place un chiffon humidifié de solvant sur cette barre, alors que les cylindres sont en rotation.
Objectifs (bénéfices)	Pas d'arrêt de la ligne (avec toutes les contraintes que cela implique) Pas de déclenchement de lavage automatique
Risques	Coincement des doigts (ce genre d'intervention doit normalement être réalisé à l'arrêt)
Construction de sécurité	Ralentissement de la vitesse de roulage pour intervenir Vigilance
Facteurs favorisant l'activité	- qualité d'impression insatisfaisante - l'arrêt de la production implique trop de contraintes : temps, gâche, incertitude quant au redémarrage, charge de travail supplémentaire - zone accessible

<b>Nettoyage (ou changement) des têtes de colle de la plieuse en roulage avec une aiguille</b>	
Système concerné	M601
Phase	Roulage
Description	Les têtes de colles sont des canaux très fins qui permettent d'injecter de la colle au niveau de la pliure des cahiers. Il arrive que des grumeaux de colle obstruent ce petit conduit, dans ce cas l'opérateur prend une aiguille fine et vient se positionner au-dessus de la plieuse en fonctionnement pour le déboucher en y enfilant l'aiguille. C'est une opération très délicate qui nécessite une certaine adresse. Il arrive également que suite à un arrêt de la ligne, les têtes de colle soient bouchées à cause de la colle qui a séché à l'intérieur. Dans ce cas, les opérateurs doivent les démonter et les placer sur un appareil qui injecte de l'eau. Les opérateurs remettent parfois la ligne en marche sans faire la manipulation, dans ce cas, soit ils décident d'essayer de les déboucher avec une aiguille, soit ils changent avec des têtes de colle propres de réserve (toujours en roulage).
Objectifs (bénéfices)	Eviter les contraintes liées à un arrêt
Risques	Cette manipulation implique une position dangereuse au-dessus de la plieuse Risque de chute
Construction de sécurité	- Une certaine vigilance - Seuls le premier et les seconds opérateurs réalisent cette manipulation
Facteurs favorisant l'activité	- la pression de colle est trop basse (il semblerait qu'elle soit beaucoup plus grande sur les nouveaux systèmes ) - la présence de grumeaux dans la colle - le fait que le système d'injection d'eau ne soit pas intégré à la ligne (nécessité après chaque arrêt de démonter les têtes de colle)

<b>Pose de plaque réalisée par un seul opérateur</b>	
Système concerné	M601 M602
Phase	Calage
Description	Sur ces deux machines, les molettes d'engagement de plaques sont encrassées et définitivement grippées (en raison de l'encre qui s'est progressivement accumulée). Dans ce cadre, l'encadrement a prescrit une nouvelle procédure (cf. <i>ALU mise en place des plaques d'impression en binômes</i> ) qui nécessite l'intervention de deux opérateurs. Dans le cas présent, la manipulation est réalisée par un seul opérateur, car celui-ci étant de grande taille, il parvient avec sa tête et ses épaules, à la fois à maintenir la plaque droite et à appuyer sur les boutons d'avance lente du cylindre
Objectifs (bénéfices)	Ses co-équipiers étant occupés ailleurs, il a gagné du temps en réalisant la pose de plaque seul
Risques	Un dérapage de la main peut entraîner celle-ci entre les cylindres.
Construction de sécurité	L'opérateur est de grande taille ce qui lui permet une certaine aisance dans les mouvements
Facteurs favorisant l'activité	- Gain de temps - Opérateur de grande taille

<b>Nettoyage des plaques d'impression en roulage</b>	
Système concerné	M601 et M602
Phase	Roulage
Description	Cette activité est de la même "famille" que celle correspondant au nettoyage de blanchet en roulage : les opérateurs ayant détecté une salissure sur la plaque, utilisent un chiffon imbibé et plié spécifiquement pour la nettoyer.
Objectifs (bénéfices)	- limiter les pertes - gagner en efficacité de nettoyage - éviter un arrêt de la ligne
Risques	- casser la bande en la touchant par inadvertance - un entraînement du chiffon à travers les cylindres provoquant un endommagement mécanique - un entraînement des doigts de l'opérateur
Construction de sécurité	- une façon spécifique de tenir le chiffon dans la main et de le positionner par rapport au sens de rotation des cylindres - seuls le premier ou les seconds conducteurs réalisent cette manipulation qui nécessite de l'expérience et des connaissances spécifiques - une vigilance accrue induite par la conscience des risques engendrés
Facteurs favorisant l'activité	- Eviter les contraintes liées à un arrêt - Il n'existe pas de système automatique de nettoyage des plaques en roulage tel que celui des blanchets - certains ouvrages sont produits avec des consommables de mauvaise qualité qui accentuent ce phénomène de dépôt sur les plaques

<b>Gommage des plaques en roulage</b>	
Systeme concerné	M601 M602
Phase	Roulage - Fin de service
Description	<p>Le gommage est une opération qui consiste à recouvrir les plaques d'un produit empêchant l'oxydation de celles-ci suite à un arrêt prolongé (veille de week-end en général).</p> <p>Les opérateurs pulvérisent le produit sur les plaques alors que le système est en roulage, puis homogénéisent le dépôt à l'aide d'un chiffon.</p>
Objectifs (bénéfices)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gain de temps</li> <li>- Facilité d'homogénéiser le produit système en marche</li> </ul>
Risques	Risque de coincement des doigts
Construction de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ralentissement de la vitesse de roulage</li> <li>- seuls le premier et les seconds conducteurs réalisent la manipulation</li> <li>- une certaine vigilance</li> <li>- le fait de plier le chiffon d'une certaine façon</li> </ul>
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La difficulté de faire un film homogène en faisant une marche pas à pas des cylindres</li> <li>- Gain de temps</li> </ul>

## II. DECISIONS PROVENANT DE L'ENCADREMENT

<b>Formation des opérateurs</b>	
Système concerné	Tous les systèmes
Phase	Toutes les phases
Description	D'une façon générale seuls quelques opérateurs sont formés par la société Heidelberg. Pour les autres, la formation est réalisée sur le tas, elle se transmet d'opérateurs expérimentés vers les opérateurs novices, selon des modes de régulation mis en place par les opérateurs eux-mêmes.
Objectifs (bénéfices)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- essentiellement pour la direction qui considère certainement qu'elle fait des économies sur les frais de formation</li> <li>- cela évite une mobilisation du personnel pendant plusieurs jours</li> </ul>
Risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les opérateurs novices vont apprendre des procédures déjà adaptées, c'est à dire non conformes aux prescriptions du concepteur : c'est un savoir-faire opérationnel</li> <li>- cela implique qu'il n'y a pas de réelle sensibilisation aux risques</li> <li>- cela revient à inculquer un modèle réducteur qui inclut directement les dérives sans pour autant expliciter leur origine</li> <li>- les risques sont donc multiples dans ces conditions</li> </ul>
Construction de sécurité	Elle vient essentiellement du fait que ce sont des opérateurs avec de l'expérience qui forment les opérateurs novices.
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le coût d'une formation (parfois le prix de la formation peut être négocié et compris dans le prix d'achat de la ligne, pour quelques opérateurs)</li> <li>- le fait que certains opérateurs travaillent depuis longtemps sur ce genre de système (même si ce n'est pas le même constructeur), les fonctionnalités se retrouvent plus ou moins d'un système à l'autre</li> </ul>

<b>Neutralisation des cellules de détection au niveau du chariot automatique des bobines pour alimentation des dérouleurs</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Toutes les phases
Description	La direction a décidé de neutraliser des cellules de détection destinées à l'origine à protéger la zone de transit des bobines à côté des dérouleurs (arrêt de la ligne lorsque les cellules détectait la présence d'un opérateur dans la zone). En fait, ces cellules étaient positionnées de telle manière qu'à chaque fois qu'une bobine était transportée, les cellules étaient activées et cela provoquait un arrêt d'urgence.
Objectifs (bénéfices)	Pouvoir produire normalement
Risques	la zone de transit n'est plus protégée : risque de collision entre un chariot et un opérateur
Construction de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les opérateurs accoutumés du système connaissent les phases au cours desquelles les chariots transportant les bobines vont bouger</li> <li>- La vitesse des chariots est assez réduite ce qui laisse le temps aux opérateurs de se retirer de la trajectoire</li> </ul>
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- contradiction entre la fonction et la solution de sécurité</li> <li>- impossibilité de travailler dans ces conditions (arrêts systématiques)</li> </ul>

<b>Equipe incomplète</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Toutes les phases
Description	Malgré l'absence du premier conducteur, l'équipe a dû assurer la production prévue. Cela a nécessité une réorganisation de l'équipe : un des seconds conducteurs a été désigné premier par le chef d'atelier, puis les autres postes ont été plus ou moins décalés. En fait, les deux seconds conducteurs ont dû assurer toutes les tâches habituelles en étant assistés par le bobinier qui connaît ce genre d'activités.
Objectifs (bénéfices)	Bénéfices financiers pour la direction puisque malgré ce problème d'effectif la production est assurée
Risques	Le manque d'une personne induit une charge de travail plus importante pour tous les opérateurs présents, donc un surcroît de fatigue, ainsi qu'une responsabilité accrue pour l'opérateur qui est passé second et qui n'a pas l'habitude de prendre les décisions de pilotage.
Construction de sécurité	La formation entre opérateur est réalisée dans l'objectif d'assurer la polyvalence des opérateurs.
Facteurs favorisant l'activité	Le fait que la formation sur le tas permet une certaine polyvalence des opérateurs. C'est l'exploitant lui-même qui fixe le nombre d'opérateurs nécessaires à la conduite de la ligne, le concepteur ne fait que conseiller, mais rien n'est imposé à ce niveau.

<b>Enclenchement de manière permanente (au niveau du pupitre) du bouton reset de la barre de protection de point rentrant entre les cylindres porte-plaque et porte-blanchet</b>	
Système concerné	M3000
Phase	Calage
Description	Cette action est systématique quand les opérateurs effectuent le calage. Une mesure de sécurité les contraint à appuyer sur le bouton reset du pupitre de commande (qui se situe à quelques mètres des groupes) chaque fois qu'ils ouvrent une barre de protection de point rentrant, ce qui est fréquent lors d'un changement de plaques. Cette manœuvre est gênante car elle les oblige à faire beaucoup d'allers-retour des groupes au pupitre de commande. Pour éviter ces déplacements, les opérateurs enclenchent de façon permanente le bouton reset du pupitre de commande à l'aide d'un bâton placé dans un bidon.
Objectifs (bénéfices)	Cela permet de limiter la fatigue induite par les allers retours Gagner du temps
Risques	Aucun risque a priori puisqu'une redondance de cette fonction existe au niveau de chaque groupe (chaque groupe imprimant est équipé de commandes locales du type débrayage des groupes, marche pas à pas,...)
Construction de sécurité	Les opérateurs utilisent les commandes locales de chaque groupes
Facteurs favorisant l'activité	Contradiction entre la solution de sécurité et la fonction

<b>Suivi aléatoire de la maintenance de premier niveau</b>	
Système concerné	Tous les systèmes
Phase	Toutes les phases
Description	D'après nos observations, la maintenance de premier niveau (c'est à dire tout ce qui concerne les changements de consommables : lames, contre-partie, cordons, ...) qui est réalisée soit par les opérateurs (cas de l'imprimerie A), soit par la maintenance (cas de l'imprimerie B) est rarement tenue à jour. Le concepteur fournit un planning de maintenance, mais les exploitants préfèrent attendre les premiers signes de dysfonctionnements (généralement un bourrage) pour intervenir et changer les pièces en question.
Objectifs (bénéfices)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volonté de limiter les arrêts pour maintenance</li> <li>- Faire de économies en prolongeant les périodicités</li> </ul>
Risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eventuellement des dégâts matériels</li> <li>- Des arrêts inopinés : usure imprévisible des consommables, car non contrôlée</li> <li>- Des pertes financières plus importantes que si il y avait un regroupement des interventions avec un réel suivi</li> </ul>
Construction de sécurité	Ils profitent parfois de périodes de non production (induites par une attente) pour réaliser des opérations de maintenance
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de planning de la part de la direction</li> <li>- Pression temporelle</li> <li>- Le fait de savoir que des attentes pour des raisons diverses sont courantes (temps masqué)</li> <li>- Eventuellement un manque de personnel de maintenance</li> </ul>

<b>Mise en place des plaques d'impression en binôme</b>	
Système concerné	M601 M602
Phase	Calage
Description	<p>Pour mettre en place les plaques, un opérateur maintient la plaque, l'autre appuie sur les boutons de commande pour activer la marche lente du cylindre porte-plaque. Les opérateurs sont obligés de procéder de cette façon, car les molettes d'engagement de plaque sont encrassées et grippées en raison de l'encre qui s'est progressivement déposée.</p> <p>L'encadrement tolère et même préconise aux opérateurs de faire une pose de plaque à deux.</p>
Objectifs (bénéfices)	A priori il n'existe pas d'autre moyen plus sécurisé pour changer les plaques (le changement à un seul opérateur est encore plus dangereux)
Risques	Coincement des doigts, si il y a une mauvaise synchronisation des opérateurs
Construction de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seuls le premier et les seconds opérateurs réalisent la manipulation</li> <li>- Bonne vision des mains de l'opérateur qui place la plaque par celui qui actionne les commandes</li> <li>- Possibilité de communiquer (proximité)</li> </ul>
Facteurs favorisant l'activité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaillance de molettes : Procédure de récupération, car les molettes d'avalement encrassées ne permettent plus de faire la manipulation seul</li> <li>- Impossibilité d'opérer à un nettoyage journalier des molettes, perte de temps</li> </ul>

ANNEXES 7 : TRAITEMENT DES ACTIVITES SPECIFIQUES OBSERVEES

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
Rien n'est prévu par le concepteur pour avoir du "mou" de papier à cet endroit (entrée de plieuse)	Catachrèse : utilisation d'un bâton pour obtenir du "mou" de papier	X	X			X		X		X	X	Pouvoir engager correctement la bande dans la plieuse	Aucun a priori			Il n'a pas connaissance de ce problème.
- défaut répétitif sur cahiers, certains consommables accentuent le phénomène - lavage automatique pas suffisamment efficace - blanchets accessibles en fonctionnement - procédure acquise par l'expérience (seul les premiers ou seconds opèrent) - impossibilité de le faire au pupitre	Nettoyage du blanchet avec un chiffon	X			X		X		X			- cahier de bonne qualité - gain de temps de production - gain financier (réduction de la gâche) - réduction de la charge de w	- risque d'avalement du chiffon - risque d'interaction avec les cylindres en mouvement - dégâts matériels	financier	- si accoutumance, risque de baisse de vigilance	- Connaissance du problème, mise en place d'une barre de protection de point rentrant qui selon eux est suffisante - L'interdiction de manipuler sur le système en marche est stipulée dans les manuels opérateurs



Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
- l'opérateur n'a pas sur lui les protections au moment du calage (rangées ou posées ailleurs) - l'opérateur a les protections autour du cou mais ne les met pas (raison inconnue) - l'émission sonore est relativement courte, quelques secondes - oubli - négligence	Pas de port des protections auditives lors du changement de blanchet	X			X		X			X		- éviter un déplacement (dans certains cas)	- lésions auditives irréversibles	- idem court terme	Accentuation du phénomène	- n'arrive pas à supprimer le bruit - existence d'une enceinte protégeant l'extérieur du bruit - prescription : port des protections
- Gêne provoquée par les gants - Nécessité d'une certaine précision dans la réalisation	Pas de port systématique des gants	X			X		x		X	X		- Plus d'aisance dans les mouvements - Gain en rapidité d'exécution	- Brûlures - Coupures	Financier	- Eventuellement des accidents du travail avec arrêt - Perte définitive de l'habitude de mettre les gants	Il est stipulé dans les manuels qu'il est nécessaire de porter des gants renforcés
Présence d'éléments favorisant le plissage à cet endroit	Catachrèse : Pose de scotch autour d'un rouleau situé en sortie de refroidisseur	X				X	X		X			Eviter des arrêts de production	Aucun a priori puisque la manipulation est réalisée à l'arrêt	Idem qu'à court terme	Idem qu'à court terme	Il n'a pas connaissance de ce problème qui est plutôt spécifique à la ligne.

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- machine sur 2 étages (choix d'implantation, données du CdC)</li> <li>- escaliers escarpés et marches étroites difficiles à descendre une par une</li> <li>- survenue d'accidents avec une descente normale des escaliers</li> <li>- pression temporelle</li> <li>- sentiment de sécurité</li> <li>- opérateurs jeunes</li> </ul>	Descente rapide des escaliers en glissant avec les mains sur la rampe	X				X	X		X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gain de temps</li> <li>- moindre effort avec les jambes</li> <li>- éviter les chutes classiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- chutes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gain de temps si les opérateurs parviennent à tenir la cadence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la fatigue favorise les chutes et imprudences</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix de la part de l'exploitant au moment de la réalisation du CdC (accord entre client et concepteur)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- pression temporelle</li> <li>- pas de planning réalisé ou non respect du planning quand il existe</li> <li>- possibilité de faire ce type de maintenance lorsque la ligne est arrêtée pour une autre raison (ex.: attente plaque) : intervention en temps masqué</li> </ul>	Suivi aléatoire de la maintenance de premier niveau		X			X	X			X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas d'arrêt, gain de productivité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- arrêt inopiné de la machine (cause usure)</li> <li>- dégradation du matériel (bourrages)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- panne grave engendrée par le manque d'entretien</li> <li>- surcoût financier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un planning prévisionnel est établi par le concepteur, il est sensé être suivi par les exploitants.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- contradiction entre l'acheminement des bobines et leur détection</li> <li>- A chaque passage de la bobine, la ligne s'arrête</li> <li>- impossibilité de travailler avec ces arrêts</li> <li>- Nécessité de protéger la zone</li> </ul>	Neutralisation des cellules de détection au niveau du chargement des bobines		X			X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de frein à la production : les cellules n'empêchent plus de produire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- risque de collision entre un chariot et un opérateur</li> </ul>	Idem qu'à court terme	Idem qu'à court terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation de mettre une sécurité, mais celle-ci a été plaquée sur le système existant</li> <li>- Sécurité paradoxale</li> </ul>	

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le coût des formations</li> <li>- Le fait de n'avoir que quelques opérateurs formés par Heidelberg permet ensuite de faire de la formation sur le tas des autres opérateurs</li> <li>- certains opérateurs ayant travaillé sur d'autres systèmes connaissent les fonctions principales</li> </ul>	Formation "sur le tas" de certains opérateurs		X			X		X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gain financier pour l'entreprise</li> <li>- évite de mobiliser du personnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas de réelle sensibilisation aux risques</li> <li>- risques multiples (humains ou matériels)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- inculquer un modèle réducteur qui inclus directement les dérives sans pour autant expliciter leur origine</li> <li>- opérateurs sensibilisés à des procédures adaptées, non conformes aux prescriptions du concepteur (travail adapté): c'est un savoir-faire opérationnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le concepteur délivre des formations et stipule sur les contrats que seuls des opérateurs formés doivent conduire la ligne</li> <li>La formation est parfois négociée et incluse pour quelques opérateurs dans le prix d'achat de la ligne.</li> </ul>	

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- espacement physique important entre les barres de retournement en hauteur et l'entrée de plieuse</li> <li>- les barres nécessitent de monter sur quelque chose, les opérateurs ne peuvent pas les atteindre en conditions normales</li> <li>- catachrèse : la rambarde sert de marche-pied</li> <li>- sentiment de sécurité</li> <li>- besoin de limiter les efforts physiques</li> </ul>	Escalade des rambarde pour pouvoir réengager la bande dans la plieuse	X			X			X		X	X	- gain de temps - facilitation de la tâche	chutes		Pertes de vigilance par accoutumance	Pas de prescription du concepteur qui n'a pas prévu la hauteur et qui n'a pas prévu de marche-pied
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence d'une contradiction entre le solution de sécurité et la fonction</li> <li>- Redondance inutile?</li> </ul>	Neutralisation permanente du bouton Reset d'une barre de protection des groupes		X		x	X		X		X		- Eviter la fatigue induite par des allers-retours - Gagner du temps	Aucun a priori, puisqu'il existe une redondance au niveau de chaque groupe imprimant	Idem qu'à court terme	Aucun	Il ne semble pas au courant de cette ALU
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le fait que la formation sur le tas assure une certaine polyvalence des opérateurs</li> <li>- c'est l'exploitant lui-même qui fixe le nombre d'opérateurs nécessaires à la conduite de la ligne, le concepteur ne fait que conseiller, mais rien n'est imposé.</li> </ul>	Equipe incomplète		X			X		X	X	X	Bénéfices financiers pour la direction puisque malgré le problème d'effectif la production est assurée	- Le manque d'un opérateur induit une charge de travail supplémentaire pour les opérateurs présents - Cela induit également un rôle difficile à assumer pour l'opérateur qui est passé premier conducteur	Ce type de fonctionnement est relativement ponctuel			

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement*			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
- commandes non accessibles depuis la zone de débouillage - sentiment de confort et de sécurité - difficulté à effectuer la manipulation seul	Intervention simultanée de deux opérateurs dans la plieuse pour un débouillage	X			X			X			X	- confort - gain de temps de dépannage	- d'interaction avec un organe en mouvement (coincement de doigts)			- commande éloignée du lieu d'intervention (obligation normative) - actuellement il y a une réflexion pour rendre les commandes mobiles
- Opérateur de grande taille - Gain de temps	Pose des plaques d'impression par un opérateur seul	X		X			X					Ses co-équipiers étant occupés, il a gagné du temps en réalisant la pose seul	Un dérapage de la main peut entraîner celle-ci entre les cylindres			Le concepteur a procédé à des modifications de la zone auprès d'exploitants victimes du même problème. L'imprimerie B semble l'ignorer

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- têtes de colle qui ont tendance à se boucher régulièrement (injection d'eau préconisée après chaque arrêt par le concepteur)</li> <li>- Pression de la colle insuffisante</li> <li>- injection d'eau contraignante à réaliser</li> <li>- têtes de colle plus ou moins accessibles</li> <li>- éviter l'arrêt</li> <li>- oubli d'injection d'eau</li> </ul>	Changement des têtes de colle sur la plieuse	X					X		X			<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas d'arrêt</li> <li>- limitation de la gâche</li> <li>- réduction de la charge de travail</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- d'interaction avec un organe en mouvement</li> </ul>			Ce problème est résolu sur les systèmes récents
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédure relativement longue si les conditions normales sont respectées, opérateurs pressés d'être en week-end</li> <li>- Facilité d'homogénéiser le produit système en marche</li> </ul>	Gommage des plaques d'impression	X			X			X		Fin de service	- Gain de temps	Risque de coincement de doigts			Le concepteur préconise de réaliser ce genre d'activité à l'arrêt	

Conditions (éléments) favorisant l'apparition de l'activité	Activité observée	Initiateur/Commanditaire		Niveau de tolérance de l'encadrement			Réalisation		Phase d'apparition			Résultats à court terme		Résultats à moyen terme (potentiel)		Point de vue du concepteur
		Opé	Enca	bas	imp	exp	ind	col	Rou	Cal.	Dep.	bénéfice	risques	bénéfice	risques	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter les contraintes liées à l'arrêt</li> <li>- Il n'existe pas de système automatique de lavage des plaques (tel que pour les blanchets)</li> <li>- Certains consommables de mauvaise qualité accentue ce phénomène</li> </ul>	Nettoyage des plaques d'impression	X			X		X		X			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter les contraintes induites par un arrêt</li> <li>- gagner en efficacité de nettoyage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Casser la bande en la touchant par inadvertance</li> <li>- entraînement du chiffon : coincement des doigts, dégâts matériels</li> </ul>		Baisse de la vigilance, risque d'entraînement du chiffon accru	Le concepteur préconise de réaliser ce genre de manipulation à l'arrêt
<ul style="list-style-type: none"> <li>- salissures répétitives sur papier (qualité impression insatisfaisante)</li> <li>- besoin d'intervenir sans provoquer d'arrêt</li> <li>- zone accessible</li> </ul>	Mise en place d'un chiffon humidifié au niveau de la barre de protection d'un rouleau du refroidisseur	X			X		X		X			<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas d'arrêt</li> <li>- limitation de la gâche</li> <li>- réduction de la charge de travail</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- interaction avec un organe en mouvement (risque de pincement des doigts limité puisqu'il y a une barre de sécurité)</li> </ul>			Il est préconisé d'arrêter le système pour ce genre d'intervention
<ul style="list-style-type: none"> <li>- molettes d'engagement de plaques grippées</li> <li>- définition de la procédure comme telle par l'encadrement</li> <li>- impossibilité de placer correctement la plaque en étant seul, à moins d'être grand</li> </ul>	Pose des plaques à 2 opérateurs		X			X	X			X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- il n'existe pas d'autre moyen de procéder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coincement des doigts de l'opérateur qui maintient la plaque pendant que son collègue actionne les commandes d'avance des rouleaux</li> </ul>			Le concepteur a procédé à des modifications de la zone auprès d'exploitants victimes du même problème. L'imprimerie B semble l'ignorer

---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 : Modèle de gestion globale des risques (Rasmussen, 1997)	2
Figure 2 : Démarche de recherche	3
Figure 3 : Interaction entre les différentes natures de risques	14
Figure 4 : Formalisme de l'Arbre d'Evénements	22
Figure 5 : Association des Arbres d'Evénements et des Arbres de Défaillances	22
Figure 6 : Graphe d'état d'un système à deux composants	29
Figure 7: Exemple de réseau de Petri	30
Figure 8 : Dynamique de la causalité de l'accident (Reason 1993)	39
Figure 9 : Les différents actes risqués (Reason, 1993)	40
Figure 10: Démarche d'ergonomie de conception (Daniellou, 1992)	44
Figure 11 : Représentation des espaces au sein desquels le système évolue	57
Figure 12 : Les différents niveaux d'une conception : de la conception du produit à celle de l'activité, adaptée de Fadier (1998 B)	58
Figure 13: Représentation d'une démarche générique de conception basée sur l'analyse fonctionnelle (adaptée de Amoussou, 1999)	62
Figure 14 : Positionnement des domaines constitutifs de l'ingénierie anthropocentrée (Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 1997)	65
Figure 15 : Les points clés de la conception	71
Figure 16 : Approche séquentielle de la conception	72
Figure 17 : Prise en compte des risques en amont de la démarche de conception	74
Figure 18: Processus de développement chez Heidelberg selon le modèle en V (Hasan, 2000)	80
Figure 19 : Configuration de la M600	87
Figure 20 : Identification des difficultés liées aux interactions entre les différents groupes d'acteurs du projet d'implantation d'une ligne et migrations induites (M <sub>i</sub> )	96
Figure 21 : Identification de quelques facteurs de migration introduits à l'implantation	98
Figure 22 : Synthèse des données obtenues	100
Figure 23: Présentation générique d'une ligne d'impression offset	106
Figure 24 : M3000	108
Figure 25 : M600 implantation	110



Figure 26 : M601	110
Figure 27 : M602	110
Figure 28 : Les étapes de MAFERGO (Fadier, 1998 A)	115
Figure 29 : Système M3000 boîte noire	118
Figure 30 : Principaux sous-systèmes et leurs inter-relations	120
Figure 31 : Tentative d'approche par Arbre d'événements	127
Figure 32: Boîte noire	139
Figure 33 : SADT, actigramme des trois activités nécessaires pour la production	140
Figure 34 : Extrait de l'AdD – Sommet "Arrêt incidentel"	149
Figure 35 : Evolution de la répartition de la causalité des accidents d'après Hollnagel (2001)	153
Figure 36 : Deux logiques de localisation des défauts	155
Figure 37 : Synthèse des données obtenues à chaque stade de l'analyse	167
Figure 38: Extrait de l'AdD mettant en évidence l'apport des ALU opérationnelles pour l'amélioration du niveau de disponibilité (Didelot et al, 2001 A)	184
Figure 39 : Mise en évidence des barrières "procédurales" créées par les ALU	185
Figure 40 : Actigramme, selon le formalisme SADT, représentant les ALU Opérationnelles (Fadier et al, 2001)	187
Figure 41: Représentation des liens de causalité entre ALU et CLU	199
Figure 42 : Opérationnalisation du système dans l'espace de conception	205
Figure 43 : Exemple de processus de génération d'une ALU	208
Figure 44 : Représentation par Arbre Logique de l'échec de l'ALU : nettoyage des blanchets en roulage	214
Figure 45: Représentation de la construction positive d'un espace de sécurité implicite	217
Figure 46 : La migration du système à partir de ce qui est prévu à la conception, jusqu'à l'exploitation opérationnelle (Fadier et al, 2001)	219
Figure 47 : Modèle de migrations du système vers des zones limites du point de vue de la performance et de la sécurité (Fadier et al, 2001)	220

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : Récapitulatif des apports et limites des outils SdF.....	33
Tableau 2: Approche linéaire séquentielle du processus de conception (Daniellou, 1987).....	44
Tableau 3 : Comparaison entre une politique de sécurité basée sur l'obligation de moyens et celle basée sur un obligation de résultat (Fadier, 2001).....	47
Tableau 4 : Synthèse sur l'apport et les limites des différentes approches pour la conception	51
Tableau 5 : Apports et limites des approches séquentielles et concourantes .....	61
Tableau 6: Récapitulatif des différents intervenants du projet.....	90
Tableau 7 : Récapitulatif des problèmes d'installation de la ligne .....	93
Tableau 8 : Récapitulatif des migrations identifiées .....	96
Tableau 9: Récapitulatif des fonctions de chaque sous-système.....	105
Tableau 10: Spécificités des lignes étudiées .....	111
Tableau 11 : MAFERGO : étapes, objectifs, outils mis en oeuvre (Fadier et al, 1996).....	116
Tableau 12: Répartition des différentes phases d'exploitation de la M3000.....	129
Tableau 13: AMDEC simplifiée du système M3000 .....	143
Tableau 14: Récapitulatif des coupes obtenues.....	150
Tableau 15 : Nature des coupes.....	152
Tableau 16: Adaptation de MAFERGO par rapport aux données disponibles .....	165
Tableau 17 : Traitement d'une Activité Spécifique observée dans l'imprimerie (A) .....	174
Tableau 18: Récapitulatif des types d'ALU (Fadier et al, 2001).....	190
Tableau 19 : Comparaison des méthodologies utilisées.....	195
Tableau 20 : Bilan des ALU observées par les deux équipes .....	195
Tableau 21 : Coupes obtenues par traitement qualitatif de l'arbre logique .....	215
Tableau 22 : Récapitulatif des événements de base .....	215
Tableau 23 : Eléments pour une conception plus sûre .....	227

---

## TABLE DES MATIERES

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE I : Réflexion sur l'intégration des risques dans les démarches de conception</b>	
<b>Chapitre I : Le risque : concept, caractérisation et méthodes d'analyse</b>	<b>7</b>
I. Risque, question de points de vue	7
II. L'analyse des risques à travers différentes approches	15
II.1. Approche technocentrée	15
II.1.1. Les étapes d'une démarche d'analyse de risques	15
II.1.2. Les méthodes d'analyse de risques prévisionnelles qualitatives	18
II.1.3. Les outils de représentation combinatoire des risques (méthodes statiques)	21
II.1.4. Les méthodes dynamiques de fiabilité	28
II.1.5. Synthèse sur l'apport des méthodes d'Analyse de risques basées sur la Sûreté de Fonctionnement, à la conception	32
II.2. Approche anthropocentrée	35
II.2.1. Les analyses de risques fondées sur la dimension humaine	35
II.2.1.1 les méthodes quantitatives	36
II.2.1.2 Les approches qualitatives	37
II.2.2. Discussion sur l'apport des approches anthropocentrées, à la conception	40
II.2.3. Rôle de l'ergonomie en conception	42
II.3. Approche normative	45
II.3.1. Apports et limites des normes actuelles	48
II.4. Approche socio-technique	49
III. Synthèse sur l'apport des différents types d'approches au niveau de la conception	50
<b>Chapitre II : Démarches de conception : A quel moment envisage-t-on le risque ?</b>	<b>52</b>
I. Description de l'activité de conception	52
I.1. La conception est une activité de résolution de problèmes	53
I.2. La conception est une activité collective : pluralité d'acteurs et de compétences	53
I.3. Progression et répartition du projet dans le temps en fonction des différentes contraintes (coût, délais, qualité)	55
I.4. Pour qui conçoit-on?	55

I.5.	L'objet de conception	57
I.6.	L'analyse des risques comme moyen pour structurer l'activité de conception	58
II.	Les démarches de conception : Approche succincte	59
II.1.	Conception technocentrée	59
II.1.1.	Apports et limites des approches séquentielles et concourantes	59
II.1.2.	L'Analyse Fonctionnelle (AF)	62
II.2.	Conception anthropocentrée	64
III.	Discussion sur la capacité des démarches de conception à intégrer les risques	67
IV.	Discussion sur la manière d'appréhender l'intégration des risques à la conception (approches actuelles) : Une approche essentiellement séquentielle	71

## **PARTIE II : Analyse des risques en exploitation**

### **Chapitre I : Description de l'activité du partenaire industriel : la société HEIDELBERG**

		<b>78</b>
I.	La conception, source de migrations	78
I.1.	HEIDELBERG, Leader sur le marché de la rotative	78
I.2.	Démarche de conception de la société Heidelberg : description succincte	79
I.2.1.	Une démarche qui repose sur deux entités principales	79
I.2.2.	Un standard "virtuel"	80
I.2.3.	Un processus de conception en V	80
I.3.	Quelques caractéristiques de l'activité de conception	81
I.3.1.	Des modes de coopération mixtes : formels et implicites	81
I.3.2.	Modalités de confrontation, concertation, négociation	82
I.4.	Modalités d'intégration des risques dans le processus de conception	82
I.5.	Synthèse sur la démarche de conception	85
II.	L'implantation au carrefour des migrations	86
II.1.	Rappel du contexte	86
II.2.	Les acteurs impliqués dans cette phase du projet	87
II.2.1.	Au niveau du concepteur	88
II.2.2.	Au niveau de l'utilisateur	88
II.3.	Difficultés et aléas identifiés conduisant à des migrations	90
II.3.1.	Difficultés d'organisation entre l'équipe de montage et les différentes sociétés sous-traitantes (pour l'exploitant et pour Heidelberg)	90

II.3.2.	Difficultés rencontrées par l'équipe de montage, sources de perturbation de leur activité _____	91
II.3.3.	Difficultés induites par un manque de traçabilité des données de la part de Heidelberg _____	93
II.4.	L'implantation : carrefour de migrations et dérives de l'activité des opérateurs (conduite, maintenance) _____	94
II.5.	Implantation : construction d'un cadre de référence _____	97
III.	Synthèse _____	99
<b>Chapitre II : Analyses opérationnelles menées sur deux terrains industriels _____</b>		<b>101</b>
I.	Présentation du domaine : l'imprimerie _____	101
I.1.	Evolution du nombre d'accidents _____	102
I.2.	Aspects matériels _____	103
I.3.	Aspects humains _____	103
I.4.	Conclusion sur le contexte d'exploitation dans le domaine de l'imprimerie _____	104
II.	Description des situations d'exploitation _____	105
II.1.	Présentation générale d'une ligne d'impression _____	105
II.1.1.	Structure générique _____	105
II.1.2.	Processus mis en œuvre _____	106
II.1.3.	Identification des phases nécessaires au fonctionnement de la ligne _____	107
II.2.	Description comparative des deux imprimeries analysées _____	107
II.2.1.	Imprimerie (A) et spécificités du système étudié _____	107
II.2.2.	Imprimerie (B) et spécificités des lignes étudiées _____	109
II.3.	Comparaison des trois lignes étudiées _____	111
III.	Présentation de la méthodologie utilisée : MAFERGO _____	111
III.1.	Principe et intérêts de la méthodologie _____	111
III.2.	Les étapes de MAFERGO _____	112
III.2.1.	Analyse structuro-fonctionnelle _____	113
III.2.2.	Analyse opérationnelle _____	113
III.2.3.	Identification des dysfonctionnements _____	113
III.2.4.	Analyse causale des dysfonctionnements _____	114
III.2.5.	Améliorations _____	114
III.3.	Modalités de l'analyse par MAFERGO _____	117
IV.	Mise en œuvre de MAFERGO auprès des deux imprimeries _____	117

IV.1.	Etape 0 : Analyse de la demande	117
IV.2.	Etape I : Analyse structuro-fonctionnelle	118
IV.2.1.	Analyse des liens structuro-fonctionnels en fonctionnement normal	118
IV.2.2.	Du mode opératoire vers l'organisation du travail	121
IV.2.2.1	Les équipes de conduite	122
IV.2.2.2	L'équipe de maintenance	125
IV.3.	Etape II : Analyse opérationnelle	125
IV.3.1.	Données relatives à la fiabilité technique	125
IV.3.2.	Analyse de l'activité quotidienne liée à la conduite des systèmes	133
IV.3.2.1	Population travaillant sur les systèmes	134
IV.3.2.2	Formation des opérateurs	134
IV.3.2.3	Environnement de travail	135
IV.3.2.4	L'activité des opérateurs à travers les différentes phases d'exploitation des systèmes	137
IV.3.2.5	Synthèse sur l'analyse opérationnelle	141
IV.4.	Etape III : Identification des dysfonctionnements	142
IV.5.	Etape IV : Analyse causale des dysfonctionnements	147
IV.6.	Description des <i>activités spécifiques</i> observées	156
IV.6.1.	Activités spécifiques réalisées en roulage	157
IV.6.2.	Activités spécifiques réalisées alors que le système est à l'arrêt	159
IV.6.3.	Activité spécifique réalisée indifféremment, système en marche ou système à l'arrêt	161
IV.6.4.	Activité spécifique induite par une décision de l'encadrement	162
IV.7.	Synthèse sur l'analyse par MAFERGO	165
V.	Synthèse sur l'Analyse de risques en exploitation	166

## **PARTIE III : Eléments pour une conception plus sûre**

### **Chapitre I : Des "Activités Spécifiques" aux Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)**

	<b>172</b>
I. Vers une définition des Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)	172
I.1. Modalités de traitement des "Activités Spécifiques"	172
I.2. Définition du concept d'Activités Limites tolérées à l'Usage (ALU)	175
I.3. Typologie des ALU : deux types d'ALU selon le niveau d'analyse du processus	182
I.3.1. Les ALU opérationnelles	182
I.3.2. Les ALU managériales	187
II. Recherche des facteurs et/ou circonstances initiant les ALU : Les Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)	190
II.1. Définition des Conditions Limites tolérées par l'Usage (CLU)	190
II.2. Typologie des Conditions Limites tolérées par l'Usage	192
II.2.1. CLU internes	192
II.2.2. CLU externes	193
III. Recherche d'éléments de "généralisation" des ALU	194
a) Comparaison des ALU managériales	195
b) Comparaison concernant les ALU opérationnelles	196
IV. CLU et retour en conception	198
<b>Chapitre II : Vers une conception plus sûre</b>	<b>200</b>
I. De la conception du risque à la construction de sécurité	200
I.1. Les origines du risque	200
I.2. Evolution de la maîtrise des risques dans un <i>processus de conception</i>	204
I.3. Maîtrise des risques dans le processus de conception : intérêt de MAFERGO	208
II. Elaboration d'arbres logiques pour l'aide à la décision en conception	210
II.1. Modalités de construction des arbres logiques	211
II.2. Résultats obtenus par la représentation par arbres logiques	212
II.2.1. Traitement de l'arbre logique de l'échec de l'ALU	215
II.2.2. Interprétation des résultats	216
II.2.3. Mise en évidence de la construction positive d'un espace opérationnel de sécurité	217
II.3. Conclusion sur la représentation par Arbres Logiques	218

III. Du fonctionnement normal au fonctionnement opérationnel induit _____	219
<b>CONCLUSION</b>	<b>223</b>
Bibliographie	230
Annexes	241
Liste des figures	243
Liste des tableaux	245
Table des matières	246