

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L' ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
À L' OBTENTION DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE MÉCANIQUE  
M.Ing.

PAR  
ANTONIO VENDITTI

ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ D'UN RIDEAU OPTIQUE COMME  
DISPOSITIF DE PROTECTION SUR UNE PRESSE PLIEUSE

MONTREAL, LE 17 DÉCEMBRE 2004

© droits réservés de Antonio Venditti

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Anh Dung Ngô, directeur de mémoire  
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

Mme Sylvie Nadeau, présidente du jury  
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Victor Songmene, professeur  
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 6 JANVIER 2005

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

# **ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ D'UN RIDEAU OPTIQUE COMME DISPOSITIF DE PROTECTION SUR UNE PRESSE PLIEUSE**

Antonio Venditti

## **SOMMAIRE**

Cette étude consiste à évaluer la faisabilité et la sécurité d'un rideau optique comme moyen de protection sur une presse plieuse. En effet, les presses plieuses sont des machines présentant des risques de blessures graves aux doigts et aux mains de leurs opérateurs. Dû au mouvement des pièces lors du pliage, la mise en place d'un dispositif de protection efficace et sécuritaire sur ces machines est particulièrement problématique. Pourtant, un type de dispositif de protection est suggéré dans les normes de sécurité et la documentation des fournisseurs spécialisés en sécurité industrielle. Il s'agit des dispositifs de protection électrosensibles (EPES) utilisant un dispositif optoélectronique actif (DPOA) sous la forme d'un barrage immatériel composé d'un faisceau de cellules photoélectroniques que nous appellerons dans ce mémoire, rideaux optiques. Mais leur mise en œuvre apparaît encore aujourd'hui complexe et problématique. Par exemple, lors du pliage de très petites pièces, pouvant ne mesurer que quelques centimètres de longueur, les mains de l'opérateur obstruent le faisceau qui constitue le rideau optique et arrête ainsi la presse plieuse.

Afin d'évaluer la faisabilité et la sécurité des rideaux optiques sur une presse plieuse, un banc d'essais a été construit à l'École de Technologie Supérieure (ETS). Ce banc d'essais permet de simuler le mouvement dangereux d'une presse plieuse. Le pliage des pièces simulées est effectué manuellement sur le banc d'essais à l'aide de modèles faits de carton en présence d'un rideau optique.

Les résultats démontrent que la faisabilité et la sécurité d'un rideau optique dépendent de son mode de fonctionnement adopté et de la géométrie des pièces à plier.

Les résultats démontrent aussi que le banc d'essai permet de simuler correctement le mouvement d'une presse plieuse ainsi que l'opération de pliage telle que faite en situation réelle.

Cependant les différences entre la géométrie du banc d'essais et une presse plieuse réelle font en sorte que des pièces réalisables sur le banc d'essais ne le sont pas sur une presse plieuse dans un des trois modes de fonctionnement du rideau optique étudiés dans ce mémoire. Dans les deux autres modes, le banc d'essais conduit à des résultats transposables à une presse réelle.

Enfin, comme exemple de prévention à la source, au moment même de la conception d'une pièce, une ébauche d'une méthode d'estimation du risque dans le pliage est présentée.

# **FEASIBILITY STUDY OF A LIGHT CURTAIN AS A PROTECTIVE DEVICE ON A BRAKE PRESS**

Antonio Venditti

## **ABSTRACT**

The present study involves assessing the feasibility and the safety of a light curtain as a protective device on a brake press. Indeed, press brakes expose the workers who operate them to serious injuries to their hands and fingers. Because of the motion of the work pieces when these are bent on these machines, the setting up of an effective protective device on these machines is particularly difficult. Yet, a type of protective device is recommended in machine guarding standards and in suppliers' literature. It consists of an electrosensitive protective device (ESPD) which uses an active protective optoelectronic device (APOD) in the form of an immaterial barrier created by a light curtain. But their implementation still appears problematic and complex.

In order to evaluate the feasibility and the safety of light curtains on a brake press, a test bench has been constructed at the École de Technologie Supérieure (ÉTS). This test bench enables the simulation of the hazardous motions of a brake press. The bending of work pieces is done manually on the test bench, using models made out of cardboard in the presence of a light curtain.

The results show that the feasibility and the safety of a light curtain depend on the mode of operation which is selected and the geometry of the work pieces to be bent. The results further show that the test bench allows one to correctly simulate the motion of a brake press as well as the bending operation as performed in a real situation.

However, differences in the geometry of the test bench and that of an actual brake press allows work pieces which cannot be bent on an actual press brake to be bent on the test bench when the light curtain is operated in one of the three modes of operation investigated in this study. In the other two modes of operations, the test bench leads to results which are reproducible on an actual brake press.

Finally, as an example of prevention at the source, a sketch of a risk analysis method applied to bending operations is presented.

## REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier les personnes suivantes :

Tout d'abord, mon directeur de thèse, Monsieur Anh Dung Ngô, pour son encouragement, et son soutien continué durant ce projet.

Messieurs Patrick Sheridan et Michel Drouin, techniciens au département de génie mécanique de l'ÉTS, pour leur aide technique dans la réalisation du banc d'essais.

Messieurs Mike Palmieri, représentant technique chez Cadence Automation Inc et Réal Bourbonnière, chercheur à l'IRSST, pour avoir fournis les rideaux optiques qui ont servi aux essais.

Monsieur Claude Jean, pour son intérêt envers cette recherche et pour avoir fournis des plans de pièces ayant servis lors des essais.

Monsieur Waguih Geadah, ingénieur-coordonnateur à l'ASFETM, pour m'avoir encouragé à entreprendre des études de maîtrise.

Et finalement, mon épouse, Marina et mes enfants Sarah et Jessica pour leur patience tout le long de mes études.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE.....	i
ABSTRACT.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE.....	4
1.1 Les dangers dans l'utilisation des presses plieuses.....	4
1.2 Appréciation des risques.....	5
1.3 Les moyens de prévention reliés aux presses plieuses.....	7
1.3.1 La prévention des risques reliés aux machines.....	7
1.3.2 Les dispositifs de protection associés aux presses plieuses.....	8
1.4 L'emploi de banc d'essais en sécurité des machines.....	9
1.5 L'emploi de rideau optique comme moyen de protection sur les presses plieuses.....	10
CHAPITRE 2 TECHNOLOGIE DU PLIAGE DES TÔLES.....	11
2.1 Les presses plieuses.....	11
2.1.1 Généralités.....	11
2.1.2 Caractéristiques principales des presses plieuses hydrauliques.....	12
2.2 Outillage employé sur les presses plieuses.....	12
CHAPITRE 3 LES RIDEAUX OPTIQUES.....	17
3.1 Principes.....	17
3.2 Modes de fonctionnement.....	18
3.3 Exigences normatives.....	20
3.4 Installations des rideaux optiques.....	22
CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE.....	29
4.1 Description de l'approche adoptée pour l'étude.....	29

4.2	Définition de « faisabilité » et « sécurité » d'un rideau optique .....	29
4.3	Choix des pièces pour fin de simulation .....	30
4.4	Description du banc d'essais .....	30
4.5	Rideaux optiques utilisés lors des essais .....	31
4.5.1	Choix des modèles de rideaux optiques .....	31
4.5.2	Calcul des distances sécuritaires d'installation .....	34
4.6	Protocole d'essais .....	35
4.6.1	Établissement et validation du protocole d'essais .....	35
4.6.2	Procédure suivie lors des essais .....	35
4.6.3	Description de la technique de protection d'une presse plieuse utilisant un rideau optique actif lors de la phase de fermeture des matrices seulement .....	38
CHAPITRE 5 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS .....		40
5.1	Résultats des simulations de pliage de pièces à plis simples avec un rideau optique en mode statique et en mode zone .....	
5.2	Résultats de simulations de pliage de pièces à plis simples et complexes avec un rideau optique en mode « actif ¼ po. » .....	41
CHAPITRE 6 DISCUSSION DES RÉSULTATS .....		46
6.1	Résultats obtenus avec des pièces à plis simples avec un rideau optique fonctionnant en mode statique .....	46
6.2	Résultats obtenus avec des pièces à plis simples avec un rideau optique fonctionnant en mode flottant fixe .....	46
6.3	Résultats obtenus avec des pièces à plis simples et multiples avec un rideau optique fonctionnant en mode « actif ¼ » .....	48
6.3.1	Pièces à un pli simple .....	48
6.3.2	Pièces à 2 plis simples symétriques .....	49
6.3.3	Pièces à 2 plis simples asymétriques .....	50
6.3.4	Pièces à 2 plis multiples extérieurs symétriques à chaque extrémité .....	51
6.3.5	Pièces à un pli multiple et à un pli simple asymétrique .....	54
6.3.6	Pièces à un pli multiple orienté vers l'extérieur et à un pli simple symétrique .....	55
6.3.7	Pièces à un pli multiple orienté vers l'intérieur et à un pli simple symétrique ou asymétrique .....	56
6.3.8	Boîtes à plis simples .....	56
6.3.9	Boîtes à plis multiples .....	57
6.3.10	Autres pièces .....	58
6.4	Limites et inconvénients du banc d'essais .....	58
6.5	Validité de l'utilisation du banc d'essais .....	60
6.6	Faisabilité et sécurité .....	62
6.7	Synthèse des résultats .....	63

6.7.1	Tableau-synthèse : Géométrie des pièces versus mode de fonctionnement du rideau optique.....	64
CHAPITRE 7 MODÈLE D'ESTIMATION DU RISQUE ASSOCIÉ AU PLIAGE AU MOMENT DE LA CONCEPTION .....		66
7.1	Analyse des risques a priori .....	67
7.2	Arbres de décision .....	69
CONCLUSION .....		72
ANNEXE		
	Dessins de pièces fournis par la compagnie XYZ Inc.....	75
BIBLIOGRAPHIE.....		89

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I	État du rideau optique lors du cycle de la presse plieuse selon le mode de fonctionnement choisi.....23
Tableau II	Exigences normatives pour les rideaux optiques .....24
Tableau III	Calcul des distances sécuritaires pour les rideaux optiques utilisés lors des essais.....35
Tableau IV	Résultats de simulations de pliage : rideau optique en mode statique et en mode zone inhibée flottante de hauteur fixe et pièces à plis simples (tôles planes et boîtes).....40
Tableau V	Résultats de simulations de pliages : rideau optique en mode «actif ¼ po.», pliage de pièces à plis simples et complexes. Pièces visionnées sur vidéos.....42
Tableau VI	Résultats de simulations de pliages : rideau optique en mode «actif ¼ po.». Pièces de provenant de XYZ Inc .....43
Tableau VII	Synthèse des résultats : Géométrie des pièces simulées versus mode de fonctionnement du rideau optique .....65

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 Presse plieuse typique en industrie.....	11
Figure 2 Composantes d'une presse plieuse hydraulique moderne .....	13
Figure 3 Opération typique de pliage en industrie .....	14
Figure 4 Outils fréquemment utilisés sur une presse plieuse.....	14
Figure 5 Pièce comportant un pli simple.....	15
Figure 6 Pièce comportant un pli multiple.....	15
Figure 7 Boîte à pli simple sur chaque côté.....	16
Figure 8 Boîte comportant des plis sur deux côtés adjacents .....	16
Figure 9 Exemple de rideau optique.....	17
Figure 10 Rideau optique utilisé sur une presse plieuse .....	20
Figure 11 Formation d'une boîte en présence d'un rideau optique .....	21
Figure 12 Disposition recommandée d'un rideau optique vertical.....	25
Figure 13 Banc d'essais avec matrices fermées (a) et ouvertes (b) .....	31
Figure 14 Rideau optique Banner utilisé dans l'étude.....	32
Figure 15 Pli simple fait à la main avant début de la simulation.....	36
Figure 16 Étape d'insertion d'une pièce .....	37
Figure 17 Pièce pliée manuellement .....	38
Figure 18 Pièce à un pli simple .....	48
Figure 19 Pièce à 2 plis symétriques.....	49
Figure 20 Pièce à 2 plis simples symétriques à angles obtus.....	50
Figure 21 Pièce à 2 plis simples asymétriques.....	50
Figure 22 Pièce à 2 plis multiples symétriques à chaque extrémité.....	51
Figure 23 Simulation d'un pli multiple extérieur sur une pièce à 2 plis multiples.....	52
Figure 24 Simulation d'un pli multiple extérieur sur une pièce à 1 pli multiple .....	53
Figure 25 Géométrie typique d'une presse plieuse réelle.....	54
Figure 26 Pièce à un pli multiple et simple asymétrique.....	54
Figure 27 1er pliage pièce à pli multiple et simple asymétrique .....	54

Figure 28 Réalisation d'une pièce à un pli multiple et à un pli simple asymétrique .....	55
Figure 29 Pièce à un pli multiple extérieur à un pli simple symétrique .....	56
Figure 30 Pièce à un pli multiple intérieur et à un pli simple symétrique ou asymétrique .....	56
Figure 31 Logigramme de faisabilité du pliage en présence d'un rideau optique actif en phase fermeture .....	70
Figure 32 Rideau optique avec zone inhibée flottante d'hauteur fixe réelle h .....	71

## INTRODUCTION

Les presses plieuses sont largement utilisées dans l'industrie. Ces machines comportent des risques pour leurs opérateurs causés par le mouvement de fermeture des matrices qui permettent le pliage des pièces. Il est donc hautement souhaitable de doter ces machines de dispositifs de protection efficaces et fonctionnels.

Parmi les dispositifs disponibles on compte les dispositifs de protection électrosensibles (EPES) utilisant un dispositif optoélectronique actif (DPOA) sous la forme d'un barrage immatériel composé d'un faisceau de cellules photo - électroniques que nous appellerons dans ce mémoire, rideau optique.

Ces équipements sont constitués d'un émetteur et d'un faisceau récepteur. Le faisceau optique (infrarouge) ainsi créé permet de détecter toute obstruction qui vient interrompre un ou plusieurs des rayons constituant le faisceau. Le dispositif peut ainsi être raccordé à la presse plieuse et peut donner un signal d'arrêt à celle-ci lorsque cet évènement survient.

Dans un but de protéger les opérateurs, cette situation est souhaitable lorsque leurs doigts ou leurs mains interrompent le rideau, car ainsi le rideau optique donne un signal d'arrêt à la presse plieuse et le mouvement dangereux est interrompu. Le problème avec les presses plieuses est que lors du pliage, la pièce se déplace, obstrue le dispositif et peut alors provoquer l'arrêt de la presse avant la fin du cycle de façonnage de la pièce. Ces temps d'arrêt constituent également des pertes de temps pour l'entreprise. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude sur le pourcentage de temps morts que représentent ces obstructions.

Pourtant, la documentation portant sur la sécurité des presses plieuses, et notamment les normes portant sur la sécurité de ces machines, mentionne les rideaux optiques comme moyen de protection sur ces machines. Cette documentation, toutefois, ne donne pas le champ d'application de ces dispositifs dans le cas du pliage des tôles.

Une étude sur la faisabilité de ces dispositifs et la sécurité qu'ils assurent dans le contexte des presses plieuses semble donc appropriée.

Pour ce faire, un banc d'essai simulant le mouvement de fermeture et d'ouverture des matrices d'une presse plieuse a été construit à l'École de Technologie Supérieure.

Deux modèles de rideaux optiques disponibles sur le marché ont été utilisés sur ce montage.

Le principe derrière le banc d'essais est que l'on désire simuler, dans un laboratoire, dans des conditions sécuritaires, le pliage de pièces de métal sur une presse plieuse réelle.

De plus, cette approche permet une plus grande souplesse par rapport à l'approche étude - terrain.

Le banc d'essais est constitué d'une vis sans fin verticale entraînée directement par un moteur électrique. Deux profilés d'aluminium dont un fixe et l'autre est entraîné par la vis sans fin simulent le mouvement d'ouverture et de fermeture de matrices réelles.

Cette étude porte sur le pliage de tôles, situation très commune en industrie. Les autres types de pièces que l'on peut plier ou former sur une presse plieuse n'ont pas été considérés.

Des feuilles de carton sont utilisées pour représenter les tôles réelles car elles sont planes, elles ont une épaisseur similaire aux tôles réelles et elles peuvent être aisément découpées aux dimensions et aux formes des tôles fréquemment rencontrées en industrie. Le pliage est simulé manuellement. Les modes de fonctionnement des rideaux optiques seront identifiés. Ceux qui apparaissent les plus prometteurs au point de vue faisabilité en situation réelle seront évalués.

Différentes formes de tôles pliées seront utilisées sur le banc d'essais. Le choix de ces pièces sera basé sur l'observation empirique, le visionnement de séquences vidéo de

situation de travail sur presses plieuses en usine et sur des exemples de pièces pliées complexes fournies par une entreprise qui a participé à cette étude.

Le pliage de ces pièces sera ainsi simulé sur le banc d'essais en présence d'un rideau optique dans un mode de fonctionnement choisi.

La faisabilité et la sécurité des rideaux optiques seront définis et évalués pour chacune des pièces simulées.

Les facteurs qui influencent la faisabilité et la sécurité des rideaux optiques dans le cas des presses plieuses seront identifiés et analysés.

Les limites du banc d'essais et la validité des résultats qu'il procure seront discutés. Enfin, une ébauche d'une approche alternative de prévention des risques associés aux presses plieuses sera esquissée. Cette approche propose une méthode d'estimation du risque au moment de la conception, basée sur la géométrie de la pièce pliée que l'on désire concevoir et fabriquer.

## CHAPITRE 1

### REVUE DE LITTÉRATURE

#### 1.1 Les dangers dans l'utilisation des presses plieuses

Les dangers reliés aux presses plieuses sont énumérés en détails dans la norme EN 12622 (2001) *Sécurité des presses plieuses*. Ainsi, on y décrit, par exemple, les dangers de coupure, d'écrasement, d'amputation, de happement.

Par ailleurs, une des études les plus complètes sur les dangers que présentent les presses plieuses est celle de Ngô et al. (1998).

Cette recherche, réalisée à l'ETS, a étudié, dans le milieu des années 90 la sécurité dans l'utilisation des presses plieuses dans le secteur d'activités de la fabrication d'équipements de transport et de machines.

L'étude était constituée d'un sondage réalisé par l'entremise de questionnaires postaux envoyés aux usines de ce secteur d'activités. Par la suite, les auteurs ont sélectionné 52 usines où des visites approfondies ont été réalisées et des vidéos illustrant des opérations de pliage ont été filmés.

Un inventaire des presses plieuses du secteur, des moyens de protection utilisés et des méthodes de travail employées a ainsi été dressé.

Les risques principaux identifiés par les auteurs sont reliés aux éléments suivants :

- Manque de formation des opérateurs de presses plieuses
- Dans plusieurs usines, l'attention de l'opérateur constitue la principale, et souvent la seule, mesure de prévention existante
- Les presses plieuses ne sont pas souvent équipées d'accessoires, tels que des supports de pièces, qui pourraient rendre le travail plus sécuritaire.

- Certains travaux requièrent la présence de deux ou même trois opérateurs. Le plus souvent, ces opérateurs ne bénéficient pas du même degré de protection.
- Certains travaux sont particulièrement dangereux comme par exemple, la fabrication de boîtes de petites dimensions, de tuyaux et de cône

Une constatation importante du rapport est à l'effet que 84,1% des presses plieuses utilisées dans le secteur ne sont équipées d'aucun dispositif de protection. L'expérience du terrain porte à croire que la situation actuelle n'a pas beaucoup changé. L'étude de Ngô et al. (1998) constitue la base de départ du présent mémoire.

## 1.2 Appréciation des risques

Le domaine de la sécurité des machines a au cours des dernières années, adopté une démarche de gestion des risques, de plus en plus utilisée à travers le monde.

De notre perspective, l'aspect le plus intéressant est la démarche d'identification (d'appréciation) des risques que présente une machine donnée. Ainsi, il est de plus en plus reconnu que toute démarche de prévention doit débiter par l'identification de tous les risques reliés à toutes les étapes de la vie d'une machine : installation, entretien, réglage, opération, réparation, etc.

Parmi les méthodes d'appréciation du risque existantes, celle proposée par la norme EN 1050 est celle qui la plus utilisée dans le domaine de la sécurité des presses plieuses.

Le risque y est vu comme originant de *phénomènes dangereux*, source potentielle de dommages humains ou matériels, auxquels un travailleur est exposé dans une *situation dangereuse* qui peut entraîner des *événements dangereux* résultant en des *dommages* (blessures ou bris matériels).

Dans un deuxième temps, un indice de risque est établi en fonction de quatre paramètres :

- *Gravité* : étendue et amplitude des dommages

- *Fréquence d'exposition* : fréquence ou durée d'exposition au phénomène dangereux; cette notion est reliée à la tâche.
- *Probabilité d'occurrence* : la probabilité que l'évènement dangereux se produise.
- *Possibilité d'évitement* : la possibilité d'éviter les dommages après l'apparition de l'évènement dangereux.

Ces paramètres sont évalués de façon semi-quantitative en utilisant des critères à 2 ou 3 niveaux (par exemple : faible, moyen, élevé).

Dans le cadre de ce mémoire nous nous attachons au risque principal que pose les presses plieuses : à savoir le risque de blessures aux membres supérieurs par accès frontal aux matrices en mouvement.

Plus tard, dans ce mémoire, nous verrons un lien intéressant entre cette définition du niveau de risque et notre essai d'ingénierie simultanée appliquée au pliage de pièces de métal.

Ce risque, lorsqu'analysé selon la méthodologie préconisée par la norme EN1050, est décrit comme suit :

*Phénomène dangereux* : mouvement de fermeture des matrices

*Situation dangereuse* : opérateur alimentant et retirant les pièces travaillant devant la presse.

*Évènement dangereux* : possibilité d'accès à la zone dangereuse comprise entre les deux matrices se refermant.

*Dommages* : écrasement, fracture, amputation des membres supérieurs.

*Gravité* : élevée.

*Fréquence d'exposition* : élevée ; en effet les presses plieuses sont utilisées quotidiennement en période de production normale.

*Probabilité d'occurrence* : élevée à faible, selon le degré d'expérience et de formation de l'opérateur et les dimensions et la forme des pièces à plier.

*Possibilité d'évitement* : possible dans certaines conditions dépendant, notamment de la vitesse de fermeture des matrices.

Nous nous attachons à la recherche de solutions préventives correspondant au risque particulier décrit précédemment.

### **1.3 Les moyens de prévention reliés aux presses plieuses**

#### **1.3.1 La prévention des risques reliés aux machines**

Dans la littérature existante sur la sécurité des machines, le principe fondamental qui y est énoncé est que toute machine comprenant une zone dangereuse doit faire l'objet de certaines mesures de prévention. Une zone dangereuse est, par définition, toute partie d'une machine qui peut engendrer des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs.

Ainsi, Lupin et al. (1998) de l'INRS, Pâques et Bourbonnière (2002) de l'IRSST, le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec* (2001) donnent une démarche de réduction du risque relié aux machines qui procède comme suit :

- On doit tout d'abord s'efforcer de rendre la zone dangereuse de toute machine inaccessible par conception.
- À défaut de réaliser cet objectif, on doit installer des protecteurs ou des dispositifs de protection appropriés. Les rideaux optiques font, notamment partie de ces dispositifs qui y sont décrits.

- Si la mise en place de ces moyens techniques rend impraticable la fonction même de la machine, alors les responsables de la sécurité d'un établissement doivent élaborer des mesures de prévention alternatives et équivalentes tel que l'organisation du travail, la formation des travailleurs ou le port d'équipement de protection individuelle.

Le cas des presses plieuses est une illustration parfaite de cette dernière approche. En effet, pour ce genre de machines, l'industrie s'en remet à la formation des travailleurs et l'élaboration de procédures de travail afin de les rendre sécuritaires.

Mais, il n'en demeure pas moins que la prévention des risques reliés au point d'opération d'une presse plieuse doit commencer par la recherche de protecteurs et de dispositifs de protection appropriés.

Depuis la parution de l'étude de Ngô et al (1998), des normes sur la sécurité des presses plieuses ont été développées qui décrivent de tels moyens.

Nous discuterons les éléments de ces normes qui sont pertinents et qui peuvent compléter notre investigation.

### **1.3.2 Les dispositifs de protection associés aux presses plieuses**

La littérature fait état de différents moyens de protection pour les presses plieuses. Notamment, la norme CSA Z142 (2002) *Sécurité des presses* énumère les dispositifs de sécurité possibles sur une presse plieuse :

- a) rideau optique
- b) commande bimanuelle en conjonction avec des butées avant de support de pièces
- c) commande bimanuelle commandant la fermeture des matrices jusqu'à une ouverture de 6 mm, point où la presse s'arrête automatiquement. Le reste du cycle est alors poursuivi avec la pédale au pied.
- d) câbles de retenue des mains

- e) réduction de la course à 6 mm
- f) protecteurs mobiles verrouillés

Ces moyens sont aussi énumérés dans la norme européenne EN 12622 (2001) *Presses plieuses hydrauliques* ainsi que dans la norme américaine ANSI B11.3 – 2002 *Safety requirements for power press brakes* .

Cependant, les câbles de retenue, une solution très ancienne en sécurité des machines, ne sont pas autorisés dans la norme européenne EN 12622, mais le sont dans la norme ANSI américaine.

Nous ne voulons pas discuter de ces moyens dans le cadre de cette étude. Ngô et al. (1998), donne une bonne description de plusieurs d'entre eux lorsqu'utilisés sur une presse plieuse. On se référera à Pâques et Bourbonnière (2002) pour une explication détaillée de ces dispositifs dans le cadre plus général de la sécurité des machines. Soulignons cependant, que la solution la plus intéressante est celle donnée en c). Nous aurons l'occasion, plus loin dans cette étude, de mettre à l'essai un rideau optique fonctionnant selon un principe similaire et d'analyser sa performance en détail.

#### **1.4 L'emploi de bancs d'essais en sécurité des machines**

L'emploi de banc d'essais comme simulateurs en recherche sur la sécurité industrielle est relaté par Collins et al. (1996). Selon ces auteurs, cette approche a été utilisée dès les années 1970 afin d'étudier la sécurité des presses mécaniques.

Dans ces études, un modèle physique de la machine dont on veut étudier la sécurité est construit et utilisé. On demande, par ailleurs, dans ces études, à des sujets volontaires d'exécuter certaines tâches et les chercheurs étudient, par la suite, les facteurs qui influencent les réactions observées.

Pour donner un exemple bien connu, de nombreuses études de ce genre ont été menées dans les années 1980 visant à déterminer la vitesse de la main d'un opérateur

de presse mécanique qui tente d'atteindre la zone dangereuse suite à un incident (exemple : pièce mal positionnée dans les matrices) après que celui-ci ait actionné la presse à l'aide d'une commande bimanuelle.

Dans notre cas, un simulateur est également utilisé pour simuler le comportement d'une machine sous étude, en l'occurrence une presse plieuse. Par contre, dans notre cas, le comportement du sujet performant les simulations n'est pas un facteur réellement pertinent.

### **1.5 L'emploi de rideau optique comme moyen de protection sur les presses plieuses**

Hormis les normes et la documentation des fournisseurs de rideaux optiques, la littérature ne décrit pas beaucoup comment ces dispositifs peuvent s'utiliser sur une presse plieuse.

Un auteur, toutefois, Koedding (1997) traite avec assez de détails cette question.

L'auteur mentionne que certains modèles de rideaux optiques offrent l'option de pouvoir désactiver un certain nombre de rayons de manière à laisser une pièce traverser le plan du rideau sans provoquer l'arrêt. L'auteur mentionne que certains modèles de rideaux optiques peuvent permettre la désactivation d'une portion du rideau pouvant atteindre 8 pouces, ce qui peut permettre l'accès non - détecté dans la zone dangereuse de l'opérateur. L'auteur décommande l'usage de rideaux optiques dans ce mode de fonctionnement.

L'auteur présente ensuite une méthode intéressante de protection de l'opérateur de presse plieuse à l'aide d'un rideau optique. La méthode consiste à utiliser un rideau optique actif lors de la phase de fermeture des matrices jusqu'à une ouverture restante de  $\frac{1}{4}$  de po.

Cette approche sera explorée dans cette étude.

## CHAPITRE 2

### TECHNOLOGIE DU PLIAGE DES TÔLES

#### 2.1 Les presses plieuses

##### 2.1.1 Généralités

Une presse plieuse est une machine conçue et prévue pour effectuer divers travaux sur des tôles dont, en particulier, le pliage. La figure 1 illustre une presse plieuse typique.



Figure 1 Presse plieuse typique en industrie

Les presses plieuses peuvent être classées selon la forme d'énergie à l'origine du mouvement. Ainsi les presses plieuses peuvent être :

- hydrauliques ou
- mécaniques, à embrayage soit positif, soit à friction.

Le sondage réalisé par Ngô et al.(1998) indiquait que 76% des presses plieuses utilisées dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines étaient hydrauliques contre 24% mécaniques.

Aujourd'hui, ce pourcentage, à travers l'industrie en général, est probablement encore plus élevé en faveur des machines hydrauliques, les plieuses mécaniques ayant pratiquement disparues.

Cela s'explique aisément par le fait que les plieuses hydrauliques peuvent ainsi être dotées de vitesses variables lors du cycle de pliage, que la force appliquée lors du tonnage est plus uniforme et égale à tous points du cycle. De plus, et surtout, il est plus facile de doter ces presses de dispositifs de protection efficaces. Ainsi, pour le reste de la discussion et pour toute fin pratique, nous parlerons dorénavant des presses hydrauliques.

### **2.1.2 Caractéristiques principales des presses plieuses hydrauliques**

Une presse plieuse hydraulique est constituée des éléments suivants, illustrés sur la figure 2.

De notre perspective de sécurité, on notera les éléments suivants :

- les protecteurs (grillages) latéraux en plus du rideau lumineux sont destinés à protéger l'opérateur.
- la console support de pièce et la butée arrière. Ces accessoires peuvent être des éléments qui en soit peuvent améliorer la sécurité de l'opérateur.
- le tablier mobile illustré sur la figure est la partie supérieure de la presse. Mais, en fait, il existe de nombreuses presses plieuses où le tablier supérieur est fixe et c'est le tablier du bas qui est mobile et qui effectue un mouvement de bas en haut, permettant ainsi la fermeture des matrices.

## **2.2 Outillage employé sur les presses plieuses**

Une presse plieuse doit être équipée d'outils de pliage appropriés afin d'accomplir la fonction à laquelle on la destine.

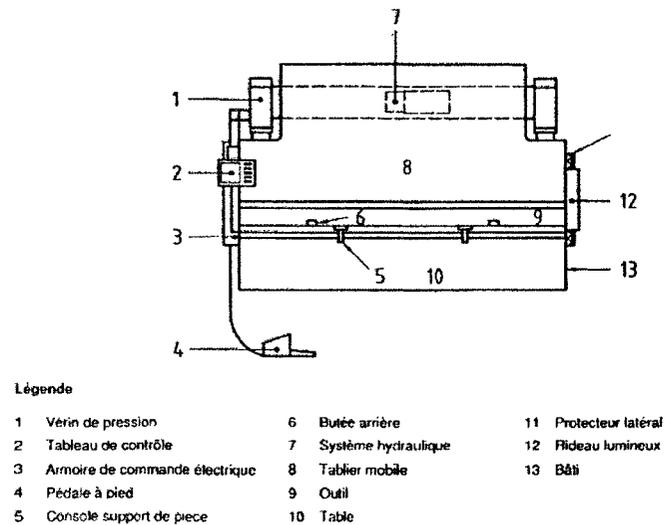


Figure 2 Composantes d'une presse plieuse hydraulique moderne  
Tiré de la norme EN 12622 (2001)

La figure 3 illustre une situation de pliage typique exécutée sur une presse plieuse.

Les outils employés sur une presse plieuse sont constitués d'une matrice inférieure et d'une matrice supérieure, le poinçon. Ce dernier, en épousant la forme de la matrice, à la fin de la phase de descente du coulisseau ou de montée du tablier, selon le modèle de plieuse, permet d'effectuer le pliage demandé. La conception de l'outillage est donc fonction du type de pli requis.

La diversité des formes de pièces pliées qu'il est possible de rencontrer est tellement grande qu'il est vain d'essayer de décrire tous les outils de pliage qui existent en industrie.

La figure 4 montre, tout de même, une bonne variété d'outils de pliage.

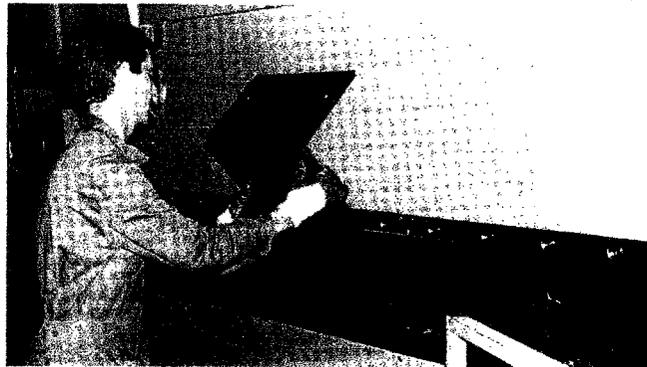


Figure 3 Opération typique de pliage en industrie. Tiré de Mougeot (1998)

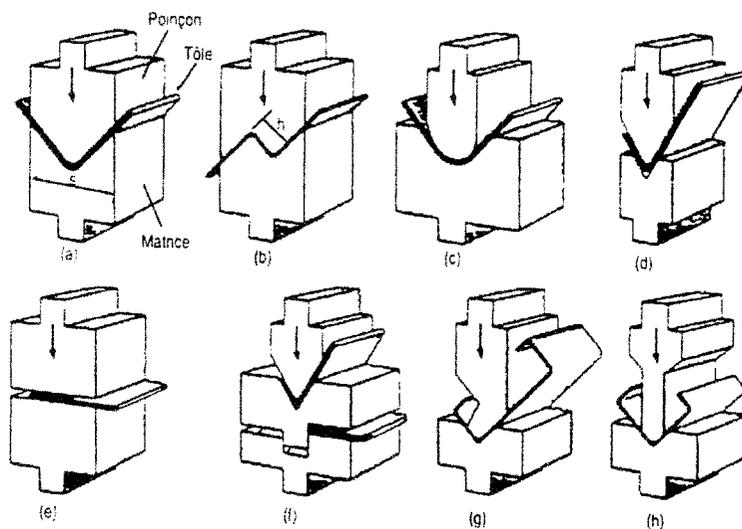


Figure 4 Outils fréquemment utilisés sur une presse plieuse  
Tiré de Ngô et al. (1998)

Dans le cadre de cette étude, on se concentrera sur les tôles, initialement planes et sur lesquelles on effectuera deux types de plis :

- Pli simple : un pli simple est tout simplement un pli unique comme illustré à la figure suivante.



Figure 5 Pièce comportant un pli simple

- Pli multiple : un pli multiple est un pli sur lequel on fait un autre pli. Sur ce pli, on peut, aussi, faire un autre pli et, en théorie, le tout peut se répéter à volonté, pratiquement. La figure suivante illustre un pli multiple.



Figure 6 Pièce comportant un pli multiple

- Boîte : une catégorie très importante de pièces pliées sont du type que l'on pourrait appeler des boîtes.

Nous avons défini une boîte comme étant une tôle que l'on plie selon au moins deux côtés adjacents. On peut avoir, dans un premier temps, quatre plis simples sur chaque côté. On peut avoir, aussi, des boîtes comportant des plis sur deux côtés adjacents plutôt que sur les quatre côtés. En annexe, on peut aussi voir des exemples de boîtes comportant des plis multiples sur chaque bord.

La création d'une pièce comportant différents plis nécessite la détermination de la séquence correcte de pliage. Cette même problématique se présente lors des simulations sur le banc d'essais. Nous décrirons des séquences de pliage dans les prochains chapitres.

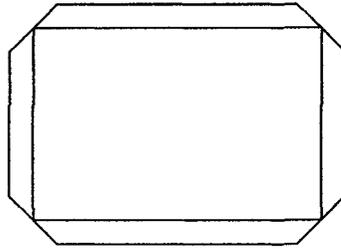


Figure 7 Boîte à pli simple sur chaque côté

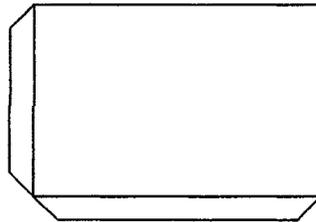


Figure 8 Boîte comportant des plis sur deux côtés adjacents

## CHAPITRE 3

### LES RIDEAUX OPTIQUES

#### 3.1 Principes

Les rideaux optiques sont des dispositifs de protection appartenant à la famille des barrières immatérielles.

Le principe de base derrière ce moyen de protection est d'insérer une barrière immatérielle entre l'opérateur et la zone dangereuse de la machine considérée. Cette barrière est conçue pour pouvoir détecter la présence d'une partie du corps humain et générer un signal d'arrêt vers la machine.

La figure suivante illustre un rideau optique typique, disponible sur le marché, comme celui installé sur le banc d'essais.

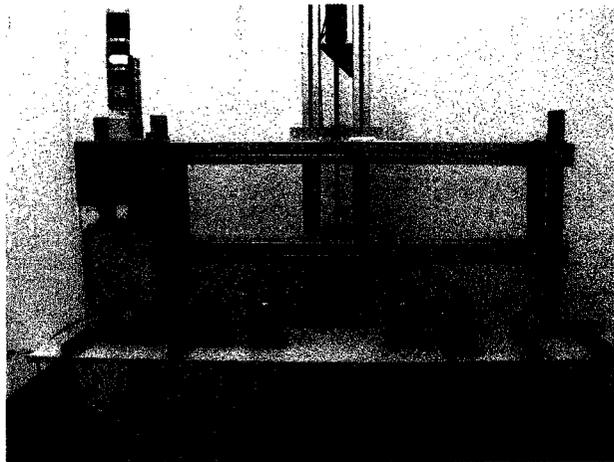


Figure 9 Exemple de rideau optique

Les rideaux optiques sont constitués de deux composantes principales : un émetteur et un récepteur de rayonnement infrarouge. Ces deux pièces sont, physiquement, une série de cellules individuelles disposées l'une à la suite de l'autre. Face à chaque

cellule de l'émetteur se trouve une cellule correspondante au récepteur. Ainsi un faisceau de rayons infrarouges, un rideau, est généré. L'émetteur émet les rayons infrarouges et le récepteur détecte la présence de ces derniers. L'absence de ces rayons infrarouges entraîne l'émission d'un signal d'arrêt vers le contrôle de la presse plieuse afin d'interrompre son mouvement. Le rideau ainsi réalisé peut être disposé verticalement, horizontalement ou à angle.

### 3.2 Modes de fonctionnement

Les rideaux optiques peuvent fonctionner dans divers modes. Ce point est absolument fondamental dans notre étude. En effet, la faisabilité de ce dispositif de protection dans le cas de presses plieuses repose sur le mode de fonctionnement choisi.

On peut distinguer les modes de fonctionnement suivants :

1. Mode statique : le rideau est actif en tout temps;
2. Mode statique, mais le rideau est actif seulement quand la presse est au repos (point mort haut initial) et lors de la phase de fermeture des matrices jusqu'à une ouverture de ¼ po. Ce mode de fonctionnement utilise un rideau optique en mode statique. Il est décrit en détail plus loin. On l'appellera, dans le reste de ce mémoire «rideau en mode actif ¼ po.».
3. Mode dynamique, zone inhibée flottante de hauteur fixe : («floating blanking») ; le rideau possède une fenêtre inhibée, inactivée telle que si un objet ou une partie des doigts ou des mains d'un opérateur traverse cette fenêtre, le rideau n'est pas activé et n'entraîne pas l'arrêt de la machine. De plus, cette fenêtre, d'une hauteur fixe, peut se trouver n'importe où sur la hauteur du rideau. Pour alléger l'écriture, nous référerons à ce mode de fonctionnement par l'appellation «rideau optique en mode flottant fixe».
4. Mode dynamique, zone inhibée flottante de hauteur ajustable : ce mode est similaire au précédent mais à la différence que la hauteur de la zone inhibée est ajustable. Nous appellerons ce mode «flottant ajustable» dans ce mémoire.

De plus, certains modèles de rideaux optiques disponibles sur le marché (tel que le modèle C4000 Advanced de Sick) offrent la possibilité d'inhiber en mode fixe certaines zones du rideau et en même temps avoir une zone flottante inhibée sur le reste du rideau.

Afin de bien comprendre ces différents modes de fonctionnement, la figure 10 illustre un exemple de pli simple que l'on tente de réaliser en présence d'un rideau optique. On peut faire la même discussion avec un autre type de pli.

Le tableau I explique le comportement du rideau optique, selon le mode de fonctionnement choisi, lors des phases du mouvement de la presse plieuse. Durant ce processus, la tôle se déplace d'une position horizontale à une position comme celle illustrée par le trait en pointillés.

Ainsi, en modes «actif» et «actif  $\frac{1}{4}$  po.», le tableau illustre le fonctionnement déjà décrit. En mode «flottant», fixe et ajustable, le rideau est actif en tout temps, lors de la phase de fermeture et d'ouverture des matrices. On note, dans le tableau, qu'il en est de même pour le mode «actif». La différence est que dans les modes «flottant», fixe et ajustable, il existe une zone inhibée. La hauteur de cette zone inhibée doit permettre le passage de la tôle comme l'illustre les figures 10 et 11. Mais dans ce mode de fonctionnement, les autres cellules photoélectriques sont actives, comme décrit dans le tableau I. Afin de bien comprendre le fonctionnement d'un rideau en mode «flottant», considérons de nouveau, plus en détail, la figure 11.

Le rideau optique 1 est installé devant la presse plieuse 2 et en particulier devant la zone dangereuse, les matrices 3. L'opérateur manipule la tôle à plier 4 laquelle, dans l'exemple illustré est en train d'être formée en une boîte dont un des côtés est déjà plié et possède une hauteur h. Lors du pliage, la tôle se déplace et obstrue une partie du faisceau constituant le rideau optique. En mode flottant, on peut inhiber une partie du faisceau. Cette zone inhibée devra avoir une hauteur au moins égale à la hauteur maximale ainsi obstruée par le passage de la pièce, soit H sur la figure.

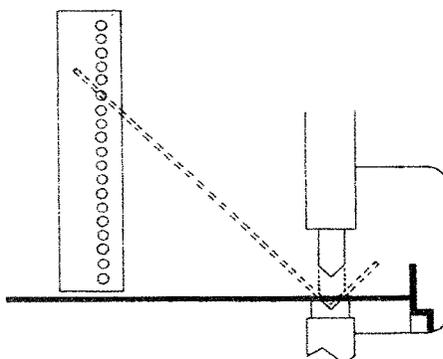


Figure 10 Rideau optique utilisé sur une presse plieuse  
Tiré de Sick Inc. (2000)

Dans une telle situation, la question de la sécurité qu'offre un tel dispositif devient très importante. En effet, un opérateur pourrait-il insérer ses mains à l'intérieur de cette zone inhibée à un moment donné du pliage de sorte que l'épaisseur de ces mains plus  $h$  soit inférieure à  $H$  ? Y-a-il alors possibilité d'atteindre la zone dangereuse ?

Pour compléter, notons la présence de deux accessoires sur la presse plieuse illustrée à la figure 11. D'abord, les butées arrière «5» qui servent au positionnement de la tôle dans les matrices afin d'obtenir la précision du pli recherchée. Ensuite, les consoles avant «6» qui sont occasionnellement utilisées pour supporter les tôles. Notons que dans l'exemple illustré, ces consoles obstruent une partie du rideau optique. Il est possible de régler le rideau pour tenir compte de cette situation.

### 3.3 Exigences normatives

Les caractéristiques normatives exigées pour les rideaux optiques sont présentées au tableau II. Ces critères se comprennent aisément à la lecture du tableau, mais deux points méritent de plus amples explications : la «catégorie 4» et la «résolution»:

L'exigence «Catégorie 4» fait référence à une définition donnée dans la norme européenne EN 954-1 (1994) qui décrit les exigences de conception pour les systèmes de commande de machines, incluant les dispositifs électro - sensibles.

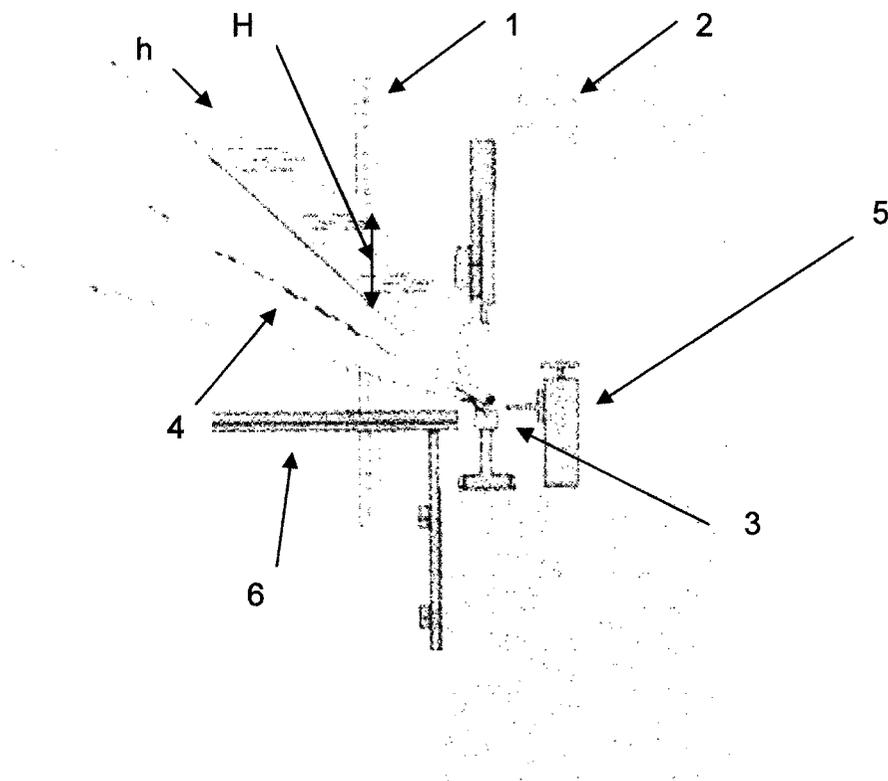


Figure 11 Formation d'une boîte en présence d'un rideau optique  
Tiré de Koedding (1997)

Lorsqu'un système de commande peut influencer la sécurité des opérateurs, on exige une conception qui assure qu'en cas de défauts du système de commande, la sécurité de l'opérateur est toujours assurée et ces défauts sont détectés à temps avant toute perte de sécurité. Un système de commande répondant à ces exigences est dit être de catégorie 4.

Quant à la résolution, il s'agit de la distance entre deux cellules photoélectriques adjacentes d'un rideau optique. Il s'agit donc, en fait, du plus petit diamètre d'un objet pouvant être détecté.

### **3.4 Installation des rideaux optiques**

Dans cette étude, le rideau optique sera installé à la verticale devant le banc d'essais.

Dans les applications industrielles réelles concernant les presses plieuses, cette disposition est la plus courante.

La zone dangereuse, dans cette situation, possède une étendue dont la longueur est égale à celle des matrices utilisées et une hauteur égale à la distance entre les matrices inférieures et supérieures au point mort initial de la course de la presse. En pratique, étant donné que la longueur des matrices peut varier, on place l'émetteur et le récepteur aux deux extrémités de la presse plieuse. Comme décrit plus haut, la norme sur les presses plieuses EN12622 donne les exigences quant à la distance minimale à respecter entre le bord supérieur de l'émetteur et du récepteur et le bord supérieur de la zone dangereuse et de même pour le bord inférieur de ces appareils et le bord inférieure de la zone de danger, tel qu'illustré à la figure 12.

Ces exigences ont pour but de prévenir l'accès à la zone dangereuse autrement que par le devant de la machine.

#### Distance sécuritaire

Un aspect délicat de l'installation des rideaux optiques a trait à la question de la distance sécuritaire du rideau optique par rapport au point de pincement le plus rapproché de l'opérateur.

Il est important de bien comprendre la logique derrière cette exigence.

L'idée est que le dispositif de détection de présence que l'on utilise doit être placé suffisamment loin de la zone dangereuse et plus spécifiquement du point

de pincement de manière à ce que si l'opérateur, avec sa main, franchit la barrière immatérielle, le temps,  $T_{\text{humain}}$  qu'il mettra à atteindre le point de pincement sera supérieur au temps mis par le système machine -dispositif de protection pour physiquement arrêter tout mouvement dangereux.

Tableau I  
État du rideau optique lors du cycle de la presse plieuse selon le mode de fonctionnement choisi

Mode de fonctionnement du rideau optique	État du rideau lors du déplacement de la presse plieuse (voir légende)
Actif	
«Actif ¼ pp.»	
«Flottant fixe»	
«Flottant ajustable»	

Légende :

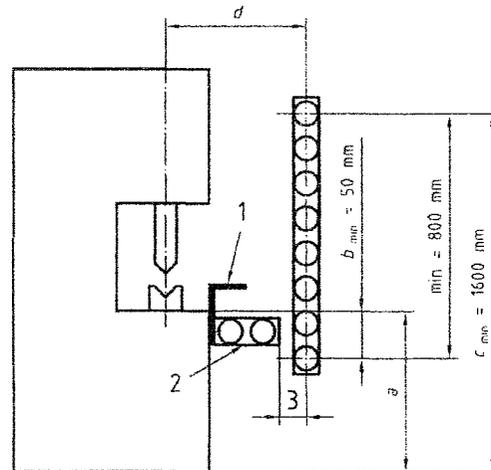
Flèche en rouge : rideau actif, dans son mode de fonctionnement donné, lors de cette phase du mouvement de la presse plieuse.

Flèche en noir : rideau désactivé lors de cette phase du mouvement de la presse plieuse.

Flèche en rouge et noir : rideau actif, dans son mode de fonctionnement donné, lors de cette phase du mouvement de la presse plieuse. La portion en noir est la zone inhibée (inactive) du rideau.

Tableau II  
 Exigences normatives pour les rideaux optiques

Caractéristique	CSA Z142-02	EN12622	ANSI B11.3-2002
Catégorie 4	-	a.5.3.12.1a)	-
Accès à la zone dangereuse possible qu'à travers le rideau optique	a. 11.3.5(a)	a. 5.3.12.1b)	8.6.2.2.1
Arrêt de tout mouvement dangereux quand toute partie du corps interrompt le rideau	a.11.3.2.2(a), (b)	a.5.3.12.1d)	a.8.6.2.2.2
Dispositif de réarmement en cas d'interruption du rideau	a.11.3.2.2c)	a.5.3.12.1e)	a.8.6.2.2.2
Distance de sécurité déterminée selon formule donnée	a. a.11.3.5e) ; a.10	a.5.3.12.2	a. 8.6.2.2.7
Inhibition de zone autorisée que si la distance de sécurité est telle que la zone dangereuse est inaccessible	a.11.3.5 e)	a. 5.3.12.1f)	-
Rideaux peuvent être placés à la verticale, horizontale, à angle ou en combinant ces configurations		a. 5.3.12.2	
Rideaux verticaux disposées selon des distances données		a.5.3.12.2 et figure 2	a. 8.6.2.2.1 (exigences qualitatives)
Résolution $\leq 14$ mm		5.3.12.2	



#### Légende

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| a | Hauteur de la table                          | 1 | Console support de pièce                         |
| b | Distance de chevauchement                    | 2 | Barrage(s) lumineux/ Protecteurs supplémentaires |
| c | Hauteur du bord supérieur du rideau lumineux | 3 | Distance maximale (voir texte) Plan de référence |
| d | Distance de sécurité                         |   |  |

**Figure 12** Disposition recommandée d'un rideau optique vertical  
Tiré de la norme EN 12622 (2001)

Donc, cette distance sécuritaire a pour but de prévenir le risque relié à la rapidité des réflexes humains dans une situation où, par exemple, un opérateur voudrait intervenir dans la zone de danger pour, par exemple, rattraper une pièce qui glisserait. Mais, le risque d'accès à la zone dangereuse est, fondamentalement, couvert par l'installation du dispositif de protection que représente le rideau optique.

Le temps  $T_{\text{humain}}$  dépend de la vitesse que peut atteindre la main humaine.

De nombreuses études ont tenté de déterminer ce facteur. Un excellent résumé de cette question a été donné par Bélanger et al. (1994).

Les études arrivent à des vitesses variant de 3 m/s jusqu'à 6,1 m/s. La valeur de 6,1 m/s a été obtenue avec des sujets se tenant de côté et effectuant un geste style karaté.

Lors d'essais réalisés avec des sujets se tenant face à des barrières immatérielles, des valeurs maximales de 4,5 m/s ont été mesurées.

Lors d'essais réalisés avec des barrières immatérielles et en demandant aux sujets d'avancer leur main vers la machine selon une trajectoire rectiligne, des vitesses moyennes de 2,13 m/s ont été observées, avec une vitesse maximale de 5 m/s.

Toutefois, la valeur la plus utilisée et depuis longtemps, situe cette vitesse à 160 cm/s, 1,6 m/s. Il s'agit d'une valeur empirique dont l'origine est floue.

Cependant, toute aussi incertaine que soit cette valeur, les trois normes portant sur la sécurité des presses plieuses déjà évoquées l'ont toutes adoptée. Pour cette raison, c'est la valeur que nous utiliserons aussi.

Pour ce qui est du temps de réponse du système, il s'agit du temps d'arrêt total du système comprenant le temps de réponse du dispositif photoélectrique et de tous les autres composants de la machine – laps de temps depuis la détection de la présence d'un objet au travers de la barrière immatérielle et l'arrêt complet du tablier de la presse.

Ainsi, en combinant ces notions, les normes déterminent la distance de sécurité via des formules telles que :

$$D = K \times t + C$$

où :

D = la distance minimale entre le point de pincement le plus rapproché de l'opérateur et le barrage immatériel, en cm;

t = temps d'arrêt de la presse plus le temps de réponse du rideau optique, en secondes;

Ce paramètre peut être obtenu soit à partir des données techniques du manufacturier ou peut être mesuré.

Turcot et al. (1997) de l'IRSST ont développé une méthode et un instrument de mesure applicables principalement aux presses mécaniques. Des essais faits par ces auteurs sur le terrain démontrent que leur méthode s'applique moins bien aux autres types de presses.

Selon Sick, la valeur typique du temps d'arrêt d'une presse plieuse hydraulique est 250 ms.

$K = 160$  cm/s est la constante égale à la vitesse de la main.

$C =$  est la distance supplémentaire qu'il faut ajouter lorsque l'on utilise le rideau optique dans certaines conditions particulières telle que le fonctionnement en mode fenêtre flottante. Cette donnée est spécifiée dans les normes, telles que EN 12622 ou dans la réglementation OSHA sur les presses. Nous prendrons la valeur de 13 cm (5 po.) recommandée d'ailleurs par le manufacturier Banner.

Les distances sécuritaires pour les deux rideaux optiques utilisés dans cette étude sont ainsi calculées de la manière suivante :

La question la plus délicate concerne le temps d'arrêt du banc d'essais : nous l'ignorons et ne l'avons pas mesuré.

Toutefois, nous pouvons faire des estimés raisonnables.

D'autre part, nous verrons dans cette étude que même si en situation réelle la distance sécuritaire est un paramètre fondamental, les conclusions auxquels nous arriverons quant à la faisabilité et sur la sécurité sont valables malgré l'estimation qui est introduite ici.

Pour estimer donc le temps d'arrêt du banc d'essais, nous faisons le raisonnement suivant.

Le mouvement de la vis sans fin du banc d'essais est entraîné directement par un moteur électrique, lui-même commandé par un circuit électrique composé de relais. Le temps d'arrêt est donc dépendant du comportement de composantes électriques.

Nous nous baserons alors sur le temps de réponse du rideau optique qui est un système électronique, temps auquel nous ajouterons 20% de cette valeur pour compenser l'absence de mesures exactes.

Cette procédure est d'ailleurs recommandée dans le manuel d'opération de Banner lorsque le temps de réponse d'une machine est mal connu.

L'expérience d'une usine utilisant une presse plieuse à entraînement direct à vis sans fin confirme également que le temps de réaction d'une telle presse est très rapide.

## **CHAPITRE 4**

### **MÉTHODOLOGIE**

#### **4.1 Description de l'approche adoptée pour l'étude**

Dans la présente étude, la faisabilité et l'efficacité d'un dispositif de sécurité basé sur un rideau optique a été évalué à l'aide d'un banc d'essais conçu et construit par l'ETS pour les besoins de ce projet en particulier.

Afin de s'assurer d'obtenir des résultats valables, il importe de définir en quoi le banc d'essais permet de simuler une presse plieuse.

Le banc d'essais reproduit le mouvement d'une presse plieuse réelle dans son cycle : mouvement de fermeture, mouvement d'ouverture des matrices et, finalement, arrêt au point supérieur de la course. Dans ce sens, la simulation s'applique autant à une presse dont le coulisseau supérieur descend et ferme les matrices ou à une presse dont la partie inférieure est mobile et ferme les matrices. Aussi, ce mouvement peut provenir d'une presse hydraulique ou mécanique.

La vitesse du banc d'essais est beaucoup plus rapide que celui d'une presse réelle. Cependant, une mesure ou un calcul de cette vitesse n'a pas été réalisé car ce qui nous importe dans cette étude sur la faisabilité d'un rideau est le mouvement dangereux généré par une presse plieuse et non sa vitesse.

#### **4.2 Définition de «faisabilité» et «sécurité» d'un rideau optique**

Dans le cadre de cette étude, un rideau optique est «faisable», si l'on réussi à simuler le pliage d'une pièce donnée en présence d'un tel dispositif de protection.

Un rideau optique est «sécuritaire» s'il répond aux exigences des normes de sécurité, telles que données au tableau II. Notamment, il doit arrêter le mouvement de la machine au moment où l'expérimentateur tente d'atteindre la zone dangereuse.

#### **4.3 Choix des pièces pour fin de simulation**

Nous avons investigué, dans cette étude, trois groupes de pièces :

- dans un premier temps, nous avons débuté par des cas simples. Nous avons ainsi choisi des pièces telles que des tôles à plis simples ainsi que des boîtes à plis simples.
- un deuxième groupe de pièces provient du visionnement des vidéos réalisées lors de l'étude de Ngô et al (1998). Ces pièces sont des tôles à plis simples et à plis multiples.
- un dernier groupe de pièces proviennent de l'entreprise XYZ Inc. Ces pièces sont les plus complexes examinées dans ce projet. Il s'agit de tôles à plis multiples ainsi que des boîtes à plis multiples.

Dans les cas considérés, la surface des pièces peut avoir été découpée, poinçonnée de diverses manières. Pour notre propos, ces caractéristiques n'influent pas nos conclusions.

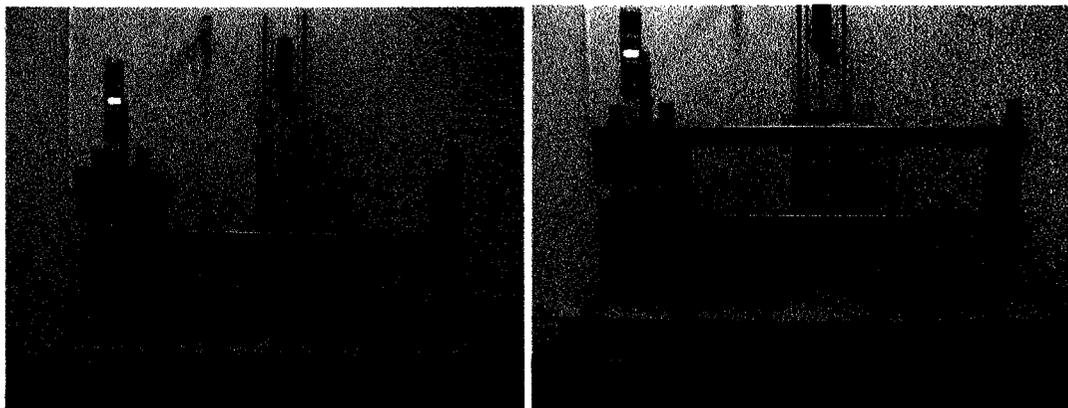
Les dimensions exactes peuvent ne pas avoir été reproduites lors des essais. La raison justifiant cette décision et son impact sur les résultats seront expliqués au chapitre 5.

#### **4.4 Description du banc d'essais**

Le banc d'essais, illustré à la figure 13, est constitué des éléments suivants :

- une vis sans fin;
- un bâti en profilé tubulaire en aluminium constitué d'une base et d'une colonne centrale du même matériau;
- une poutre horizontale fixé au bâti de l'appareil et faite d'un profilé tubulaire en aluminium;

- une autre poutre semblable mais mobile et entraînée le long de la vis sans fin;
- des matrices inférieures et supérieures peuvent être installées sur ces deux poutres. Ces matrices sont faites de «styrofoam» de manière à ce que l'expérimentateur ne puisse se blesser si les mains ou les doigts sont écrasés par les matrices qui se referment;
- un moteur électrique qui entraîne directement la vis sans fin;
- une table servant de support pour le dispositif de rideau optique;
- deux interrupteurs de position, le premier renverse la rotation du moteur électrique et permet la remontée du «coulisseau» et un second qui arrête la presse en haut de son cycle. Un troisième interrupteur a été ajouté lors des essais avec le mode de fonctionnement du rideau optique «actif ¼ po.». Cet interrupteur désactive le rideau au moment voulu.



(a)

(b)

Figure 13 Banc d'essais avec matrices fermées (a) et ouvertes (b)

## 4.5 Rideaux optiques utilisés lors des essais

### 4.5.1 Choix des modèles de rideaux optiques

Nous avons utilisés deux modèles de rideaux optiques, disponibles sur le marché, pour réaliser nos essais. Chacun est un dispositif de protection de classe 4 selon la définition

donnée dans la norme EN 954. La résolution est de 14 mm. Ils ont été placés à la distance sécuritaire exigée, telle que calculée plus loin dans ce chapitre.

Il s'agit de :

1. Banner modèle MSCA-1. Ce modèle est illustré à la figure 14.

Ce modèle peut fonctionner en trois modes: fixe, avec une zone inhibée flottante de hauteur fixe nominale de 1,75 po. , et en mode actif jusqu'à ¼ po.

2. Sick modèle C4000, version Basic.

Ce modèle ne fonctionne qu'en mode fixe et en mode actif jusqu'à ¼ po. Sick offre aussi un modèle C4000 Advanced qui peut fonctionner, comme expliqué plus haut, en mode zone inhibée flottante ajustable à volonté. On peut aussi, avec ce modèle, avoir plusieurs zones inhibées fixes et flottantes toutes à la fois. Ce modèle peut fonctionner en trois modes: fixe, avec une zone inhibée flottante de hauteur fixe nominale de 1,75 po. , et en mode actif jusqu'à ¼ po.

Il est intéressant de noter, en passant, que le modèle ou la marque particulière de rideau optique n'est pas un facteur important dans l'évaluation de la faisabilité d'un tel dispositif sur une presse plieuse, en autant que le modèle choisi respecte les exigences normatives données au tableau II.

La majeure partie des essais effectués dans cette étude a été réalisée à l'aide du rideau de marque Sick. Pour expliquer ce choix, il faut expliquer le déroulement du projet.

On peut, en fait, identifier deux époques dans ce travail :

- avant l'entrée en scène de la compagnie XYZ Inc en juillet 2003 et
- après l'entrée en scène de cette entreprise.



Figure 14 Rideau optique Banner utilisé dans l'étude

À cette époque nous disposions du rideau optique Banner offrant, comme expliqué plus haut, deux modes de fonctionnement : statique et à zone inhibée flottante de taille fixe. Ces deux modes ont été explorés lors de la première série d'essais.

La compagnie XYZ nous a, par la suite, contactés, motivée par un besoin de trouver une solution faisable au problème de la protection de ses opérateurs de presses plieuses.

Nous avons alors convenu qu'il serait particulièrement opportun d'étudier les pièces les plus complexes que cette entreprise doit plier.

La première série d'essais nous avait amené à penser qu'un modèle de rideau optique offrant davantage de fonctionnalités, tel que le modèle C4000 Advanced de Sick, pourrait s'avérer être un dispositif de protection faisable et efficace pour la compagnie XYZ et, par conséquent, pour l'industrie en général.

Ce modèle fut donc acheté, pour fin d'essais, par XYZ et installé sur le banc d'essais de l'ETS à l'automne 2003. Le modèle de rideau optique que nous devions recevoir était le C4000 Advanced capable de fonctionner en mode statique ainsi qu'en mode flottant variable à volonté.

Nous avons choisi de débiter les essais en utilisant le rideau optique en mode actif jusqu'à  $\frac{1}{4}$  po. d'ouverture entre les matrices.

Ensuite, évidemment, nous avons l'intention de tester également le rideau en mode flottant.

Mais c'est à ce moment que nous avons constaté que le modèle fourni était en fait le modèle de base capable de fonctionner en mode fixe uniquement !

Entre temps, des contraintes de temps et de disponibilité de l'équipement, ne nous ont pas permis de garder également le rideau Banner.

Le modèle Advanced est présentement chez XYZ Inc en voie d'être installé sur une presse plieuse utilisée pour la formation du personnel ainsi que pour l'expérimentation.

Ainsi, la deuxième série de tests effectués sur le banc d'essais a porté sur des pièces complexes avec un rideau optique en mode actif jusqu'à  $\frac{1}{4}$  po d'ouverture entre les matrices.

Par la suite, dans un troisième temps, nous avons simulé le pliage des pièces visionnées sur les séquences vidéos prises lors de l'étude de Ngô et al. (1998) à l'aide du rideau Sick.

De cette manière, nous espérons avoir reproduit des situations qui reflètent la réalité de l'industrie.

#### **4.5.2 Calcul des distances sécuritaires d'installation**

Les temps d'arrêt des rideaux Sick et Banner sont connus. Nous aurons donc les distances suivantes, regroupées au tableau III.

Nous verrons plus loin que malgré toute l'importance, avec raison, que l'on attache à cette notion de distance sécuritaire, sa détermination précise n'est pas nécessaire pour l'évaluation de la faisabilité des modes de fonctionnement des rideaux optiques utilisés dans le cadre de cette étude.

Tableau III

Calcul des distances sécuritaires pour les rideaux optiques utilisés lors des essais

Modèle de rideau	Temps de réponse des rideaux, $t_1$ (s)	Temps de réponse estimé du banc d'essais, $1.2 t_2$	Temps de réponse total, $t = t_1 + t_2$ (s)	Distance supplémentaire, C, (cm)	Distance sécuritaire (cm)
Banner MCSA-1, en mode flottant	0.048	0.058	0.106	13	17
Sick C4000	0.03	0.036	.066	Sans objet	11

#### 4.6 Protocole d'essais

##### 4.6.1 Etablissement et validation du protocole d'essais

Le protocole d'essais adopté dans cette étude a été établi et validé à partir d'observations faites sur le terrain à des postes de presses plieuses et du visionnement de séquences vidéos de pliage de tôles réalisés par Ngô et al. (1998).

Le déroulement des opérations effectuées par un travailleur a été noté et reproduit lors des essais.

##### 4.6.2 Procédure suivie lors des essais

1. À partir de formes de pièces simples, représentant des tôles planes, des dessins de pièces fournis par XYZ Inc. ou des pièces visionnées sur les vidéos, des modèles de ces pièces ont été reproduits sur du simple papier carton. Lorsque possible, les dimensions réelles ont été respectées. Lorsque les dimensions sont trop grandes, des modèles réduits ont été faits. Nous

avons pris soin de respecter les formes et, surtout, les pliages exigés. Les plis ont été faits à la main avant le début de la simulation.

Dans certains cas, toutefois, impliquant des pièces très complexes, certains pliages particuliers ont été ignorés. Ces cas seront dûment notés dans le chapitre consacré aux résultats.

2. Pour chacune des pièces, la séquence de pliage a été déterminée. Un exemple pour le cas d'un pli simple unique est donné à la figure 15.



Figure 15 Pli simple fait à la main avant début de la simulation

3. La détermination de cette séquence est une étape nécessaire dans tous les cas de pliage les moins complexes en industrie et est, nous le verrons, une étape essentielle pour réaliser ou tenter de réaliser des pliages avec un rideau optique dans le mode prescrit.
4. Avec le rideau optique en place, chaque pli a été simulé, en commençant par l'insertion de la pièce. La figure 16 illustre cette étape.

Simuler ici veut dire : la pièce a été insérée à travers le rideau optique et entre les deux poutres horizontales du banc d'essais qui font office de

matrices et dont le mouvement de fermeture simule celui d'une presse plieuse.

Dans certains cas, la géométrie des plis présents sur une pièce (dans le cas des boîtes, notamment) interfère avec les poutres («matrices») du banc d'essais. Toutefois, le mouvement de pliage de ces pièces est bien simulé quand même et reproduit une situation réelle dans laquelle les matrices appropriées et adaptées à la géométrie des pièces seraient utilisées.

5. On a débuté le mouvement de la presse en appuyant sur la pédale de départ. Selon le mode de fonctionnement du rideau optique choisi, la pièce est tenue et insérée dès le début ou bien la pièce est insérée au moment où l'ouverture entre les poutres ou les matrices est réduite à  $\frac{1}{4}$  po.
6. La pièce est tenue en place lors de la fermeture des matrices, tel que montré à la figure 17.

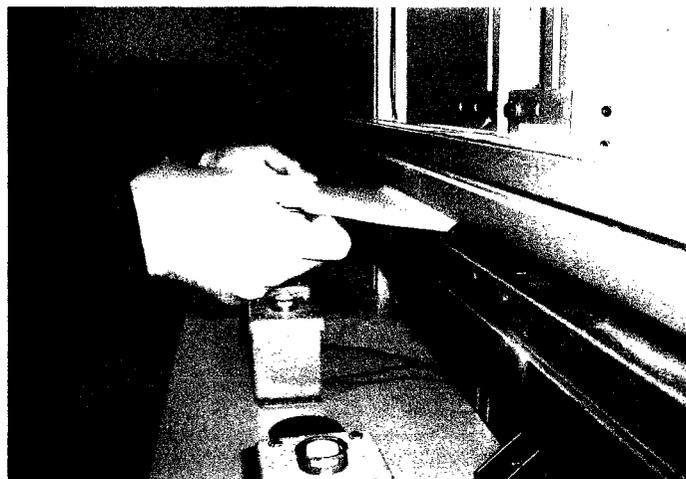


Figure 16 Étape d'insertion d'une pièce

7. Le pliage est simulé à la main. Les plis ayant été déjà faits, on suit le pli à la main. Ceci permet de reproduire le mouvement réel de la pièce lors du pliage.

8. Le comportement du rideau optique est observé de manière qualitative. En particulier, on s'intéresse à savoir si le système de sécurité permet de compléter le pliage dans un premier temps.
9. Dans un deuxième temps, on a simulé, pour chacune des pièces, des gestes où un opérateur insère ces doigts et/ou mains à l'intérieur de la zone dangereuse de la machine. On a observé qualitativement si le dispositif commande, tel que souhaité, l'arrêt de la machine.
10. Simuler ici veut dire que l'on a glissé la main vers la zone dangereuse de la manière la plus rapide et la plus « naturelle » possible c'est-à-dire tel que le ferait un opérateur dans une telle situation.

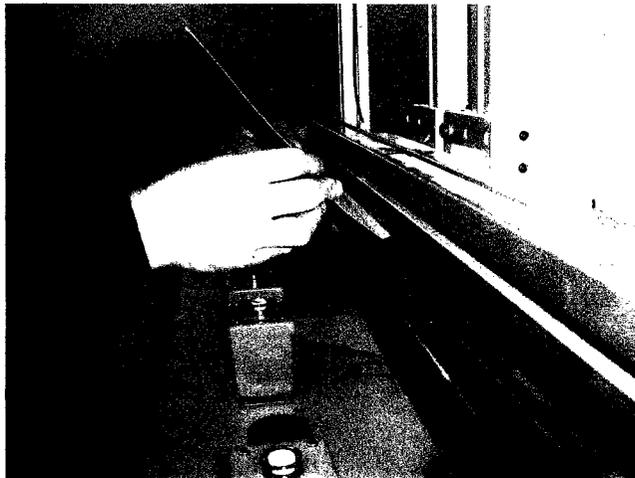


Figure 17 Pièce pliée manuellement

#### **4.6.3 Description de la technique de protection d'une presse plieuse utilisant un rideau optique actif lors de la phase de fermeture des matrices seulement**

1. Les matrices se trouvent ouvertes de sorte qu'à la fin du cycle la pièce peut être sortie aisément.

2. On s'apprête à plier une nouvelle pièce. Le rideau optique étant actif, on ferme les matrices en actionnant la presse jusqu'à une ouverture restante de  $\frac{1}{4}$  po. entre les matrices. Cette ouverture est considérée comme étant sécuritaire et ne nécessitant aucune protection, selon toutes les normes connues portant sur la sécurité des machines. Le rideau optique est relié au contrôle de la presse de manière à devenir inactif à ce moment. On tient la pièce avec les mains à une distance supérieure à la distance rideau - «matrices» du banc d'essais telle que déterminée plus haut.
3. On insère alors la pièce à plier. Nos observations et essais basés sur des exemples réels de pièces pliées en industrie nous démontre qu'il est possible (sauf exceptions pouvant exister) d'insérer des pièces de cette manière. Même lorsqu'il s'agit de pièces style boîte, on peut toujours insérer un des quatre côtés nécessitant un pli. Lors de cette phase du cycle de la presse, le rideau est inactif, mais le risque n'existe pas puisque cette hauteur ne permet pas l'insertion d'un doigt ou d'une main dans l'ouverture entre les deux matrices.
4. Lors de l'ouverture des matrices, le rideau est toujours inactif, mais il n'y a pas de mouvement dangereux de la presse pour l'opérateur. Lors de cette phase, le pliage se fait.
5. Au moment de l'ouverture complète des matrices, à la fin du cycle, on retire la pièce et on est prêt, si nécessaire, pour un autre pli.
6. Il faut alors retirer complètement la pièce du champ du rideau optique et faire refermer les matrices jusqu'à l'ouverture de  $\frac{1}{4}$  po.
7. On recommence à nouveau à l'étape 3.

## CHAPITRE 5

### PRÉSENTATIONS DES RÉSULTATS

#### 5.1 Résultats des simulations de pliage de pièces à plis simples avec un rideau optique en mode statique et en mode zone inhibée flottante de hauteur fixe

Dans une première étape, nous avons choisi, basé sur notre jugement et notre expérience des types de pièces simples mais qui posent des problèmes de protection des travailleurs en industrie :

- Pièces planes sur lesquelles un seul pli est effectué;
- Boîtes comportant au moins un bord perpendiculaire à la ligne de pliage.

Les essais réalisés sur ces pièces sont réunis dans le tableau IV.

Tableau IV

Résultats de simulations de pliages: rideau optique en mode statique et en mode zone inhibée flottante de hauteur fixe et pièces à plis simples (tôles planes et boîtes)

MODE FONCTIONNEMENT DU	POSITION DU RIDEAU (distance jusqu'à la matrice,	FORME FINALE DE LA PIÈCE	LONGUEUR DE LA PIÈCE	FAISABILITÉ DU RIDEAU ?	SÉCURITÉ DU RIDEAU ?
fixe	11	Plane avec 1 pli	> d	non	oui
fixe	11	Plane avec 1 pli	< d	non	oui
fixe	11	Boîte avec un côté (hauteur 0,5 po)	> d	non	oui
Zone inhibée flottante de hauteur fixe	17	Plane avec 1 pli	> d	oui	oui
Zone inhibée flottante de hauteur fixe	17	Plane avec 1 pli	< d	non	oui
Zone inhibée flottante de hauteur fixe	17	Boîte avec un côté (hauteur < 0,5 po)	> d	oui	oui
Zone inhibée flottante de hauteur fixe	17	Boîte avec un côté (hauteur >0,5 po)	> d	non	oui

d = distance entre le rideau optique et le point de pincement le plus rapproché entre les deux matrices.

## **5.2 Résultats des simulations de pliage de pièces à plis simples et complexes avec un rideau optique en mode «actif ¼ po.»**

Ces essais ont été réalisés avec le rideau optique Sick en mode actif fixe jusqu'à ¼ po. d'ouverture entre les matrices, pour les raisons expliquées précédemment. Les résultats des essais sont présentés en deux tableaux.

Dans le tableau V, on présente les résultats des essais faits sur des pièces simulant des tôles à plis simples et complexes. Les pièces ont été tirées des vidéos de l'étude de Ngô et al. (1998).

Dans le tableau VI, on présente les résultats des essais faits sur des pièces simulant des tôles et des boîtes à plis complexes. Les pièces proviennent de l'entreprise XYZ Inc. Vu la complexité de ces pièces, on a décrit le type de pièces dont il s'agit. Le lecteur pourra voir le détail de ces pièces en annexe.

Tableau V

Résultats de simulations de pliages : rideau optique en mode «actif ¼ po.», pliage de pièces à plis simples et complexes. Pièces visionnées sur vidéos

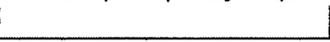
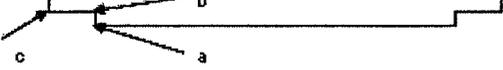
No. de pièce	Pièce	Rideau actif jusqu'à 1/4 po. d'ouverture		Notes
		Faisable ?	Sécuritaire ?	
V1	Pièce à un pli 	oui	oui	
V2	Pièce à deux plis simples symétriques 	oui	oui	
V3	Pièce à 2 plis simples asymétriques 	oui	oui	
V4	Pièce à 2 plis multiples symétriques à chaque extrémité. Le 2 <sup>ième</sup> pli multiple est orienté vers l'extérieur 	oui	oui	Chaque pli est fait selon la séquence a, b.
V5	Pièce à un pli multiple et à un pli simple asymétrique 	non	oui	Le pli multiple est fait selon la même séquence que dans le cas de V4
V6	Pièce à plis multiples (3 plis) symétriques à chaque extrémité 	oui	oui	Le pli multiple se fait selon la séquence a,b,c.
V7	Boîte Pli simple sur au moins 2 côtés adjacents 	oui	oui	

Tableau VI

Résultats de simulations de pliages : rideau optique en mode «actif ¼ po.». Pièces provenant de XYZ Inc.

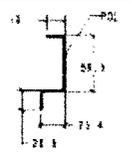
No. De pièce	Type de pièce	Pièce	Rideau actif jusqu'à 1/4po. d'ouverture		Notes
			Faisable	Sécuritaire	
J1	Tôle à plis multiples (cas complexe)		Oui	Oui	<p>Les plis de 9.2 mm (voir dessin annexe 3) ont été simulés en premier lieu. On assume que des matrices réelles seraient de la longueur exacte de la pièce une fois ces plis faits, de sorte que le pliage multiple se ferait tel que simulé.</p> <p>Vu les grandes dimensions de la pièce réelle, une version réduite a été simulée (81/2po. X 11 po.). Il s'agit d'une pièce à plis multiples complexe.</p>
J2	Boîte à plis multiples		Non	Oui	<p>On notera que cette pièce (une cuve) est très grande. Encore une fois une version 81/2x11po a été simulée.</p> <p>L'infaisabilité vient lorsque l'on tente de faire un des seconds plis (pli multiple) de direction opposé (voir texte pour plus amples explications).</p>
J3	Boîte à plis simples		Oui	Oui	<p>Les dimensions réelles ont pu être simulées.</p> <p>On assume que les matrices, en situation réelle, permettent les mêmes manœuvres que celles simulées.</p>
J4	Tôle à 1 pli simple et à 1 pli multiple		Oui	Oui	<p>La longueur réelle de la pièce (673.9mm) a été réduite à 11po. lors des essais. Les autres dimensions ont été respectées.</p>

Tableau VI (suite)

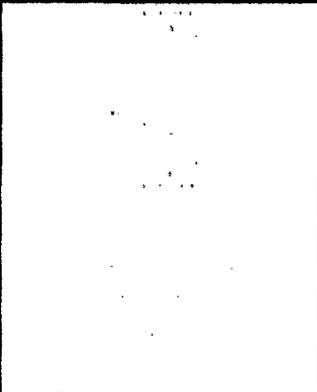
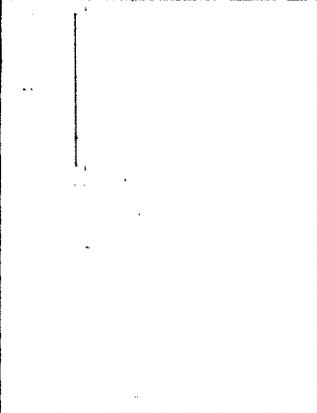
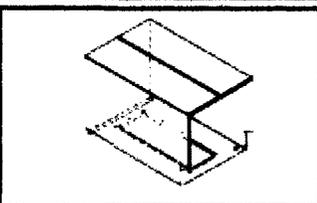
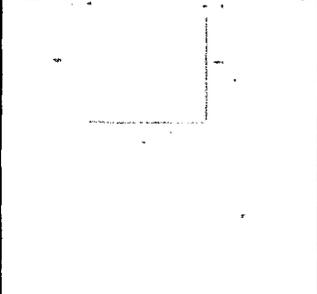
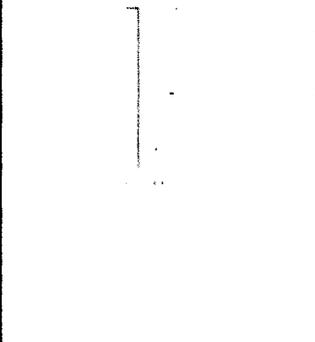
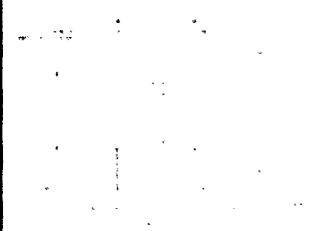
No. De pièce	Type de pièce	Pièce	Rideau actif jusqu'à 1/4po. d'ouverture		Notes
			Faisable	Sécuritaire	
J5	Boîte à plis multiples		Non	Oui	Les plis sur la longueur (de 1m sur le dessin) ont été simulés en premier lieu.  Dimensions simulées correspondantes= 11 po.  On assume que des matrices réelles permettraient les mêmes manœuvres simulées.
J6	Boîte à plis multiples		Non	oui	Deux plis multiples de côté opposés peuvent être faits, l'un ou l'autre.  L'infaisabilité vient lorsque l'on tente de faire un des seconds plis de direction opposé (voir texte pour plus amples explications).
J7	Tôle à plis multiples		Oui	Oui	2 plis multiples de chaque côté opposé de la pièce ont été simulés. Les autres détails de fabrication ont été ignorés.
J8	Boîte à plis simples et multiples		Non	Oui	Les plis du centre du centre ainsi que les seconds plis multiples s'avèrent infaisables (voir texte pour plus amples explications).

Tableau VI (suite)

No. De pièce	Type de pièce	Pièce	Rideau actif jusqu'à 1/4po. d'ouverture		Notes
			Faisable	Sécuritaire	
J9	Boîte à plis simples		Oui	Oui	La pièce simulée faisait 8 1/2 x 11 po  Le pli rabattu a été ignoré.
J10	Boîte à plis simples		Oui	Oui	Les plis rabattus ont été ignorés.  On a donc simulé, en fait une boîte.  La pièce simulée faisait 8 1/2 x 11 po
J11	Boîte à plis multiples (plusieurs plis particuliers)		s.o.	s.o.	Cette pièce n'a pas été simulée car elle présente trop de particularités.
J12	Boîte à plis multiples (plusieurs plis particuliers)		s.o.	s.o.	Nous avons tenté de simuler les plis multiples. Le détail A (voir dessin en annexe) a été ignoré car trop complexe.  Le pli multiple complété sur un côté bute contre la poutre horizontale.
J13	Boîte à plis simple		Oui	Oui	Les petits plis de 10.5 et 20.5 mm n'ont pas été simulés. On assume que dans une situation réelle, le rideau pourra être utilisé dans le mode décrit pour autant que les matrices soient de la longueur exacte requise (voir texte).

## CHAPITRE 6

### DISCUSSION DES RÉSULTATS

#### **6.1 Résultats obtenus avec des pièces à plis simples avec un rideau optique fonctionnant en mode statique**

On constate, sans surprise, à partir des résultats présentés au tableau IV, que l'on ne peut plier même une simple feuille plane de longueur supérieure à la distance entre le rideau optique et le banc d'essais.

Le mouvement de pliage interrompt un des rayons du faisceau optique à chaque tentative effectuée.

Les mêmes résultats apparaissent évidemment dans un cas plus complexe comme celui de la réalisation d'une boîte.

Les essais de pliage en mode rideau statique démontrent aisément que même ce simple pliage n'est pas faisable. Le dispositif arrête le mouvement dangereux de la presse lors d'une tentative d'accès simulée.

De plus, lorsque la longueur de la pièce est moindre que la distance rideau - matrices, la main obstrue le rideau et le pliage devient impossible.

#### **6.2 Résultats obtenus avec des pièces à plis simples avec un rideau optique fonctionnant en mode flottant fixe**

On constate, à partir des résultats présentés au tableau IV, qu'il est faisable et sécuritaire de faire un pli dans une pièce plane à partir d'une longueur de pièce supérieure à la distance rideau - matrices avec une zone inhibée flottante d'une hauteur fixe de 1,75 po.

Toutefois, dans ce mode de fonctionnement, lors des premières tentatives, même une telle hauteur de fenêtre inactivée causait des problèmes et provoquait l'arrêt du cycle en phase de descente du coulisseau.

L'explication la plus probable de ces résultats est que les simples feuilles de carton mince utilisées lors des essais se pliaient lors des manipulations et bloquaient ainsi plus que la hauteur de la zone inhibée du rideau.

Cependant, une fois ce problème maîtrisé, le pliage devient faisable et sécuritaire.

Dans le cas des petites pièces dont la longueur est moindre que la distance rideau – matrices, les doigts et les mains obstruent des rayons actifs du rideau provoquant ainsi l'arrêt du simulateur de presse.

Rappelons que la définition de «sécuritaire» dans le cadre de cette expérimentation veut dire que des situations dangereuses ont été simulées, comme par exemple la pièce est volontairement échappée dans la zone dangereuse et l'expérimentateur essaie de la rattraper.

Dans le cas des boîtes, il a été possible d'en réaliser le pliage lorsque leur longueur dépasse le rideau optique et que la hauteur du côté plié ne dépasse pas 0,5 po., et ce même en prenant toutes les précautions pour s'assurer que la feuille de carton reste bien droite.

Lorsque le côté plié fait plus de 0,5 po. (mais moins de 1,75 po.), parfois il a été possible de réaliser l'opération mais parfois non mais, en tous les cas, jamais 5 fois sur 5. Or la zone inhibée, lors de ces essais, atteint 1,75 po.

Les boîtes de plus petite longueur n'ont pas été réalisables, tout comme dans le cas des tôles, car les mains, de la même manière, obstruent la partie active du rideau.

### 6.3 Résultats obtenus avec des pièces à plis simples et multiples avec un rideau optique fonctionnant en mode «actif ¼ po.»

Avec un rideau optique en mode actif ¼ po., contrairement aux deux modes considérés précédemment, la longueur de la pièce à plier n'influe pas sur la conclusion quant à la sécurité et à la faisabilité du pliage avec cette méthode de protection.

Pour cette raison, les tôles visionnées sur les vidéos ou provenant de XYZ Inc., lorsque trop grandes, ont été reproduites sur des feuilles de carton ne dépassant pas 8 1/2 po. X 11 po.

Nous pouvons classer les pièces étudiées de la manière suivante :

#### 6.3.1 Pièces à un pli simple

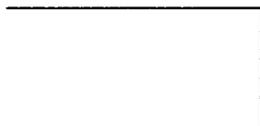


Figure 18 Pièce à un pli simple

Le premier type de pièce observée consiste en une tôle (forme initiale plane) ayant un seul pli fait le long d'une ou l'autre des dimensions de la pièce.

Les dimensions des pièces ayant cette forme varient de quelques pouces à de grandes tôles. La longueur de la partie pliée peut varier.

8 pièces sur les 49 observées sur les vidéos sont de ce type. Aucune des pièces provenant de la compagnie XYZ Inc ne sont d'un type aussi simple.

En mode «actif ¼ po.», le pliage est faisable et sécuritaire, indépendamment de la longueur de la pièce, qu'il s'agisse d'une pièce ayant quelques pouces de longueur, jusqu'à une longueur dépassant la distance matrices - rideau (cette distance est au maximum 30 cm, dans nos essais).

L'insertion de la tôle se fait aisément et il n'y a pas, dans ce cas-ci, de séquence de pliage à déterminer et à suivre puisqu'il n'y a qu'un pli à faire.

### 6.3.2 Pièces à 2 plis simples symétriques

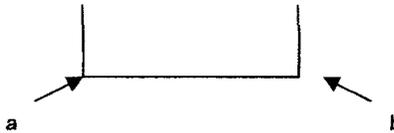


Figure 19 Pièce à 2 plis symétriques

Pour ce type de pièces, 2 plis tels que a et b illustrés ci-haut sont requis.

Nous considérons des plis faits dans la même direction, de sorte qu'ils se font face, comme on le voit sur le dessin. Encore ici, la pièce peut avoir une forme et des dimensions variées. 14 pièces sur 49 sur les vidéos sont de ce type; aucune de chez XYZ Inc. Le pliage en mode rideau séquence s'est avéré faisable et sécuritaire. La séquence de pliage utilisée est de faire, bien sûr, un des deux plis en premier, tel que a, par exemple.

Ensuite, la pièce a été retournée à 180°, dans un plan horizontal, et le deuxième pli a pu ainsi être réalisé en étant capable d'insérer la pièce à travers l'ouverture de ¼ po. laissée accessible.

Sur une presse plieuse moderne, dotée de butées arrières ajustables, on pourrait effectuer cette séquence de pliage sans avoir à retourner la pièce.

Une fois le premier pli fait, on appuie la partie pliée sur la butée ajustée à la distance voulue et on fait le deuxième pli.

Avec un rideau en mode «actif ¼ po.», il est nécessaire retirer la pièce après chaque pliage. Donc, cette séquence de pliage ne serait pas faisable.

Sur une presse réelle, lors de la réalisation du deuxième pli, la partie repliée pourrait heurter la matrice supérieure, dans le cas, par exemple, d'une pièce de courte dimension.

Dans ce cas, une matrice à col de cygne est alors utilisée pour éviter ce problème.

#### Variation de la pièce précédente

Sur les séquences vidéos, nous avons vu une pièce similaire, mais avec des angles de pliage obtus, comme sur la figure 20. Un angle de pliage similaire a été simulé, avec succès, lors des essais.



Figure 20 Pièce à 2 plis simples symétriques à angle obtus

#### **6.3.3 Pièces à 2 plis simples asymétriques**

Dans ce genre de pièces, les deux plis, comme a et b dans le schéma ci-bas, sont faits dans des directions opposées.

1 pièce sur 49 vues sur les vidéos appartient à cette catégorie.



Figure 21 Pièce à 2 plis simples asymétriques

Les conclusions précédentes appliquées aux pièces à deux plis, mais dans des directions similaires, valent dans ce cas aussi : le pliage de ce type de pièces est faisable et sécuritaire avec un rideau optique en mode « actif 1/4 po. ».

Cependant, au point de vue faisabilité, ce genre de configuration nécessite, de la part de l'opérateur, deux manœuvres simples; retourner la pièce 180° pour présenter l'autre côté à la presse pour le deuxième pli et un retournement de la pièce dessus -dessous pour effectuer le 2<sup>ième</sup> pli dans le bon sens.

Sans rideau optique en mode « actif ¼ po. », ce genre de double pli peut se faire juste par retournement de la pièce. À l'aide des butées arrières, on peut placer la pièce à la position voulue pour le 2<sup>ième</sup> pli.

Ainsi, un dispositif de rideau optique en mode « actif ¼ po » rend l'opération d'une presse plieuse plus sécuritaire mais introduit des gestes supplémentaires de la part de l'opérateur.

#### 6.3.4 Pièces à 2 plis multiples extérieurs symétriques à chaque extrémité

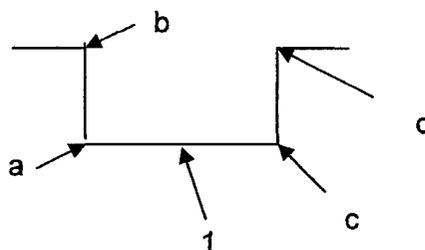


Figure 22 Pièce à 2 plis multiples symétriques à chaque extrémité

3 pièces de ce type ont été visionnées sur les vidéos. Le pliage s'effectue en a pour commencer. On place ensuite la pièce de manière à pouvoir l'insérer selon l'orientation nécessaire pour plier selon b.

Ensuite, on effectue le pli c en plaçant le bord 1 à l'horizontale. Pour le pli d, on place le bord 1 à la verticale face aux matrices, les plis b et c tournés vers le banc d'essais.

Ici, intervient une particularité du banc d'essais dont l'importance n'est pas apparue au moment de la conception mais qui s'est révélée en comparant les résultats des simulations avec des situations réelles d'usine avec des presses plieuses.

Comme on le voit sur la figure 23, les «matrices» et le bâti du banc d'essais, contrairement au bâti d'une presse plieuse, offre un dégagement suffisant permettant la mise en place de la pièce comportant un pli multiple déjà formé. Sur une presse plieuse réelle, un des plis multiples déjà faits pourraient buter contre le bâti de la machine, selon la longueur de ce pli.



Figure 23 Simulation d'un pli multiple extérieur sur une pièce à 2 plis multiples

Par conséquent, sur le banc d'essais, un pli multiple s'avère faisable en présence d'un rideau optique en mode « actif ¼ po.» alors que sur une presse plieuse avec ce même dispositif de protection, un pli multiple réalisé de la même manière s'avère infaisable.

Ce type de pièce nous amène à considérer deux autres types similaires mais qui n'ont pas été testés car ils n'ont pas apparus dans les vidéos ni parmi les pièces «XYZ».

Il s'agit de pièces comportant un pli multiple à une extrémité seulement, l'autre extrémité de la pièce restant plane, comme illustré à la figure 24.

Dans ce cas-ci, les essais réalisés nous permettent de déduire que ce pliage peut se faire avec un rideau optique dans le mode «actif ¼ po.».

La validité de cette observation est difficile à établir en raison de la géométrie du banc d'essais. Plus particulièrement, l'absence de matrices réelles fait en sorte que lors des simulations, comme illustré sur les figures 17 et 24, le bord à plier est inséré entre les deux poutres et le pliage est fait à la main.

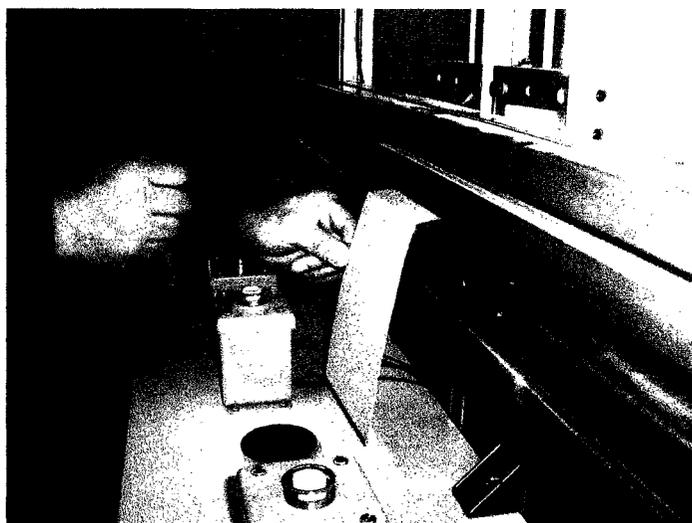


Figure 24 Simulation d'un pli multiple extérieur sur une pièce à 1 pli multiple

L'autre bord de la pièce est vertical et parallèle aux «matrices». Le pliage d'un pli externe éloigne la pièce du bâti et donc, en principe et dans les essais effectués, le pliage est réalisable.

Mais sur une presse plieuse réelle, il n'est pas sûr que l'on puisse ainsi insérer la pièce de manière à ce que un bord de la pièce soit vertical et parallèle au bâti de la presse.

La figure 25, tiré de la documentation d'un fournisseur de presse plieuse, illustre la situation. On voit clairement que la géométrie de la matrice inférieure et du tablier

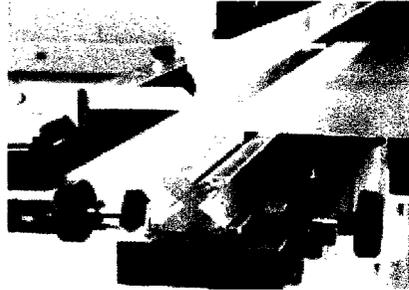


Figure 25 Géométrie typique d'une presse réelle.  
Source : Site Internet d'un fournisseur de presse plieuse

### 6.3.5 Pièces à un pli multiple et à un pli simple asymétrique

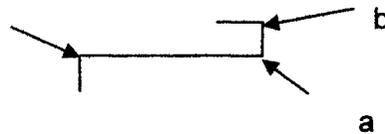


Figure 26 Pièce à un pli multiple et à un pli simple asymétrique

Tout comme dans le cas précédent, sur le banc d'essais, vu sa conception, les plis a et b se sont avérés faisables dans cet ordre. La séquence de pliage doit commencer, dans le mode décrit, par le pli a. Ainsi, après le premier pli, la pièce a alors la forme montrée à la figure 27.

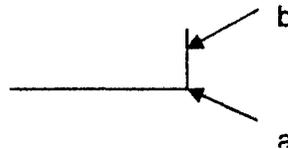


Figure 27 1<sup>er</sup> pliage pièce à pli multiple et simple asymétrique

Le deuxième pli est alors effectué au point b afin de faire le 2<sup>ième</sup> pli. On doit alors présenter le bord à plier b face à la presse. La situation se présente alors comme sur la figure 28.



Figure 28 Réalisation d'une pièce à un pli multiple et à un pli simple asymétrique

Cette fois-ci, la pièce est orientée vers le haut au lieu de vers le bas comme précédemment. Mais le problème est le même : avec le banc d'essais, il y a un dégagement suffisant pour permettre le pliage, mais sur une presse réelle, le bord vertical, sur la figure 28, bute contre le bâti de la presse plieuse et rend le pliage infaisable.

#### **6.3.6 Pièces à un pli multiple orienté vers l'extérieur et à un pli simple symétrique**

Ce type de pièce est représenté par la pièce no. J4 de Julien Inc., comme illustré à la figure 29.

En suivant la séquence indiquée sur la figure, on réalise la pièce, sur le banc d'essai, avec le mode de protection décrit.

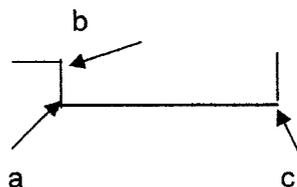


Figure 29 Pièce à un pli multiple extérieur à un pli simple symétrique

La géométrie d'une presse plieuse réelle, cependant, comme expliqué plus haut, empêche la mise en œuvre de cette méthode.

Considérons maintenant un autre cas similaire.

### 6.3.7 Pièce à un pli multiple orienté vers l'intérieur et à un pli simple symétrique ou asymétrique



Figure 30 Pièce à un pli multiple intérieur et à un pli simple symétrique ou asymétrique

Dans ce cas-ci, comme expliqué précédemment, le pli b étant un pli multiple orienté vers l'intérieur, il s'avère infaisable, non seulement sur une presse plieuse réelle, mais même sur le banc d'essais car il vient buter contre la poutre horizontale qui simule la matrice.

### 6.3.8 Boîtes à plis simples

8 pièces sur 49 apparaissant sur les vidéos sont de ce type. Quant aux pièces «XYZ», les pièces no. J3, J9, J10 et J13 peuvent être considérées comme des boîtes à plis

simples pour autant qu'on ignore certains détails tels que les plis rabattus ou les plis légèrement cassés (voir, par exemple, la pièce no. J13).

On assume aussi, comme dans le cas de la pièce no. J13, que les matrices ont la longueur exacte pour permettre l'insertion de la pièce dans l'ouverture sécuritaire de  $\frac{1}{4}$  po. après formation des petits plis de 10.5 mm indiqués sur le dessin. De plus la matrice supérieure, en situation réelle, aurait la hauteur voulue pour permettre le pliage d'un côté ayant les dimensions requises, soit 235.5 mm.

Cette hypothèse est raisonnable car des matrices de toutes formes sont disponibles et faisables en industrie.

Avec la méthode de protection préconisée, chaque pli a été simulé et un modèle de la pièce entière a été réalisé.

Les boîtes comportant des plis sur deux côtés adjacents plutôt que sur les quatre côtés ont été simulées avec succès avec le rideau optique en mode «actif  $\frac{1}{4}$  po.».

### **6.3.9 Boîtes à plis multiples**

Aucune de pièces vues sur vidéo n'appartient à cette catégorie.

En revanche, plusieurs pièces «XYZ» sont de ce type : J2, J6 et J12 sont des boîtes à plis multiples avec plis orientés vers l'extérieur. J4 est une boîte à plis multiples avec plis orientés vers l'intérieur.

Aucune de ces pièces n'a pu être réalisée sur le banc d'essais avec le rideau optique en mode «actif  $\frac{1}{4}$  po.». L'explication est la même que pour les cas de plis multiples. Ces pièces représentent le plus haut niveau de complexité que nous avons observé dans le cours de cette étude. Par surcroît, des détails (tels que des plis rabattus, etc.) ont été négligés.

### 6.3.10 Autres pièces

Des pièces provenant de XYZ Inc et des vidéos n'ont pas été simulées car elles représentaient des cas trop complexes ou particuliers.

Ainsi, six pièces sur les 49 visionnées sur les vidéos étaient des cônes, des pyramides, des plaques épaisses, des pièces courbes ou faisaient l'objet de procédés impliquant des outils spéciaux.

## 6.4 Limites et inconvénients du banc d'essais

Les essais effectués sur le banc d'essais nous ont permis de constater certaines limites et inconvénients de cet équipement :

- La vitesse de rotation du moteur et le pas de la vis font que la vitesse de descente et, surtout, d'approche au moment de la fermeture des poutres ou matrices du banc d'essais est trop grande et, par conséquent, ne reflète pas bien le fonctionnement réel d'une presse plieuse. Le problème est particulièrement aigu lors de la phase d'approche car, à ce moment, le pliage d'une pièce faite simplement en papier carton devient difficile. Ce problème est peut-être dû au fait que l'interrupteur de position renverse très rapidement le cycle de la machine. Il manque une espèce de temps de formage («dwell time») dans le cycle d'opération du banc d'essais.  
Donc, bien que les mouvements de fermeture et d'ouverture des matrices sont bien reproduits, deux aspects le sont moins :
  - la vitesse de ces mouvements est plus grande que ce que l'on retrouve dans la réalité;
  - le temps de formage est trop court.
- À cause de la conception du banc d'essais, les deux interrupteurs doivent être installés l'un près de l'autre de sorte que la distance où le rideau devrait être

désactivé,  $\frac{1}{4}$  po., est trop petite. Lors des essais cette distance n'a pu être observée.

- La rigidité du banc d'essais devrait être meilleure. Cependant, et heureusement, nous n'avons pas constaté d'effet négatif sur l'alignement des deux éléments du dispositif : l'émetteur et le récepteur.
- Le mouvement de la vis sans fin n'est pas aussi fluide que désiré.
- Les deux poutres sont mal alignées tant sur le plan horizontal que sur un plan vertical.
- Pour ces raisons, l'installation d'un jeu de matrices sur le banc d'essais ne permet pas de bien effectuer les pliages désirés. Par conséquent, les simulations ont été réalisées sans matrices.
- Le banc d'essais n'est pas doté des accessoires que l'on retrouve sur une presse plieuse réelle tels que les supports avant et arrière.
- Le temps d'arrêt du simulateur n'a pas été mesuré ou déterminé avec précision, mais seulement estimé.
- Plusieurs fois dans l'industrie, il est nécessaire d'avoir deux opérateurs sur une même presse plieuse, en particulier lorsqu'il s'agit de plier des tôles de grandes dimensions. En plus, souvent dans ces situations, vu le poids et la dimension des pièces, des appareils de levage sont utilisés. Ces situations n'ont pas été reproduites. Le travail à deux opérateurs exige, en vertu des normes sur la sécurité des presses, que chacun ait à sa disposition un organe de commande (pédale, le plus souvent) de sorte que la mise en marche du cycle de la presse ne puisse se faire que par un geste d'actionnement des deux opérateurs. Dans certains cas, un des opérateurs contrôle la vitesse de la presse par la pression qu'il exerce sur la pédale. Dans ce cas, la synchronisation entre les deux

opérateurs est très problématique. Dans d'autre cas, la vitesse de la presse est uniforme et l'usage de deux pédales est possible. Quant aux appareils de levage, ils visent à solutionner des problèmes d'ordre ergonomique et, en principe, ils n'empêchent pas le recours aux rideaux optiques. Ces deux questions dépassent, toutefois, le cadre de cette étude.

- La géométrie du banc d'essais diffère de celle d'une presse plieuse notamment quant à la géométrie des tabliers supérieur et inférieur. En effet, comme déjà expliqué, le banc d'essais offre un dégagement au-dessus et au-dessous des poutres horizontales qui supportent les matrices alors que sur une presse réelle, il n'existe pas un tel dégagement.

## 6.5 Validité de l'utilisation du banc d'essais

Malgré les réserves que nous venons d'exprimer, nous estimons que notre démarche est, tout de même, valide, sauf pour les pliages multiples avec rideau optique en mode «actif-1/4 po.», pour l'atteinte de nos objectifs d'évaluation du rideau optique car :

- Les mouvements réels d'une presse plieuse (descente, fermeture et remontée) sont reproduits.

La question de la fermeture a été discutée plus haut mais soulignons de plus que la fermeture des matrices est reproduite même si le temps de fermeture est insuffisant.

La hauteur de la course de la presse n'est pas imitée mais ce point n'a pas d'incidence sur l'étude de la faisabilité du rideau optique. En effet, ce qui importe c'est le mouvement que l'on désire simuler. Toutefois, sur les presses plieuses hydrauliques modernes lorsque plusieurs plis sont nécessaires sur une pièce donnée, on peut programmer la presse de manière à ajuster le point mort haut de la course de la presse à différentes hauteurs selon la géométrie de la pièce et ce afin de réduire le temps de fabrication nécessaire. Mais ce

facteur influe, comme on vient de le dire, sur la productivité et ne change pas les conclusions au point de vue sécurité.

Sur la question du mouvement d'une presse plieuse réelle, il est intéressant de discuter du cas des presses plieuses dont la course s'effectue de bas en haut, le tablier du bas étant mobile et le coulisseau supérieur étant fixe.

Les observations et conclusions auxquelles le banc d'essais permet d'arriver s'appliquent à cette situation également car le mouvement dangereux est le même, à savoir la fermeture de deux outils rectilignes parallèles.

- Les diverses formes des pièces utilisées en industrie sont reproduites. Quant aux dimensions des pièces, lorsqu'elles sont de l'ordre de 30 cm et moins, les dimensions réelles ont été reproduites.
- Le mouvement des pièces lors du pliage est simulé manuellement en présence du rideau optique et reproduit la réalité.
- L'approche permet une plus grande souplesse comparativement à des essais faits en usine. On peut évaluer les pièces que l'on veut dans un environnement de laboratoire.
- La qualité des pièces produites n'est pas simulée, ni recherchée. Dans ce sens, le fait que l'on n'a pas pu installé de matrices sur le banc d'essais n'est pas critique. Toutefois, comme on l'a vu dans le cas de la simulation des boîtes, des matrices auraient mieux reproduits la situation réelle sur le banc d'essais. Nous avons quand même pu, malgré cela, pour ces cas, évaluer la faisabilité du dispositif de protection.
- Les accessoires que l'on retrouve sur une presse plieuse tels que les butées arrière et les supports avant peuvent être importants au point de vue de l'utilisation sécuritaire d'une plieuse réelle, mais leur absence sur le banc

d'essais n'influe pas le fonctionnement du rideau optique. En effet, la fonction de ces accessoires est de positionner la pièce lors du pliage. Cette fonction est reproduite manuellement dans les simulations.

- La distance sécuritaire d'installation d'un rideau optique est importante parce qu'elle vise à prévenir le risque provenant du fait que la main humaine est capable de vitesse pouvant faire en sorte que l'opérateur pourrait se retrouver dans la zone dangereuse avant la fin du mouvement dangereux de la presse. Dans cette étude, toutefois, on ne s'intéresse pas à la vitesse que la main peut atteindre lors du travail sur une presse plieuse. On veut, plutôt évaluer si le rideau optique arrête le mouvement dangereux auquel l'expérimentateur est exposé lors de gestes de glissement ou de récupération de pièces tombées dans la zone dangereuse. D'ailleurs, c'est pour cela que l'on a placé les rideaux à la distance sécuritaire prescrite par les normes. En plus, dans le cas du mode fonctionnement «actif-1/4 po.» on a vu que cette distance n'est pas importante lors de la phase de pliage. C'est pourquoi la détermination précise de cette distance n'est pas critique dans cette étude.
- Le banc d'essais permet à l'expérimentateur d'imiter réalistement l'opération à un opérateur d'une presse plieuse : habituellement, l'opérateur est debout, face à la machine et actionnant la presse à l'aide d'une pédale.
- Les autres risques présents sur une presse plieuse ne sont pas considérés mais comme déjà expliqué, ils ne font pas l'objet de la présente étude. Par exemple et en particulier, les autres accès (arrière, côtés et dessus du rideau optique) à la zone dangereuse étudiée.

## **6.6 Faisabilité et sécurité**

On aura noter que dans tous les cas étudiés dans ce projet, le rideau optique s'est toujours révélé être «sécuritaire», selon la définition donnée dans ce mémoire.

Ainsi, par exemple, un rideau en mode fixe (actif en tout temps), est non faisable dans les cas étudiés, mais est considéré, en même temps, «sécuritaire». En effet, le rideau arrête le fonctionnement de la presse lorsque l'on tente un pliage donnée : il est donc non faisable, mais aussi, parce qu'il arrête le mouvement dangereux et protège donc ainsi l'opérateur ou l'expérimentateur contre toute intrusion de sa part, pour quelque raison, dans la zone dangereuse : le rideau est donc «sécuritaire».

En fait, la faisabilité est la question centrale que ce mémoire tente d'évaluer par rapport aux rideaux optiques.

La question de la sécurité aurait pris un intérêt particulier dans le cas d'un rideau optique opérant en mode flottant ajustable, si un tel dispositif aurait été disponible.

En effet, ce mode de fonctionnement, comme son appellation le suggère, permet des ajustements. Notamment, on peut élargir, à volonté, la hauteur inactivée du rideau. Qu'arrive-t-il si l'utilisateur choisi une fenêtre telle qu'il peut y insérer son avant-bras sans être détecté et ainsi atteindre la zone dangereuse sans protection ? Le rideau pourrait alors être «faisable» sans être sécuritaire. Cette situation, des plus intéressante, n'a pu être observée dans cette étude.

## **6.7 Synthèse des résultats**

Il serait utile, à ce point, de synthétiser les résultats obtenus dans cette étude. Nous le ferons sous la forme d'un tableau qui inclut toutes les géométries de pièces envisagées dans cette étude pour un rideau optique opérant dans les divers modes de fonctionnement identifiés, notamment le mode «actif ¼ po.» car cette situation a fait l'objet du plus grand nombre d'essais. Au chapitre 7, nous présenterons deux logigrammes (arbres de décision) qui donnent pour les modes de fonctionnement «actif ¼ po.» et «flottant à hauteur fixe» les géométries de pièces faisables. Ainsi, le tableau, combiné à ces deux logigrammes, donnera une vue complète des résultats produits par cette étude.

### **6.7.1 Tableau-synthèse : Géométrie des pièces versus mode de fonctionnement du rideau optique**

Le tableau VII résume les résultats obtenus lors des essais.

On notera que dans le cas des tôles à plis multiples, cette géométrie n'a, en fait, pas été simulée, en présence d'un rideau optique en mode flottant fixe, mais, dans le cas où ces tôles ont des longueurs inférieures à la distance rideau – matrices, la main ou le bras obstrue le rideau et, par déduction à partir des essais faits sur des tôles à pli simple, on conclue que le pliage n'est pas faisable.

Dans le cas du rideau en mode flottant ajustable, aucun résultat n'est donné car ce mode de fonctionnement n'a pas été évalué. Même si des déductions similaires à la précédente pourrait être faites, nous préférons ne pas aborder ce cas, en l'absence de résultats de simulations.

Tableau VII

Synthèse des résultats: Géométrie des pièces simulées versus mode de fonctionnement du rideau optique

Géométrie de la pièce	Mode de fonctionnement du rideau optique							
	Fixe		Flottant fixe		Flottant ajustable		«Actif % po.»	
	Faisable ?	Sécuritaire ?	Faisable ?	Sécuritaire ?	Faisable ?	Sécuritaire ?	Faisable ?	Sécuritaire ?
Tôle à 1 simple de longueur < d	Non	Oui	Non	Oui	nd	nd	Oui	Oui
Tôle à 1 simple de longueur > d	Non	Oui	Oui	Oui	nd	nd	Oui	Oui
Tôle à plis multiples de longueur < d	Non	Oui	Non ( 1 )	Oui (1)	nd	nd	Non	Oui
Boîte à plis simples hauteur des bords pliés < h et longueur < d	Non	Oui	Non	Oui	nd	nd	Oui	Oui
Boîte à plis simples bords de hauteur < h et longueur > d	Non	Oui	Oui	Oui	nd	nd	Oui	Oui
Boîte à plis multiples	Non	Non	nd	nd	nd	nd	Non	Oui

## CHAPITRE 7

### MODÈLE D' ESTIMATION DU RISQUE ASSOCIÉ AU PLIAGE AU MOMENT DE LA CONCEPTION

Nous avons vu que l'emploi d'un rideau optique sur une presse plieuse est faisable et sécuritaire mais dans certains cas seulement.

Ngô et al. (1998) avaient conclu au terme de leurs observations et analyses sur le terrain qu'il n'existait pas de moyen de prévention unique et universel applicable sur une presse plieuse.

Par conséquent, ces auteurs préconisaient la prévention par la mise en application des principes de l'ingénierie simultanée.

Un des éléments de cette démarche est de faire l'analyse systématique des risques *a priori* comme il est pratiqué et préconisé en SST mais d'intégrer cette activité dans le travail des concepteurs de pièces et des machines auxquelles elles sont destinées.

D'autre part, nous avons vu qu'il existe maintenant des normes donnant des méthodes d'analyse et d'estimation du risque relié aux machines.

Nous aimerions ici proposer, dans un premier temps, dans cette optique, une ébauche d'une méthode d'estimation du risque spécifique aux pliages de tôles à l'aide d'une presse plieuse.

Dans un deuxième temps, nous voulons offrir au concepteur, des outils lui permettant de vérifier que des moyens de protection sont faisables pour les pliages qu'il envisage, et ce sous la forme de deux arbres de décision, conçus à partir des résultats de cette étude, qui indiquent la faisabilité d'un rideau optique comme moyen de protection sur une presse plieuse en mode «actif ¼ po.» et flottant fixe en fonction de la géométrie des pièces que l'on désire plier.

## 7.1 Analyse des risques *a priori*

Nous nous inspirerons des méthodes regroupées sous le vocable *Design for manufacturing* (DFM).

Selon Poli (2001), Le DFM vise à intégrer dès la conception d'une pièce, les critères de fabrication de façon à produire des pièces et des produits plus facilement et plus économiquement.

Poli (2001) décrit une méthode d'estimation, basée sur le design de la pièce que l'on désire fabriquer, du coût de production de la pièce en question.

L'auteur donne des exemples de pliage de pièces complexes.

Les facteurs de coût de fabrication reliés à la conception même de la pièce incluent, par exemple, le nombre de plis requis, l'angle de pliage nécessaire, la direction des plis : extérieurs ou intérieurs. Ce dernier facteur présente une intéressante analogie avec l'analyse que nous avons faite dans ce mémoire. Dans l'optique de la production des plis en directions opposées requièrent plus d'opérations ou des matrices plus complexes, donc plus coûteuses à concevoir et à fabriquer.

Ainsi, en utilisant ces techniques, le concepteur, en fonction des caractéristiques de la pièce qu'il est en train de concevoir, peut estimer son coût de fabrication.

Nous aimerions, de façon analogue, proposer une méthode d'estimation du risque de fabrication d'une pièce pliée en fonction de ses caractéristiques.

Nous visons à pouvoir établir un indice de risque basé sur certains facteurs qui influent sur la sécurité de l'opérateur.

Ces facteurs nous apparaissent être :

La longueur de la plus petite dimension de la pièce,  $L_{min}$  ; plus les mains de l'opérateur sont proches de la zone dangereuse, plus le risque est grand ;

Le nombre de plis à effectuer,  $N_p$  : c'est un facteur similaire au facteur fréquence décrit au chapitre 1, utilisé dans la méthode d'analyse du risque qui y est présenté.

Plus le travailleur est exposé au phénomène dangereux associé au pliage, plus le risque est élevé. Nous incluons dans ce paramètre, le nombre de plis simples ainsi que le nombre de plis dont est constitué les plis multiples.

Le nombre de plis multiples,  $N_{pm}$  : on a vu que les plis multiples rendent difficiles l'utilisation de moyens de protection.

Un facteur,  $X_{np}$ , qui augmente l'indice de risque lorsque la pièce à plier n'est pas une tôle plane ou une boîte. En effet, pour ces cas, cette étude démontre qu'il peut exister des solutions potentielles. On peut penser, en revanche, que pour d'autres géométries (cônes, cylindres, etc.), les solutions de protection sont encore plus problématiques.

Un facteur,  $X_c$ , qui augmente l'indice de risque lorsque la pièce comporte des particularités (plis continues, plis écrasés, ourlets, etc).

Le concepteur pourrait alors calculer un indice de risque,  $R$ , en multipliant ces facteurs :

$$R = L_{min} * N_p * N_{pm} * X_{np} * X_c ;$$

Chaque facteur pourrait être évalué qualitativement sur une échelle.

Ainsi, on pourrait avoir :

$L_{min} = 1$ , si les mains sont à une distance de la zone dangereuse > distance rideau - matrices. En effet, dans ce cas, l'emploi d'un rideau optique en mode flottant devient une des options de sécurité envisageable. De plus, la distance est alors au moins supérieure à 12 po. de la zone dangereuse, dans la plupart des cas.

$L_{min} = 2$ , si cette même distance est  $<$  distance rideau-matrices. Dans ce cas, les mains sont proches de la zone dangereuse et l'option rideau en mode flottant est plus problématique. Cependant, l'option rideau en mode « actif ¼ po.» est possible dans les cas de plis simples.

$N_p = 1$ , si le nombre de plis est égal à 1

$N_p = 2$ , si le nombre de plis est égal à 2

$N_p = 3$ , si le nombre de plis est supérieur à 2

$N_{pm} = 1$ , s'il n'y a pas de plis multiples

$N_{pm} = 2$ , s'il y a au moins un pli multiple

$X_{np} = 1$ , si la pièce est une tôle plane ou une boîte ;

$X_{np} = 2$ , si la pièce n'est pas une tôle plane ni une boîte .

$X_c = 1$ , si la pièce ne comporte pas de plis plus particuliers ;

$X_c = 2$ , si tel est le cas

## 7.2 Arbres de décision

Les arbres de décision montrés aux figures 32 et 33 ont été élaborés à partir des résultats obtenus dans cette étude.

Ces outils permettent à un concepteur de vérifier si une protection par rideau optique est faisable pour une pièce qu'il est en train de concevoir et qui exige des pliages.

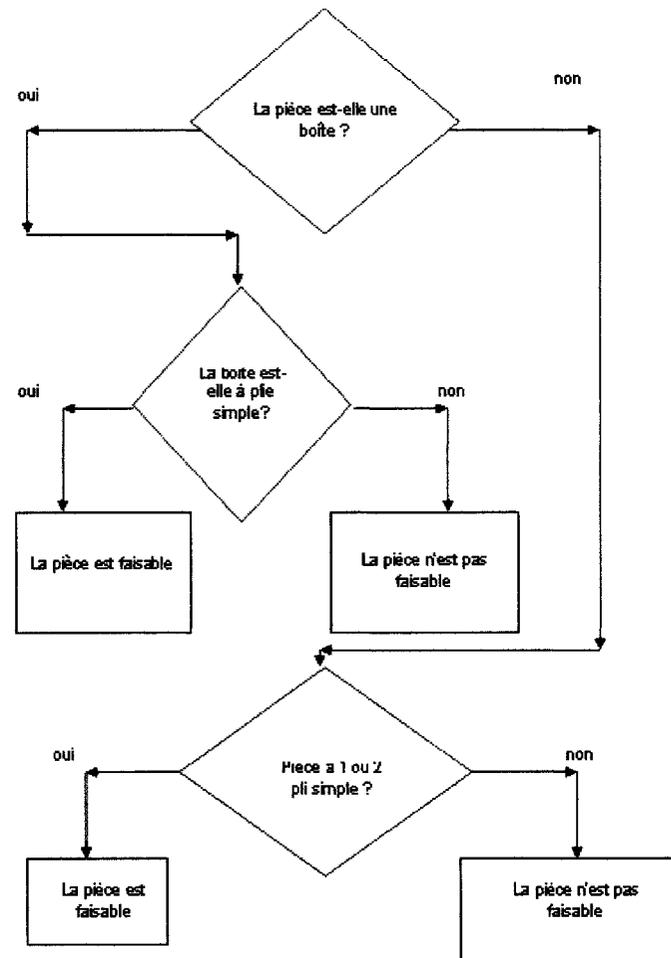


Figure 31 Logigramme de faisabilité du pliage en présence d'un rideau optique actif en phase de fermeture

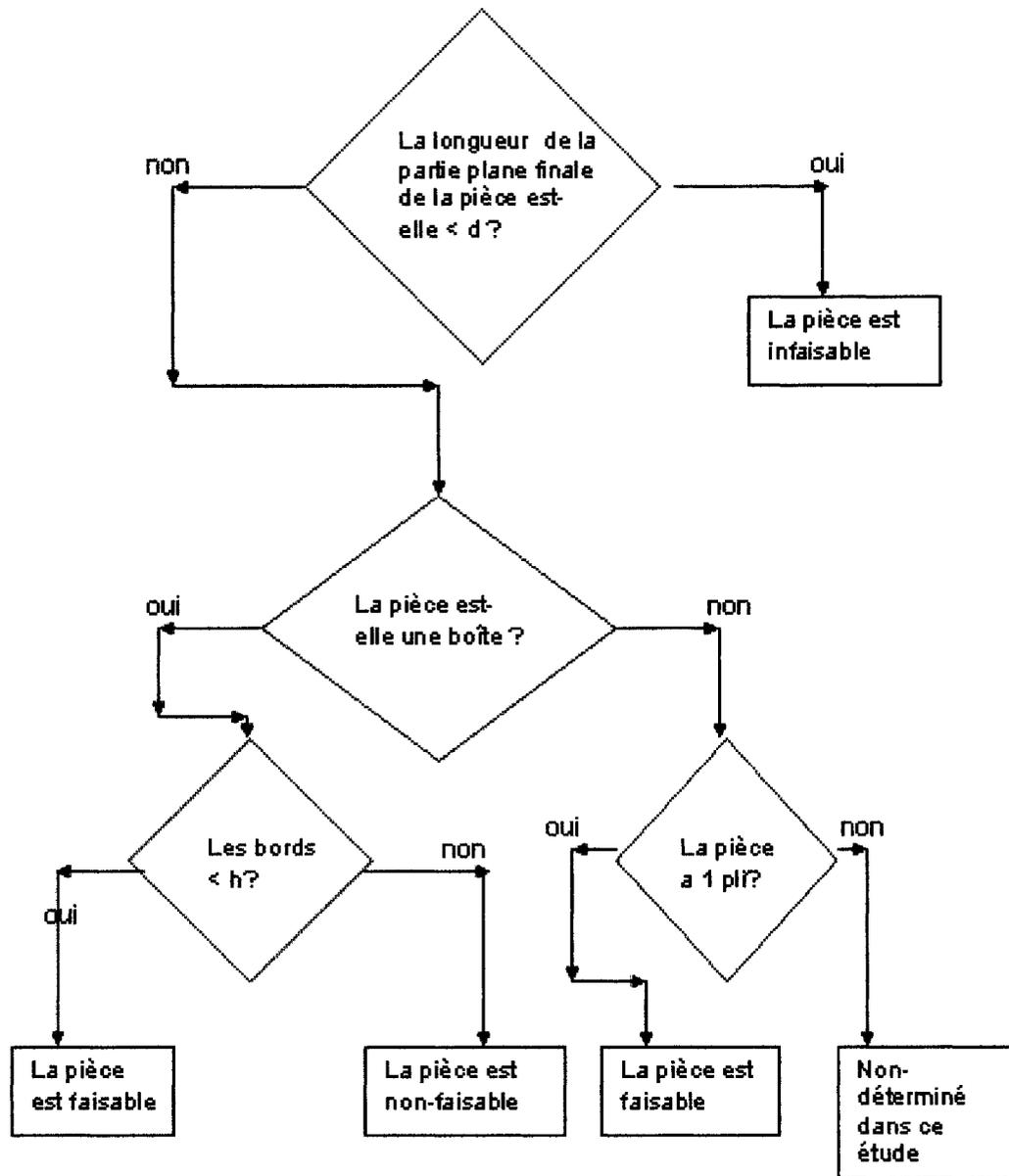


Figure 32 Rideau optique avec zone inhibée flottante de hauteur fixe réelle  $h$

## CONCLUSION

La faisabilité et la sécurité d'un rideau optique comme dispositif de protection sur une presse plieuse ont été évalués dans le cadre de ce mémoire.

Ce mémoire a porté sur le pliage de tôles planes à l'aide d'une presse plieuse. Les formes de pièces et les procédés de pliage plus particuliers n'ont pas été considérés.

Pour ce faire, un banc d'essais construit par l'ETS a été utilisé. Ce banc d'essais permet une plus grande souplesse pour ce genre d'étude par rapport à des essais en usine lesquels sont soumis à des contraintes de production. Le banc d'essais avait été originellement pensé en vue de permettre à l'expérimentateur de travailler en toute sécurité en laboratoire par opposition à une presse plieuse en usine. Cependant, dans sa conception actuelle, c'est plutôt la mise en place du dispositif de protection qui est l'objet même de l'étude qui assure la sécurité de l'expérimentateur et non la conception même du banc d'essais.

Cette étude a démontré qu'un rideau optique est un dispositif de protection faisable et sécuritaire sur une presse plieuse mais dans certains cas précis.

Plus spécifiquement, l'étude a permis de constater que la faisabilité et la sécurité des rideaux optiques utilisés sur une presse plieuse dépendent du mode fonctionnement du rideau optique et de la géométrie des pièces pliées.

Quatre modes de fonctionnement d'un rideau optiques ont été identifiés et deux en particulier ont été évalués sur le banc d'essais : le mode de fonctionnement où le rideau comporte une zone inhibée flottante de hauteur fixe (cette hauteur avait, dans cette étude, une valeur nominale de 1,75 po.) et le mode fonctionnement où le rideau est actif seulement lors de la phase de fermeture des matrices et est désactivé lorsque la distance entre les matrices est de  $\frac{1}{4}$  po. ainsi que lors de la phase d'ouverture des matrices.

D'autre part, la géométrie des pièces étudiées, des tôles initialement planes, comprend des pièces avec plis simples, plis multiples et des boîtes.

Dans le cadre de cette étude, un rideau optique, lors d'un essai, a été considéré sécuritaire lorsque la forme finale désirée de la pièce a été réalisée et que le rideau arrêtait le mouvement dangereux lors d'une tentative d'intrusion de l'expérimentateur à travers le plan du rideau.

Les essais ont démontré qu'un rideau est faisable et sécuritaire en mode comportant une zone inhibée flottante dans deux cas : formation de pièces pliées à un ou deux plis simples lorsque la longueur de la pièce dépasse la distance entre le plan du rideau et la zone dangereuse et formation de boîtes dont les côtés comportent des plis simples et qui ont une hauteur inférieure à la hauteur réelle de la zone inhibée.

Un rideau optique actif en phase de fermeture des matrices jusqu'à  $\frac{1}{4}$  de po. d'ouverture entre les matrices est faisable et sécuritaire dans les cas des pièces à plis simples et des boîtes à plis simples même, dans ces deux cas, quand la longueur de la pièce est moindre que la distance rideau - zone dangereuse.

Le cas des pièces à plis multiples est plus complexe. Un rideau en mode actif jusqu'à  $\frac{1}{4}$  de po. d'ouverture restante entre les matrices s'est révélé faisable et sécuritaire sur le banc d'essais. Toutefois, les différences de géométrie entre le banc d'essais et une presse réelle laissent croire que ce résultat serait différent sur une presse plieuse réelle.

Le mode fonctionnement fixe s'est révélé infaisable dans tous les cas considérés.

Le banc d'essais présente des faiblesses de conception. Toutefois, les simulations qu'il permet de réaliser conduisent à des conclusions applicables à une situation réelle, sauf dans le cas mentionné.

Enfin, des outils d'évaluation des moyens de protection possibles par rideau optique ainsi qu'une ébauche de méthode d'estimation du risque associé à la fabrication d'une

presse plieuse a été présenté. Cette méthode, permet à un concepteur, par analogie aux méthodes d'estimation des coûts de fabrication, d'estimer, au moment de la conception, un indice de risque basé sur la géométrie de la pièce que l'on désire fabriquer.

Plusieurs avenues de recherches futures sont envisageables :

Plusieurs aspects de la conception du banc d'essais pourraient être revus :

- Système d'entraînement de l'outillage à deux vis sans fin au lieu d'une seule pour une meilleure rigidité
- Bâti qui devrait ressembler à celui d'une presse réelle
- Vitesse du banc d'essai plus lent
- Temps de formage à la fin de la phase de descente
- Possibilité d'utiliser des supports avant et arrière ajustables
- Utilisation de matrices faites de matériau mou qui rendraient le banc d'essai sécuritaire en soi pour l'utilisateur

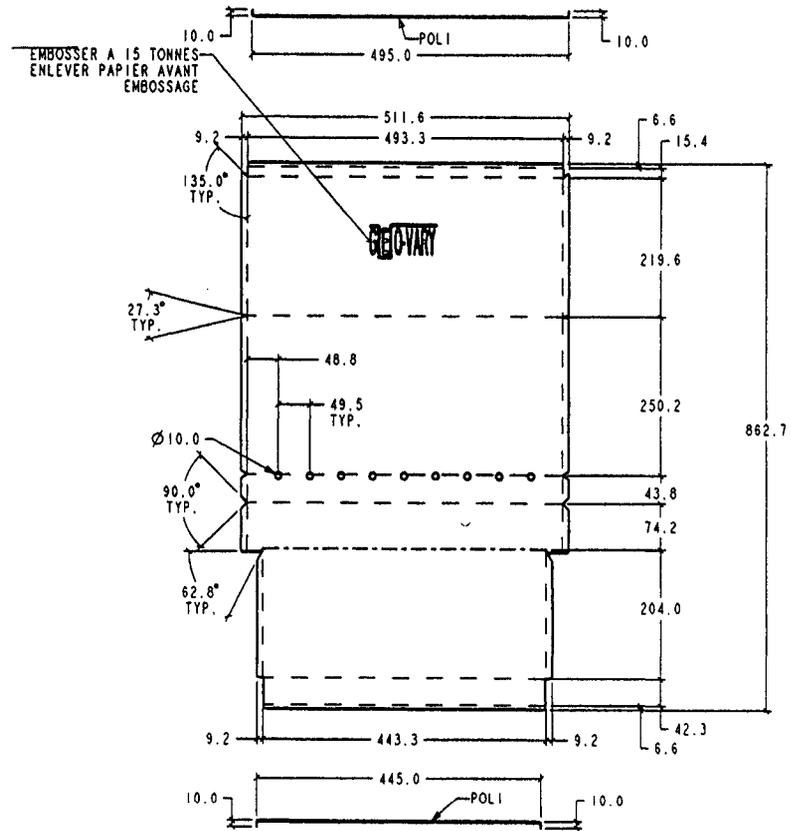
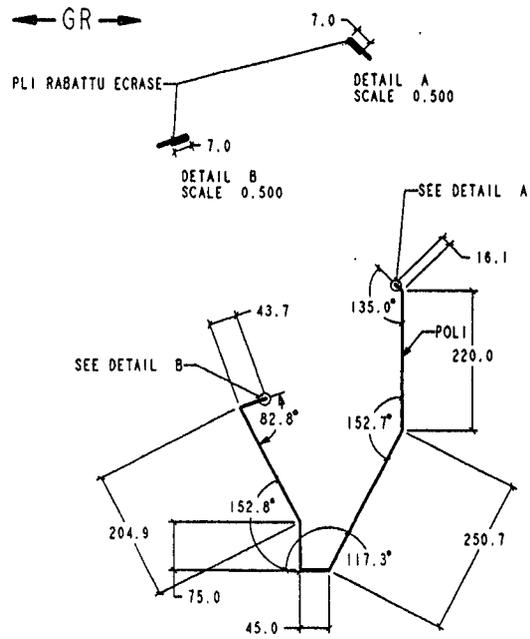
Le rideau optique en mode comportant une zone inhibée flottante, en particulier le mode avec une zone inhibée flottante à hauteur variable, devrait être davantage étudié.

L'étude du pliage avec plis multiples devrait se faire avec des matrices et sur un banc d'essais dont la géométrie imite le plus possible celle d'une presse plieuse réelle.

La méthode d'estimation du risque au moment de la conception devrait être perfectionnée.

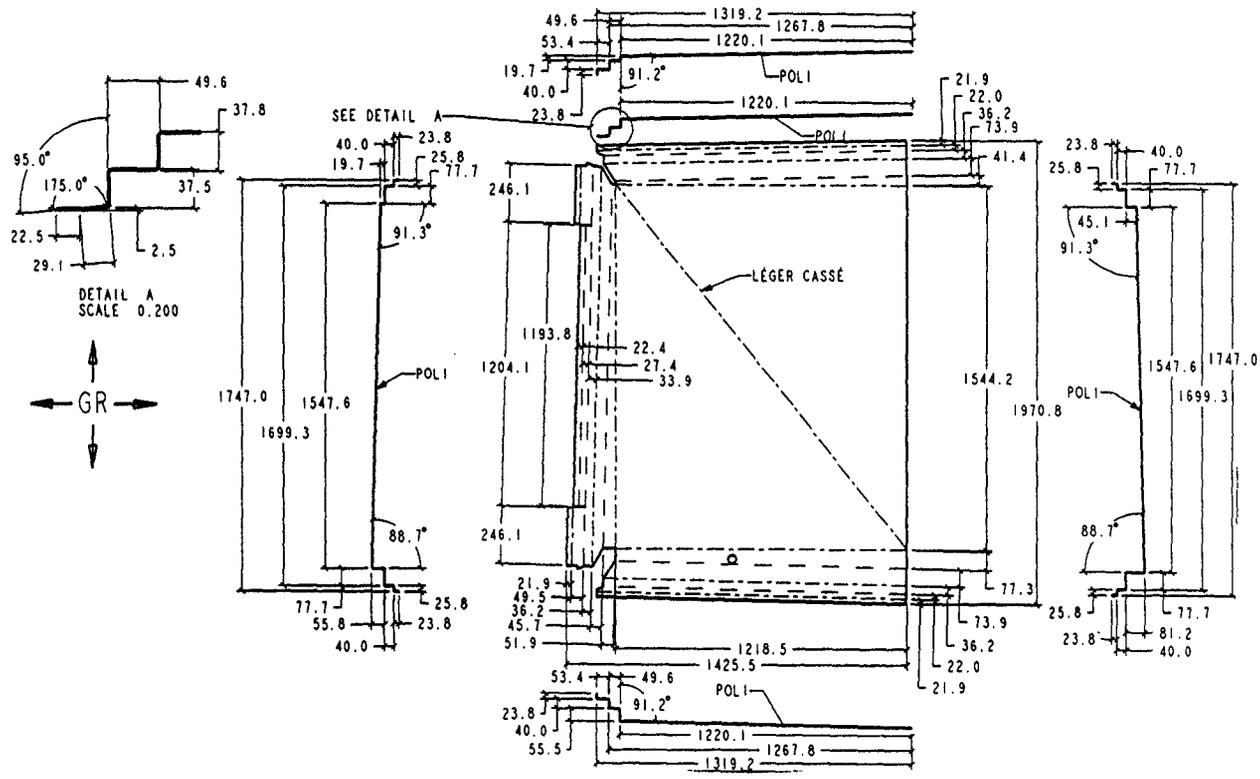
## **ANNEXE**

**Dessins de pièces fournies par la compagnie XYZ Inc**

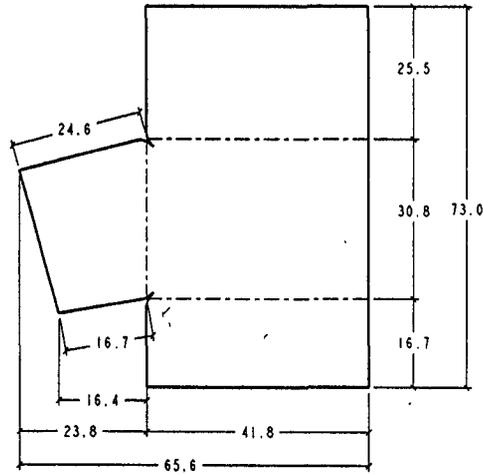
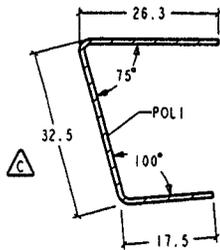
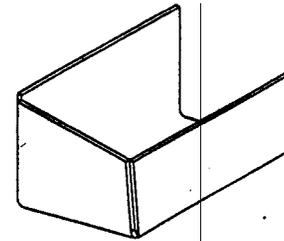
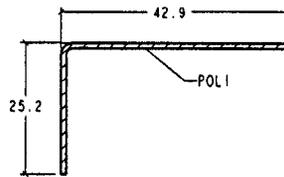


Pièce no. J1

Pièce no. J2

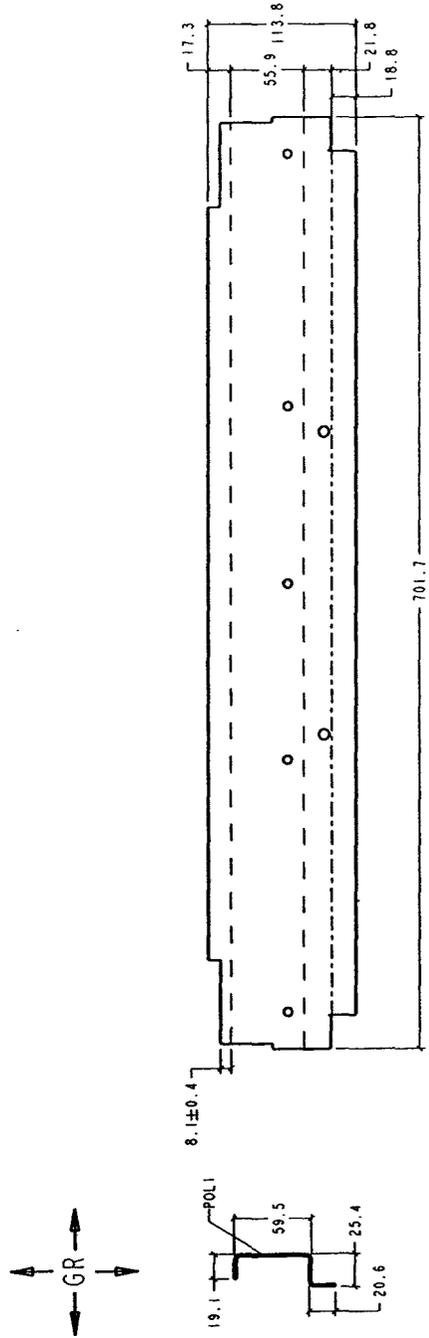


Pièce no. J3



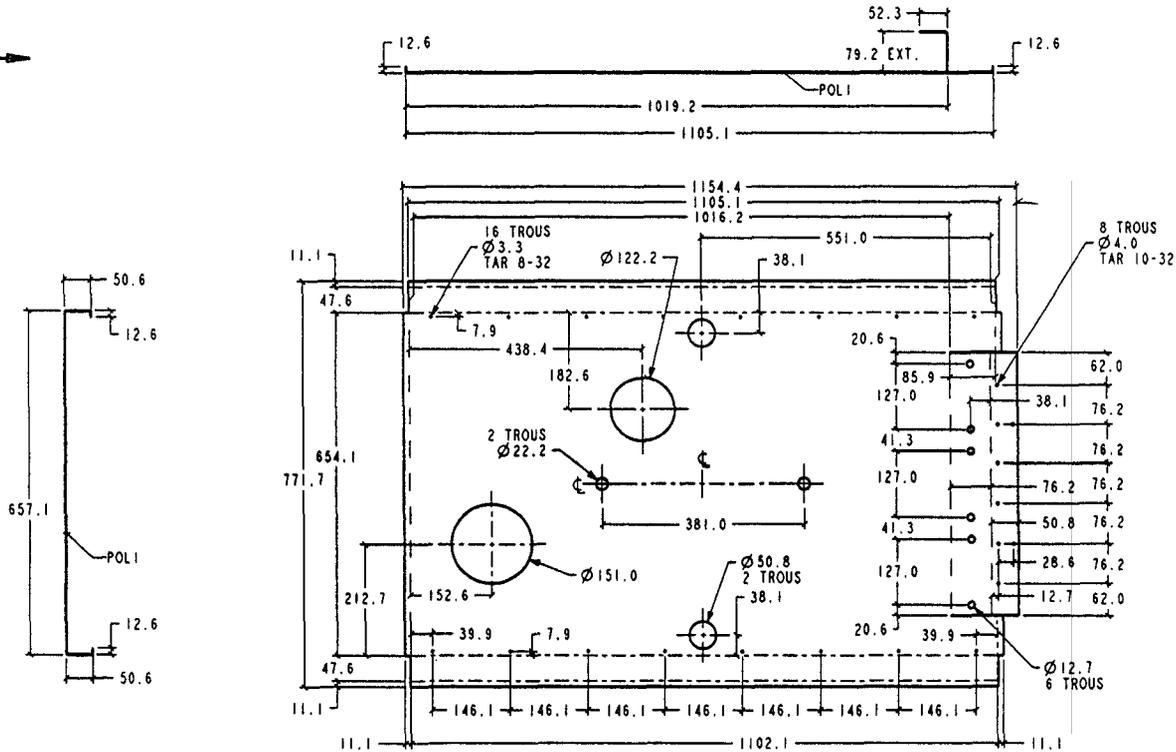
ATTENTION: CETTE PIÈCE EST DECOUPÉE DANS DU 316L,  
LE # DE PO DU MATÉRIEL DOIT ÊTRE INSCRIT  
DANS LE TEXTE DE LA JOB DANS SYTELINÉ PAR L'OPÉRATEUR.

Pièce no. J4

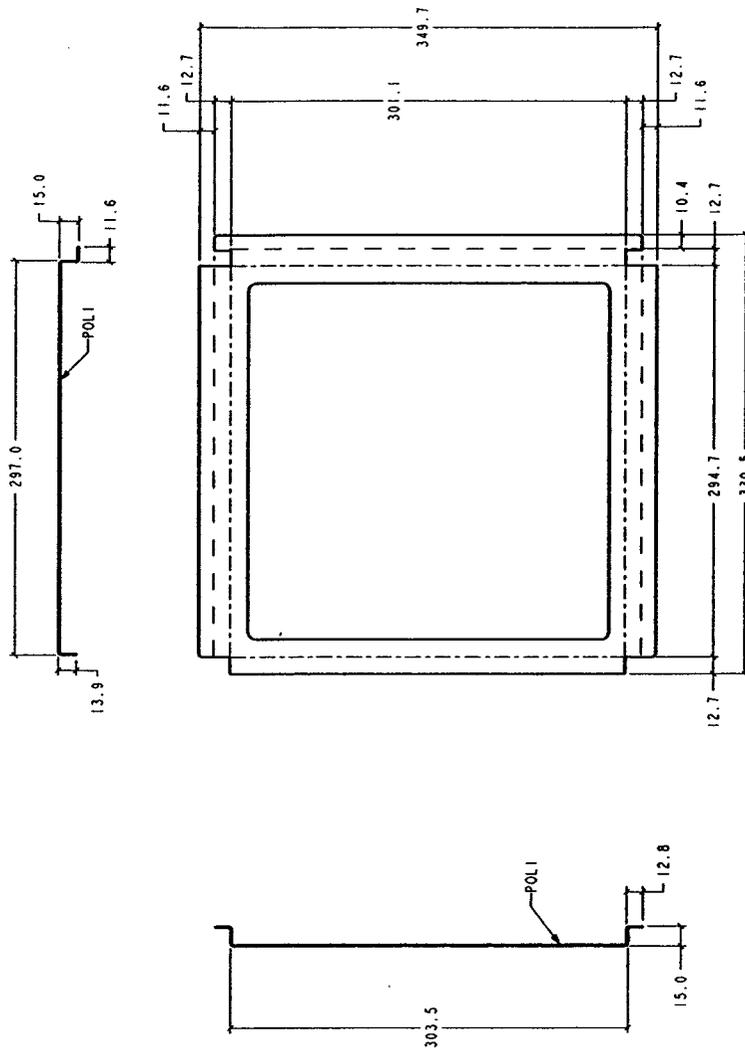


Pièce no. J5

← GR →



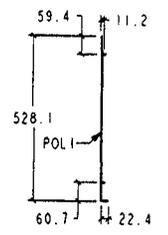
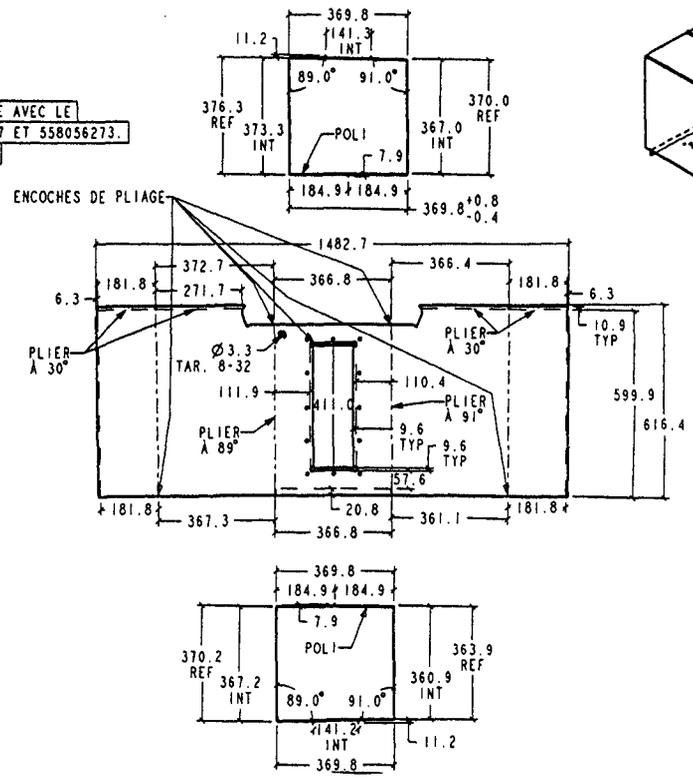
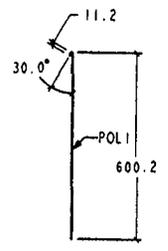
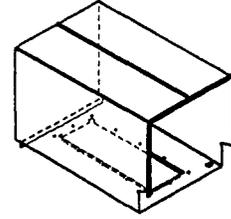
Pièce no. J6



Pièce no. J7

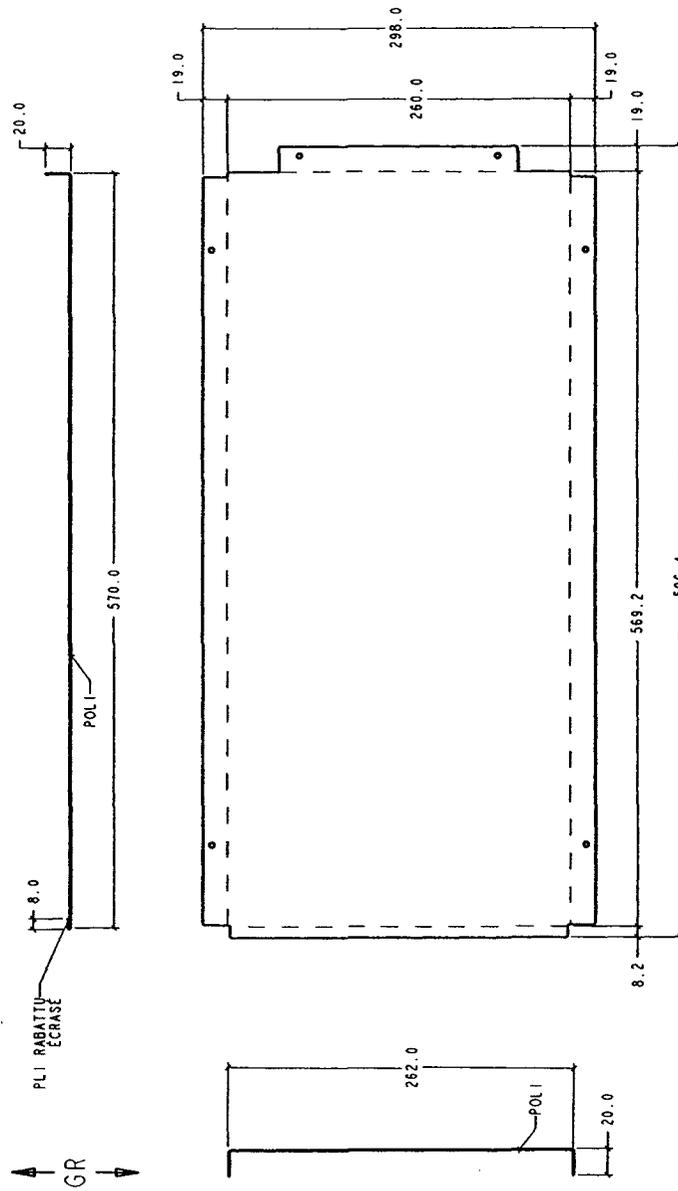


NOTE: IMPORTANT DE PLIER CETTE PIECE AVEC LE  
MEME SET-UP QUE LES PIECES 558056227 ET 558056273.  
CAR C'EST CRITIQUE POUR LE MONTAGE.

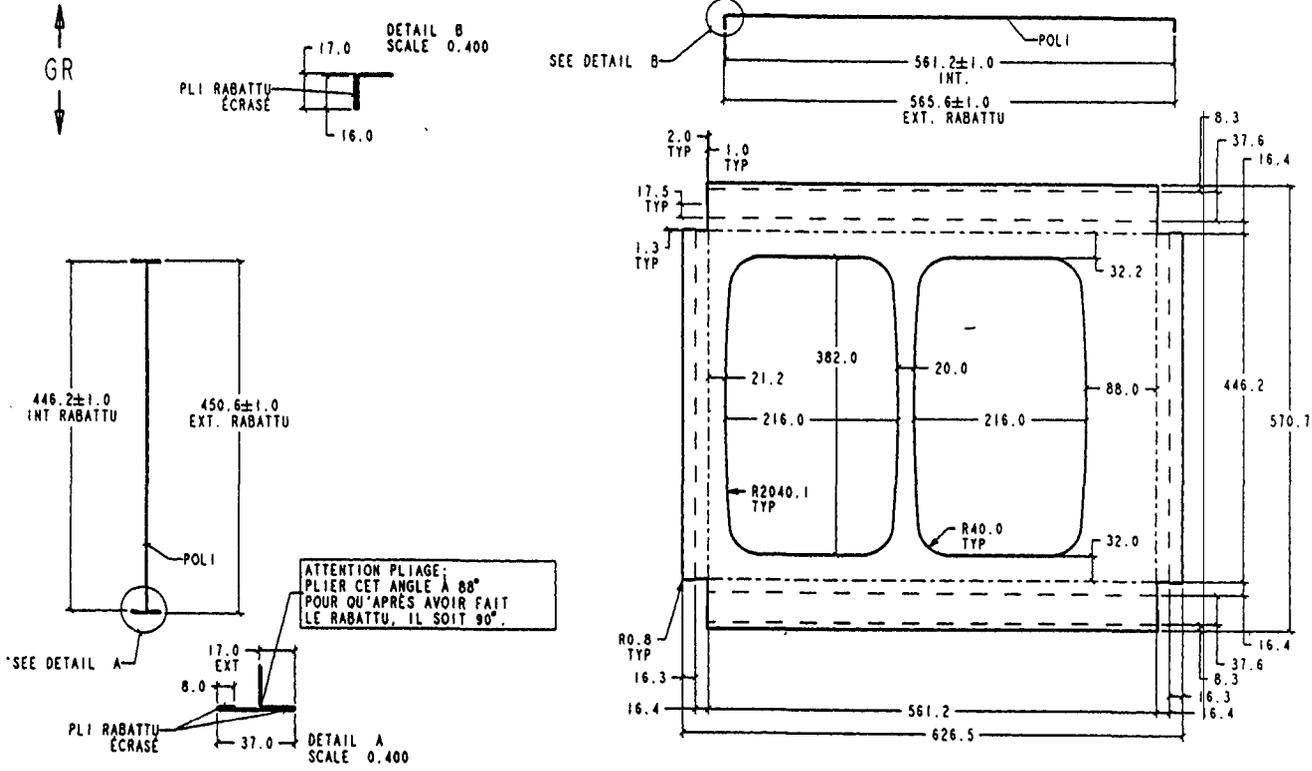




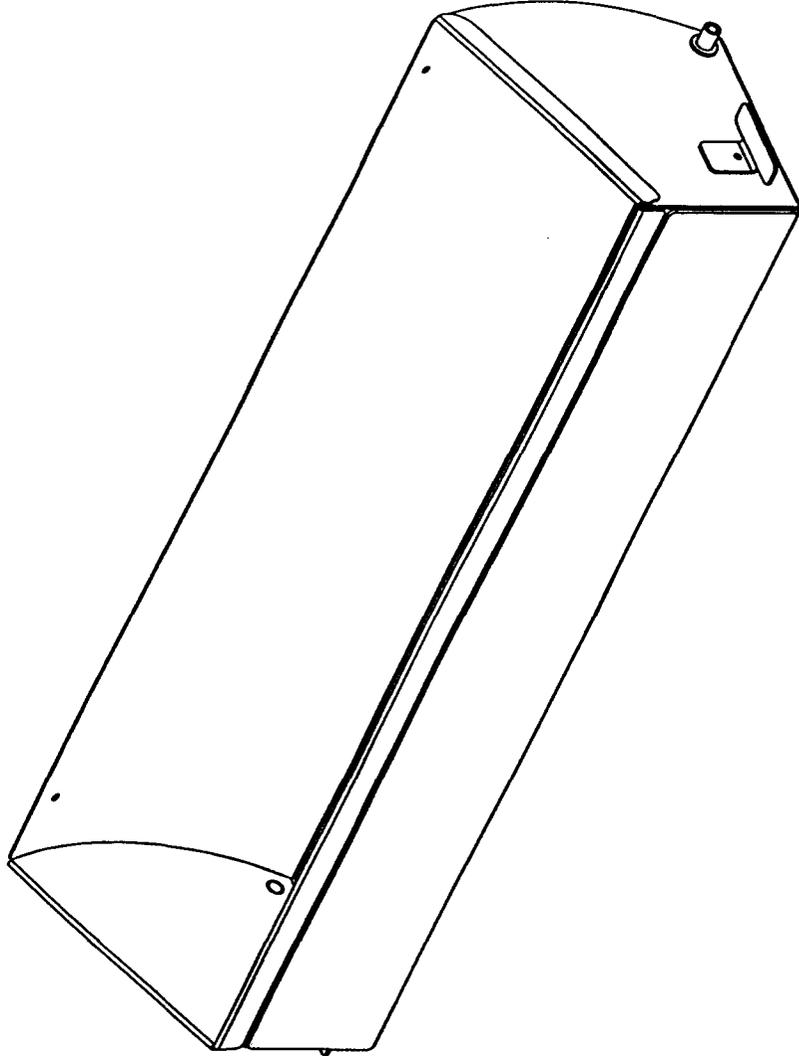
Pièce no. J9



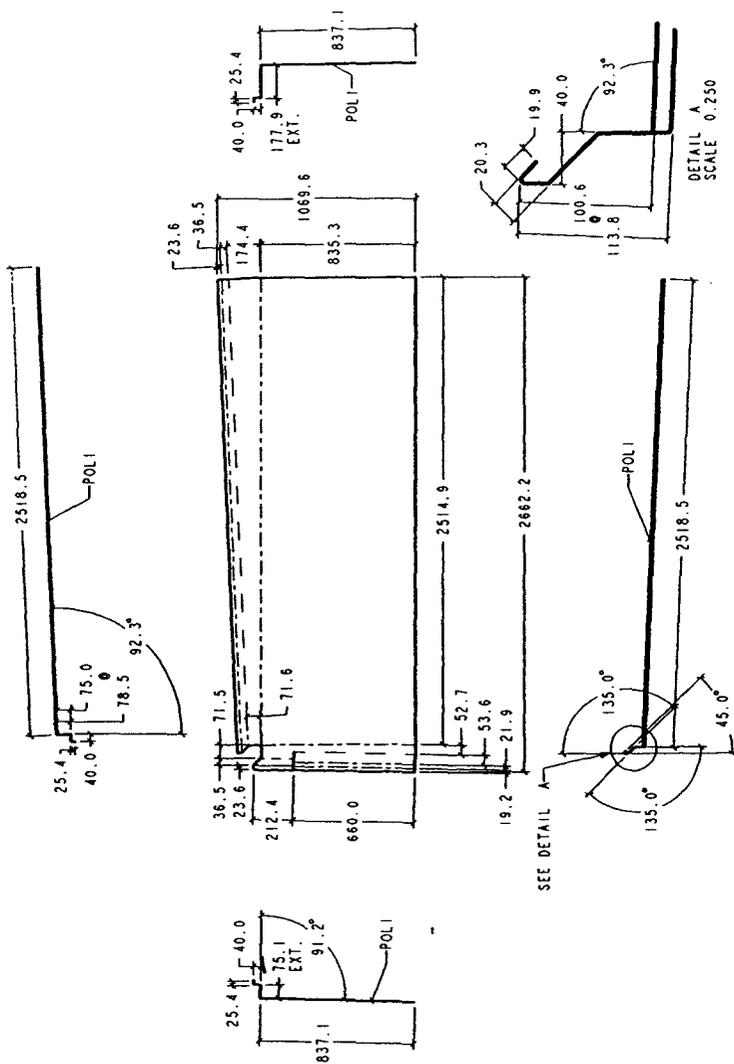
Pièce no. J10

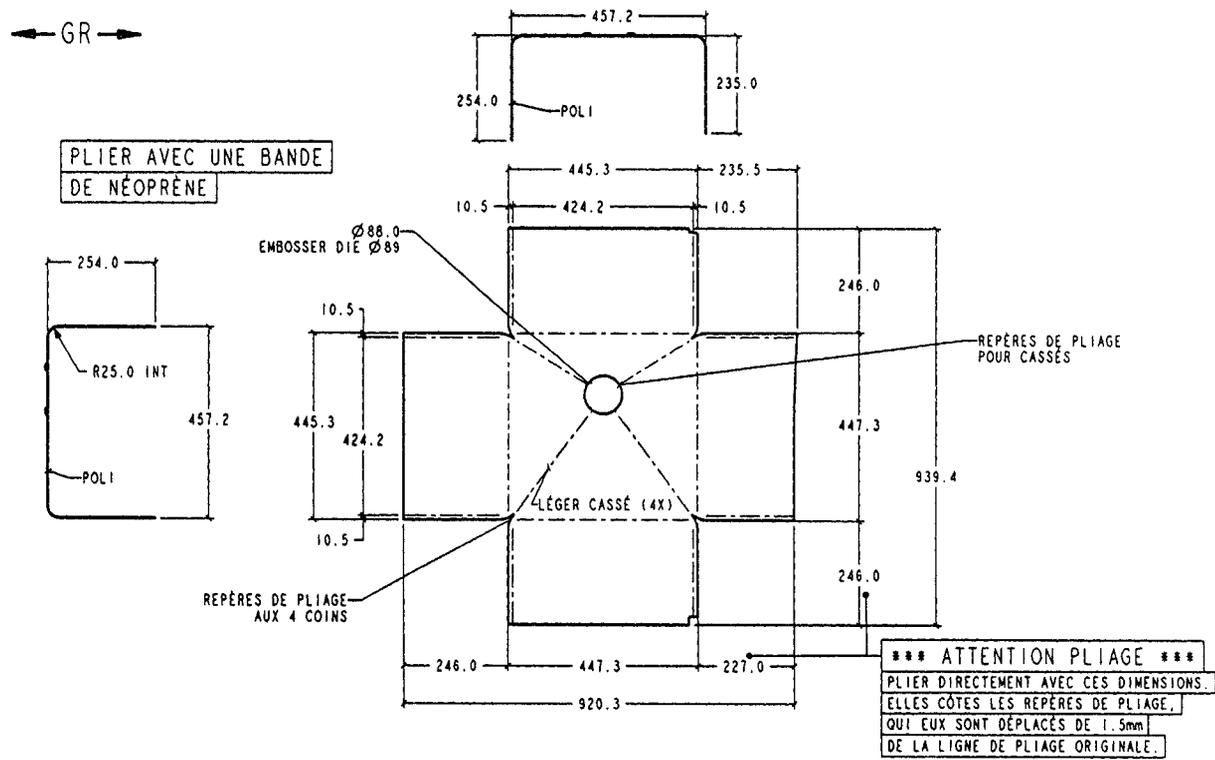


Pièce no. J11



Pièce no. J12





## BIBLIOGRAPHIE

American National Standards Institute (2002) *Safety Requirements for Power Press Brakes* ANSI B11.3 – 2002.

Banner Engineering Corp. (sans date) *Mini-Screen System. Instruction Manual*.

Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R., Tellier, C., Sirard, C. (1995) *Presse à embrayage à friction – Détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles*. IRSST, Guide technique.

Canadian Standards Association (2002) *Sécurité des presses* CSA Z142 – 2002.

Collins, J.W., Pizatella, T.J., Etherton, J.R., Trump, T.R. (1987) The Use of Simulation for Developing Safe Workstation Designs for Mechanical Power Presses. *Journal of Safety Research*, Vol. 17, No. 2, p. 73-79.

EN 954 – 1 (1996) *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception*

EN 1050 (1996) *Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation des risques*

EN 12622 (2001) *Presses plieuses hydrauliques*

Koedding, G. F. (1997) Use of Light Curtains on Press Brakes, *MetalForming*, Août.

Lupin, H., Mougeot, B. (1997) *Sécurité des machines*. INRS. Guide technique

Mougeot, B. (1998) *Presses plieuses*. INRS, Fiche technique de sécurité. ED 714.

Ngô, A.D., Beauchamp, Y., Le-Huy, P. (1998) *La sécurité dans l'utilisation de machines dangereuses : Les presses plieuses dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines*. IRSST. Rapport de recherche.

Pâques, J.-J., Bourbonnière, R. (2002) *Appréciation et réduction des risques*. IRSST. Guide de formation

Poli, C. (2001) *Design for Manufacturing : a Structured Approach*. Boston: Butterworth-Heinemann.

Sick Inc. (2000) *Safety Light Curtain C 4000. Instruction Manual*.

Turcot, D., Boutin, J., Massé, S. (2001) *Chronomètre d'arrêt et de fermeture des presses mécaniques*. IRSST. Guide technique.