

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

Anh Dung Ngô
ÉTS

Yves Beauchamp
ÉTS

Phieu Le-Huy
ÉTS

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

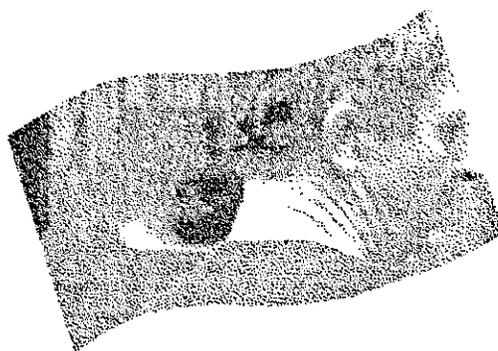
Citation recommandée

Ngô, A. D., Beauchamp, Y., Le-Huy, P., Sean, S. N. et Hauffmann, C. (1998). *La sécurité dans l'utilisation de machines dangereuses : les presses-plies dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines* (Rapport n° R-206). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

La sécurité dans l'utilisation de machines dangereuses

Les presses-pleuses
dans le secteur de la fabrication
d'équipement de transport
et de machines



ÉTUDES ET RECHERCHES

Anh Dung Ngô
Yves Beauchamp
Phieu Le-Huy

Décembre 1998 R-206

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

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

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

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

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

La sécurité dans l'utilisation de machines dangereuses

**Les presses-plieres
dans le secteur de la fabrication
d'équipement de transport
et de machines**

**Anh Dung Ngô, Yves Beauchamp et Phieu Le-Huy
École de technologie supérieure**

**Avec la collaboration de :
Sy Noch Sean et Claude Hauffmann**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche fut réalisé grâce à l'aide de plusieurs personnes à l'égard desquelles nous voulons exprimer notre gratitude.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail (IRSST) de l'intérêt qu'elle a démontré pour ce projet de recherche et des subventions qu'elle nous a accordées afin que nous puissions mener à bien notre travail.

Notre reconnaissance va également à monsieur Waguih Geadah, ingénieur coordonnateur de l'Association sectorielle de fabrication d'équipement de transport et de machines (ASFETM), ainsi que ses conseillers, qui nous ont aidés à établir des contacts avec des industries de ce secteur.

La coopération efficace des entreprises qui ont collaboré à ce projet de recherche, particulièrement celles qui ont autorisé des visites et ont permis à l'équipe de recherche de filmer des séquences de travail sur les presses-plieres, est aussi grandement appréciée. Sans leur participation, ce projet n'aurait jamais pu être réalisé.

Nous témoignons également de la gratitude aux fabricants et aux fournisseurs de presses-plieres et de dispositifs de sécurité, qui nous ont accordé des visites et nous ont fourni des renseignements nécessaires pour que nous puissions compléter ce projet de recherche.

Enfin, nous devons souligner les contributions de monsieur Roger Gaudet, inspecteur de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), pour l'identification de la problématique des presses-plieres, ainsi que de monsieur Tony Vendetti, ing., chargé de recherche technique de l'ASFETM, et de monsieur Tan Tai Huynh, ing., inspecteur de la CSST, pour la révision de ce rapport.

SOMMAIRE

Le présent rapport étudie la sécurité dans l'utilisation des presses-plieuses dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines au Québec. Le travail des opérateurs de presses-plieuses est analysé afin de déterminer les facteurs de risque spécifiques qui y sont rattachés. En conclusion, les auteurs présentent de nombreuses recommandations visant à réduire le nombre d'accidents du travail en rapport avec ces machines, et proposent notamment d'utiliser la stratégie de l'ingénierie simultanée afin d'établir des pratiques de travail sécuritaires et efficaces.

La méthodologie de l'étude comprend deux étapes principales : 1) l'inventaire détaillé du parc des presses-plieuses du secteur, des moyens de protection existants et des méthodes de travail employées, et 2) l'analyse de la sécurité de ceux-ci. Le rapport présente également la réglementation en vigueur à l'égard de ces machines et compare les situations observées avec les critères préconisés par la réglementation (en particulier, ceux de la nouvelle norme CSA-Z142-M90).

Un sondage auprès des entreprises du secteur fournit des données préliminaires, qui sont ensuite vérifiées lors de visites effectuées dans 52 entreprises. L'analyse des méthodes de travail, tant par observation directe que par l'étude en laboratoire des bandes vidéo, permet de déterminer les risques spécifiques auxquels sont exposés les opérateurs de presses-plieuses. Il est démontré que certaines méthodes actuelles de travail sont dangereuses. En outre, dans 84,1 % des cas recensés, les presses-plieuses ne sont pas équipées des dispositifs de sécurité élémentaires et contreviennent donc à la réglementation en vigueur. Enfin, lorsque ces dispositifs sont présents, on constate qu'ils sont fréquemment contournés ou inhibés.

En réponse à cette situation, le rapport souligne l'importance d'une formation appropriée des opérateurs et insiste sur la nécessité d'équiper les presses-plieuses des accessoires et des outils adéquats. Il indique des avenues pour la recherche et le développement de nouveaux moyens de protection et de méthodes de travail sécuritaires.

Cependant, les auteurs font le constat qu'il n'existe aucun moyen de protection universel et que chaque procédé de fabrication requiert une solution adaptée. Afin d'assurer la sécurité et l'efficacité du travail des opérateurs, la dimension préventive doit être intégrée aux travaux de

chacune des phases du cycle de vie du produit, du développement jusqu'à la distribution, en passant par la conception de l'outillage et la planification des systèmes de production.

Contrairement à l'ingénierie séquentielle généralement pratiquée, une nouvelle approche — l'ingénierie simultanée — permet en effet d'intégrer la prévention à tous les aspects du processus industriel. Grâce au décloisonnement de la structure organisationnelle de l'entreprise qu'effectue l'ingénierie simultanée, l'équipe responsable du développement d'un nouveau produit peut intégrer l'information fournie par les représentants des différents services au sein de l'entreprise. Dans un contexte de vive concurrence, cette approche présente l'avantage de faire baisser le prix de revient des produits, en prévenant, dès le début du développement, certaines erreurs potentiellement coûteuses, particulièrement en ce qui concerne la sécurité du travail. En conséquence, les coûts de réparation des accidents de travail se trouvent réduits et l'efficacité de la production est optimisée sans compromettre la sécurité des opérateurs.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIERES	v
TABLE DES FIGURES.....	vii
TABLE DES TABLEAUX	viii
LEXIQUE	ix
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 PROBLÉMATIQUE DES PRESSES-PLIEUSES	2
1.2 MÉTHODOLOGIE.....	4
2. PRÉSENTATION DES PRESSES-PLIEUSES : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES, MÉTHODES DE TRAVAIL ET MOYENS DE PROTECTION	7
2.1 LES PRESSES-PLIEUSES MÉCANIQUES	10
2.1.1 <i>Présentation</i>	10
2.1.2 <i>Presse-plieuse à embrayage positif</i>	11
2.1.3 <i>Presse-plieuse à embrayage à friction</i>	12
2.1.4 <i>Modes de fonctionnement</i>	15
2.2 LES PRESSES-PLIEUSES HYDRAULIQUES	19
2.2.1 <i>Contrôle et sécurité</i>	20
2.2.2 <i>Modes de fonctionnement</i>	21
2.3 UTILISATION DES PRESSES-PLIEUSES	22
2.3.1 <i>Exigences générales</i>	23
2.3.2 <i>Techniques de fabrication</i>	24
2.3.2.1 <i>Types de pliage</i>	26
2.3.2.2 <i>Outillage</i>	27
2.3.2.3 <i>Procédures</i>	32
2.4 DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ.....	36
2.4.1 <i>Protection par éloignement de la zone de danger</i>	38
2.4.2 <i>Protection par retrait d'une partie du corps</i>	39
2.4.3 <i>Protection par interdiction d'accès à la zone de danger</i>	41
2.4.3.1 <i>Barrages matériels</i>	42
2.4.3.2 <i>Barrages immatériels</i>	44
2.4.4 <i>Conclusion</i>	50
2.4.5 <i>Protection sur les côtés et à l'arrière de la presse-plieuse</i>	51
2.4.6 <i>Protection individuelle</i>	51
3. PRESSES-PLIEUSES DU SECTEUR : INVENTAIRE ET ÉVALUATION.....	52
3.1 RÉSULTATS DES QUESTIONNAIRES	52
3.1.1 <i>Les presses-plieuses</i>	53
3.1.1.1 <i>Types</i>	53
3.1.1.2 <i>Caractéristiques</i>	54
3.1.2 <i>Opérations et méthodes de travail</i>	55
3.1.3 <i>Dispositifs de sécurité</i>	56
3.1.4 <i>Résumé</i>	57

3.2 RÉSULTATS DES VISITES	57
3.2.1 Les presses-plieuses	57
3.2.1.1 Types et caractéristiques	57
3.2.1.2 Commandes de fonctionnement.....	60
3.2.1.3 Éléments de sécurité	62
3.2.1.4 Accessoires	63
3.2.2 Méthodes de travail.....	64
3.2.3 Dispositifs de sécurité	66
3.2.4 Résumé	67
3.3 ANALYSE COMPARATIVE DES RÉSULTATS	67
3.3.1 Les presses-plieuses	68
3.3.2 Opérations et méthodes de travail.....	69
3.3.3 Dispositifs de sécurité	70
3.3.4 Résumé	71
3.4 ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES DES PRESSES-PLIEUSES RELATIVES À LA SÉCURITÉ.....	71
3.4.1 Caractéristiques	71
3.4.2 Accessoires.....	74
3.4.3 Résumé	76
3.5 ANALYSE DE L'APPLICABILITÉ ET DE L'EFFICACITÉ DES DISPOSITIFS DE PROTECTION	76
3.5.1 Commande à deux mains.....	77
3.5.2 Dispositif photoélectrique	79
3.5.3 Résumé	81
3.6 ANALYSE DES RISQUES LIÉS AUX MÉTHODES DE TRAVAIL.....	81
3.6.1 Travail simultané de plusieurs opérateurs sur une même presse-plieuse	81
3.6.2 Types de pliage.....	85
3.6.3 Méthodes de travail.....	85
3.6.3.1 Travail en général	86
3.6.3.2 Travail en bout.....	89
3.6.3.3 Formation des tuyaux.....	91
3.6.4 Outillage.....	92
3.6.5 Résumé	93
3.7 L'INGÉNIERIE SIMULTANÉE COMME MOYEN DE PRÉVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL	93
4. CONCLUSION	98
5. RECOMMANDATIONS	100
BIBLIOGRAPHIE.....	104

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARACTÉRISTIQUES DES PRESSES-PLIEUSES	9
FIGURE 2 : PRESSE-PLIEUSE MÉCANIQUE	11
FIGURE 3 : FONCTIONNEMENT EN MODE RÉGLAGE	16
FIGURE 4 : FONCTIONNEMENT EN MODE CYCLE PAR CYCLE	17
FIGURE 5 : FONCTIONNEMENT EN MODE SÉQUENCE	18
FIGURE 6 : FONCTIONNEMENT EN MODE CONTINU	19
FIGURE 7 : PRESSE-PLIEUSE HYDRAULIQUE	20
FIGURE 8 : FONCTIONNEMENT EN MODE «CYCLE LIBRE»	22
FIGURE 9 : COURSE DU TABLIER	23
FIGURE 10 : SURFACE DE CONTACT DE L'OUTILLAGE	25
FIGURE 11 : PLIAGE EN L'AIR	26
FIGURE 12 : PLIAGE EN FRAPPE	26
FIGURE 13 : OUTILS DIVERS	27
FIGURE 14 : FORMES D'OURLETS	29
FIGURE 15 : OUTILS ONDULÉS	30
FIGURE 16 : OUTILS SPÉCIAUX	31
FIGURE 17 : MATRICE À QUATRE V	31
FIGURE 18 : FORMATION D'UNE BOÎTE	32
FIGURE 19 : FORMATION DE LONGS TUYAUX	33
FIGURE 20 : FORMATION D'UN TUBE EN DEUX PIÈCES	33
FIGURE 21 : FORMATION DE PETITS TUBES	34
FIGURE 22 : FORMATION	34
FIGURE 23 : FORMATION DE TRIANGLES	35
FIGURE 24 : FORMATION DE PIÈCES RECTANGULAIRES AVEC DES OURLETS EN CINQ OPÉRATIONS	35
FIGURE 25 : FORMATION DE PIÈCES RECTANGULAIRES EN TROIS OPÉRATIONS	36
FIGURE 26 : DISPOSITIF DE RAPPEL DES MAINS	39
FIGURE 27 : DISPOSITIF D'ENTRAVE	39
FIGURE 28 : RIDEAU VERTICAL	49
FIGURE 29 : RIDEAU HORIZONTAL	50
FIGURE 30 : PÉDALE MÉCANIQUE - SANS PROTECTION	72
FIGURE 31 : MANIPULATION DES TÔLES DE GRANDES ET DE MOYENNES DIMENSIONS	75
FIGURE 32 : COMMANDE À DEUX MAINS INSTALLÉE SUR LE TABLIER SUPÉRIEUR	78
FIGURE 33 : DEUX OPÉRATEURS AVEC UNE SEULE PÉDALE	82
FIGURE 34 : POSITIONNEMENT DE LA TÔLE PENDANT L'OPÉRATION	83
FIGURE 35 : L'AIDE VÉRIFIE LA POSITION DE LA TÔLE PAR LE COL DE CYGNE	84
FIGURE 36 : L'AIDE PLACE UNE FEUILLE DE PAPIER SUR LA TÔLE PENDANT LE PLIAGE	84
FIGURE 37 : MANIPULATION DES PETITES TÔLES	86
FIGURE 38 : L'OPÉRATEUR MAINTIEN LA PIÈCE PAR L'ARRIÈRE	87
FIGURE 39 : L'OPÉRATEUR SE SERT D'UNE MAIN POUR INSÉRER LA PIÈCE	88
FIGURE 40 : L'OPÉRATEUR MESURE L'ENDROIT DU PLIAGE PENDANT L'OPÉRATION	88
FIGURE 41 : TRAVAIL EN BOUT POUR RÉALISER UN PLIAGE SIMPLE	89
FIGURE 42 : FORMATION D'UN CÔNE FERMÉ	90
FIGURE 43 : FORMATION D'UNE GRANDE PIÈCE CONIQUE SEMI-OUVERTE	91
FIGURE 44 : STRUCTURE ORGANISATIONNELLE DE L'INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE	94
FIGURE 45 : STRUCTURE ORGANISATIONNELLE DE L'INGÉNIERIE SIMULTANÉE	97

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : STATISTIQUES SUR L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS	2
TABLEAU 2 : ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES PRESSES-PLIEUSES	8
TABLEAU 3 : COMMANDES DE FONCTIONNEMENT	9
TABLEAU 4 : EMBLACEMENT ET DIMENSIONS DU RIDEAU VERTICAL	49
TABLEAU 5 : TYPES DE PRESSES-PLIEUSES UTILISÉES	53
TABLEAU 6 : CARACTÉRISTIQUES DES PRESSES-PLIEUSES	54
TABLEAU 7 : UTILISATION DES PRESSES-PLIEUSES	55
TABLEAU 8 : MÉTHODES DE TRAVAIL	55
TABLEAU 9 : DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ	56
TABLEAU 10 : TYPE ET ANNÉE DES PRESSES-PLIEUSES	58
TABLEAU 11 : CARACTÉRISTIQUES DES PRESSES-PLIEUSES	59
TABLEAU 12 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES PRESSES-PLIEUSES	60
TABLEAU 13 : TYPE DE COMMANDE	61
TABLEAU 14 : ANNÉE DU MODÈLE ET TYPE DE COMMANDE	61
TABLEAU 15 : BOUTON D'ARRÊT D'URGENCE	62
TABLEAU 16 : MÉCANISME D'ANTIRÉPÉTITION	62
TABLEAU 17 : TYPES DE PRESSES-PLIEUSES ET ACCESSOIRES	63
TABLEAU 18 : CARACTÉRISTIQUES DES BUTÉES ARRIÈRE	63
TABLEAU 19 : CARACTÉRISTIQUES DES COMMANDES NUMÉRIQUES	64
TABLEAU 20 : MÉTHODES DE TRAVAIL	64
TABLEAU 21 : TYPES D'OPÉRATIONS	65
TABLEAU 22 : DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ	66
TABLEAU 23 : COMPARAISON DU NOMBRE DE PRESSES	68
TABLEAU 24 : COMPARAISON DES OPÉRATIONS	69
TABLEAU 25 : COMPARAISON DES MÉTHODES DE TRAVAIL	69
TABLEAU 26 : COMPARAISON DES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ	70
TABLEAU 27 : POSSIBILITÉS DE TRAVAIL SIMULTANÉ	81

LEXIQUE

Antirépétition

Un circuit de commande qui met la presse en marche à un coup, même lorsque l'opérateur appuie constamment sur la commande.

Arbre excentrique

Appelé également vilebrequin, il transmet aux bielles le mouvement de rotation qui permet au tablier supérieur de se déplacer suivant un mouvement linéaire vertical cyclique (haut-bas-haut). La course du coulisseau est fixe, car elle est déterminée par l'excentricité de l'arbre.

Arrêt d'urgence

Un interrupteur, installé sur la machine, qui permet de couper l'alimentation du moteur principal en cas d'urgence.

Bâti

Deux flasques latéraux en forme de col de cygne échancré vers l'avant pour permettre le dégagement latéral de certaines pièces après pliage et le travail «en bout».

Barrière à verrouillage automatique

Ce dispositif désenclenche ou arrête automatiquement la machine lorsque la barrière est ouverte. Il empêche tout mouvement de la machine aussi longtemps que la barrière n'est pas remise à sa place.

Barrière ajustable

Un dispositif qui s'ajuste manuellement selon le format de la pièce produite.

Barrière fixe

Une barrière n'ayant aucune pièce mobile associée ou reliée au mécanisme d'une machine.

Bielle

Organe de liaison entre l'arbre excentrique et le tablier, la bielle permet de transformer le mouvement de rotation d'un arbre excentrique en un mouvement vertical rectiligne du tablier supérieur.

Bloc de sécurité (cale)

Des blocs de sécurité sont utilisés pour empêcher une chute du coulisseau lors du travail de remplacement ou de montage des matrices et des poinçons, et de la maintenance effectuée dans la zone dangereuse.

Butées arrière (derrière la machine)

Les butées arrière sont utilisées pour guider le positionnement de la tôle et obtenir une meilleure précision de pliage. Elles sont réglables, et leur positionnement peut être obtenu soit manuellement, soit automatiquement à l'aide d'une commande numérique.

Cale («*shim*»)

Une feuille de papier ou une feuille cartonnée placée sous la matrice ou sous le porte-matrice pour compenser la déformation du tablier.

Commande de sécurité à déclenchement automatique

Une commande à déclenchement automatique servant à arrêter rapidement une machine dans une situation d'urgence (ex.: une barre sensible à la pression d'un corps appuyé, ou un câble entourant une machine et déclenchant le dispositif de sécurité lorsqu'il est accroché ou tiré).

Commande numérique

Une commande numérique est constituée d'ensembles électroniques qui offrent plusieurs fonctions permettant à l'opérateur de donner les instructions nécessaires pour effectuer des pliages précis avec un minimum d'erreur.

Commandes à deux mains

Un dispositif de commande qui exige que l'opérateur applique continuellement une pression simultanée des deux mains pour actionner la machine. Ce genre de commande exige un embrayage à friction (cycle partiel).

Console de support de tôle (devant la machine)

Destinées à supporter les tôles, elles sont fixées à l'avant de la presse sur le tablier inférieur. Leur usage ne nécessite plus forcément le maintien de la tôle par l'opérateur lors du pliage.

Déclencheur à deux mains

Un dispositif à déclencheur à deux mains exigeant, pour que la machine se mette à tourner, que l'opérateur applique une pression simultanée sur les deux boutons de commande; après quoi, les mains sont à nouveau libres. Ce dispositif de commande est utilisé généralement sur les machines munies d'embrayage positif (cycle complet).

Dispositif d'entrave

Un dispositif attaché à un support et aux poignets de l'opérateur. Le support est situé de façon à empêcher l'engagement des mains de l'opérateur dans la zone dangereuse.

Dispositif de rappel

Un dispositif relié à la machine et à l'opérateur qui retire automatiquement les mains de l'opérateur hors de la zone de danger lorsque le tablier commence à descendre

Dispositif de sécurité

Un dispositif servant à protéger les opérateurs ainsi que toute autre personne se trouvant à proximité des zones de danger des machines.

Embrayage

Il permet de coupler ou de découpler le volant d'inertie du vilebrequin.

Embrayage à friction

Un système d'embrayage accouplé au frein, de sorte que le débrayage puisse se faire en n'importe quel point de la course pour arrêter le coulisseau.

Embrayage positif

Un mécanisme d'entraînement demeurant solidaire du volant jusqu'à la fin d'un cycle complet de la machine.

Point d'opération

Zone de la machine où se trouve la matière à transformer sur laquelle un travail est effectué lors d'un pliage, d'un formage, etc.

Point de pincement

Tout point où il est possible d'être pincé ou happé entre des pièces mobiles (le poinçon et la matrice) ou entre une pièce fixe et une pièce mobile (le poinçon et la tôle).

Pompe

Entraînée par un moteur, elle assure la circulation et la compression du fluide hydraulique dans le circuit qui conduit au vérin à travers différents composants.

Soupape (valve)

Il régularise la pression hydraulique à l'intérieur du circuit, assurant ainsi la protection des outils contre les surcharges.

Tablier inférieur

Il supporte la matrice de pliage en forme de V, sur laquelle est posée la tôle à plier; il est toujours fixe pour une presse-plieuse mécanique mais peut être mobile pour une presse-plieuse hydraulique.

Tablier supérieur

Il supporte les poinçons de pliage. Il est toujours mobile pour une presse-plieuse mécanique mais peut être fixe pour une presse-plieuse hydraulique.

Travail à stades multiples de pliage

Plusieurs postes de travail sont juxtaposés le long de la machine et la même pièce circule longitudinalement aux différents stades de son exécution (exemple : si un travail comprend cinq pliages exécutés simultanément grâce à des outils fractionnés, il y a sur la même machine cinq postes de travail, donc cinq opérateurs et cinq pièces à des stades différents de pliage).

Tringle

Mécanisme de tige et levier qui relie le frein et l'embrayage à la pédale de l'opérateur.

Vérin

Sous forme schématique, il est composé d'une tige et d'un piston. Le contrôle du fluide hydraulique permet de déterminer le sens du mouvement du piston et de la tige actionnant le tablier mobile de la presse, suivant un mouvement de translation (haut-bas-haut).

Volant d'inertie

Entraîné par un moteur électrique par l'intermédiaire d'une courroie, le volant, en acier, est monté sur un arbre excentrique avec deux roulements à billes de façon à tourner librement. Sa fonction est d'emmagasiner l'énergie du moteur et de la restituer au moment opportun afin d'optimiser la puissance du tablier lors du pliage de la tôle.

1. INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est de faire le point sur la problématique de la sécurité du travail des opérateurs de presses-plieuses dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines. Il s'agit d'une recherche préliminaire visant à : *a)* étudier en détail les presses-plieuses, leurs caractéristiques et leurs utilisations; *b)* identifier les situations de travail problématiques, notamment au regard de la réglementation et des normes de sécurité en vigueur; et *c)* formuler des recommandations en vue de réduire les risques auxquels sont exposés les opérateurs.

La perspective globale adoptée par cette étude est informée par le contexte manufacturier lui-même. Avant d'entreprendre cette étude, notre intention était de parvenir à proposer une mesure préventive ou une solution technique afin de réduire les risques à la sécurité des opérateurs de presses-plieuses. Or, à mesure que la recherche progressait, il est devenu évident qu'il n'existait, à l'heure actuelle, aucun dispositif de protection universel, ni aucune méthode de travail sécuritaire applicable à tous les besoins de production. Les presses-plieuses sont des machines dangereuses, qui sont utilisées dans des types très diversifiés de production, et il n'existe pas de solution unique suffisamment flexible pour protéger adéquatement les opérateurs dans toutes les situations de travail.

Face à ce constat, nous avons dû réorienter l'axe de nos recherches futures. En effet, à la lumière des données exposées dans le présent rapport, nous sommes d'avis que les situations de travail dangereuses impliquant des presses-plieuses ne pourront être évitées que si la dimension de la santé et de la sécurité du travail (ou «SST») est prise en compte dès les étapes de conception du produit et de planification de la fabrication. En nous inspirant de la nouvelle technologie du développement rapide des produits, nous pouvons proposer des solutions efficaces et d'application immédiate. Notons que l'idée de cette application constitue une innovation théorique de la présente recherche.

Les solutions proposées ici s'inscrivent dans une approche globale de l'ingénierie. Ainsi, plutôt que de concentrer tous nos efforts de recherche du côté des solutions techniques («*hardware*») ou de celui des méthodes de gestion, nous nous sommes intéressés aux méthodes de fabrication pratiquées en industrie. On trouvera donc, notamment dans la conclusion de cette étude, des recommandations fondées sur l'observation de situations de travail réelles. Ces dernières offrent un terrain d'intervention immédiatement accessible, sans qu'il soit nécessaire d'attendre le développement des nouveaux moyens de protection que nous suggérons par ailleurs.

Les auteurs de cette étude sont bien conscients du fait que, dans le milieu industriel, la sécurité des travailleurs n'est généralement pas perçue comme un élément susceptible de favoriser une meilleure productivité. Cependant, il est intéressant de noter à cet égard que les plus récentes méthodologies de conception et de fabrication accordent de plus en plus d'importance aux effets de la SST sur la performance économique des entreprises. En particulier, la technologie de la conception pour la fabrication et la stratégie organisationnelle de l'ingénierie simultanée prônent l'intégration de tous les aspects pertinents à la conception et à la fabrication d'un produit — y compris la SST —, et ce, à chacune des étapes du cycle de vie de ce produit. Ce faisant, ces nouvelles méthodes visent essentiellement à raccourcir la période nécessaire au développement

de nouveaux produits ainsi qu'à rationaliser leur production. Développées au cours de la dernière décennie, ces méthodes ont permis de rendre de nombreuses entreprises plus concurrentielles — une nécessité évidente dans le contexte actuel de la mondialisation des marchés.

À notre avis, ces nouvelles méthodologies constituent des avenues particulièrement intéressantes, notamment en comparaison de l'ingénierie traditionnelle (c'est-à-dire séquentielle), qui entraîne au contraire des pertes de temps et d'argent considérables, car elle empêche toute communication efficace entre le concepteur et les autres intervenants. De plus, avec ces nouvelles méthodes, la fonction de la SST n'est plus reléguée à un simple rôle de soutien, mais peut enfin prendre sa place au sein de l'organisation de production et introduire ainsi la dimension de la sécurité des travailleurs au cœur même du processus industriel. Nous espérons que cette étude contribue à favoriser une évolution en ce sens.

1.1 Problématique des presses-plieres

Les presses-plieres sont utilisées dans plusieurs secteurs d'activité économique, principalement dans les établissements qui fabriquent des produits de métal et des produits électriques, et de l'équipement de transport et de machines.

- **Statistiques d'accidents**

Le tableau suivant illustre l'évolution des accidents du secteur de l'équipement de transport et de machines pour les années 1989 à 1994 (CSST 1989-1994).

Tableau 1 : Statistiques sur l'évolution des accidents

Année	Nombre de dossiers acceptés et indemnisés	Décès	Masse salariale (en millions \$)	Taux moyen de cotisation
1989	8 947	1	1 158	3,48
1990	7 450	1	1 200	2,86
1991	6 699	5	1 175	2,78
1992	6 031	3	1 232	2,97
1993	5 684	3	1 397	3,23
1994	4 725	1	1 382	3,01

Une évaluation de la situation de la SST dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport effectuée pour le compte de la Direction générale de la prévention-inspection et coordination-programmation de la CSST (CSST, 1985) révèle que les lésions ayant pour siège les mains, le poignet et les bras ou les épaules constituent 35 % (soit environ 12 000) des cas indemnisés entre 1979 et 1982. Les contusions, lacérations, entorses et brûlures comptent pour la majorité des lésions compensées.

Bien qu'il soit impossible d'établir avec certitude si cette proportion importante des lésions aux membres supérieurs est attribuable aux presses à métal en général, on peut présumer que, compte tenu des particularités des opérations effectuées sur celles-ci, elles sont vraisemblablement en cause dans la majorité des cas. Les statistiques de la CSST ne permettent pas, toutefois, d'identifier directement les presses-plieries comme agent causal dans les accidents recensés. Cependant, une étude effectuée par Beauchemin et Guertin (1989), sur des accidents survenus dans cinq usines d'un secteur dont les caractéristiques sont similaires, a permis d'identifier les principaux facteurs d'accidents comme étant reliés à l'utilisation des presses-plieries.

Sur les 184 rapports d'accidents analysés par Beauchemin et Guertin, les presses-plieries sont impliquées dans 15 % des cas recensés. Les victimes de ces accidents sont en majorité des opérateurs (78 %) et des techniciens d'entretien et de réglage (22 %). Les lésions des mains et des bras constituent 67 % des accidents. Quant à la nature de ces lésions, il s'agit d'entorses, de coupures, de contusions, de lacérations, d'écrasements et de meurtrissures.

Ces données démontrent que la majorité des accidents liés à l'utilisation des presses-plieries ont pour siège les membres supérieurs. Ce constat a amené les auteurs de la présente étude à s'interroger sur les méthodes de travail employées et sur l'efficacité des dispositifs de sécurité utilisés.

- **Réglementation et normes**

Au Québec, seules les presses à poinçonner ou à découper se doivent d'inclure des dispositifs de protection, conformément à la norme «*Code for the Guarding of Punch Presses at Point of Operation*», ACNOR-Z142-1957, en vertu de l'article 6.7.1 du *Règlement sur les établissements industriels et commerciaux* (S-2.1, r. 9). Cette norme vise essentiellement les presses à métal («*punch presses*») et est difficilement applicable au cas des presses-plieries, compte tenu de la dissemblance de leurs caractéristiques.

Cette lacune au niveau de la réglementation a été palliée en partie par la nouvelle norme «*Code for Punch Press and Brake Press Operation: Health, Safety and Guarding Requirements*», CSA-Z142-M90 (ci-après, généralement appelée la «Norme»), laquelle inclut les presses-plieries. L'apparition de cette nouvelle norme permet dorénavant des interventions spécifiques afin de rendre les presses-plieries plus sécuritaires. Cependant, la nouvelle norme demeure vague en ce qui concerne la prévention. En effet, bien qu'elle mentionne la nécessité d'assurer la protection efficace de la zone de danger, elle ne précise pas par quels moyens cet objectif peut être atteint. Cette indétermination constitue un obstacle important à l'application de cette norme dans la perspective de son adoption éventuelle par le Règlement précité.

Par ailleurs, il importe de mentionner ici certaines particularités de la situation au Québec. Mis à part la protection des opérateurs, les inspecteurs de la CSST se préoccupent également de la conformité des systèmes électriques et de contrôle des presses-plieries fabriquées à l'étranger. Notons également qu'au Québec, contrairement à ce qui est le cas en Ontario, il n'existe pas de formation standardisée préalable portant sur les risques et les modes opératoires pour les opérateurs de presses.

Sur le plan pratique, il ne faut pas ignorer l'impact économique qu'entraîne l'application d'une nouvelle réglementation. Suokas (1983) a étudié l'effet d'une réforme de la réglementation finlandaise sur la réduction des accidents impliquant des presses-plieres et l'économie en résultant. L'auteur avait estimé à 24 millions de dollars US les dépenses nécessaires pour rendre les presses conformes à la nouvelle réglementation. Celui-ci conclut que le taux de rendement sur l'investissement dépendait en partie de la façon dont la réglementation était appliquée et de l'efficacité des dispositifs de protection. Ce constat confirme la nécessité d'évaluer l'applicabilité de la réglementation et des normes aux conditions propres d'utilisation des presses-plieres et d'établir des critères de sélection et de conception des dispositifs de protection.

- **Secteur d'activité économique**

Selon l'Association sectorielle de fabrication d'équipement de transport et de machines (ci-après, l'«ASFETM»), le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines compte 1 244 établissements, pour environ 55 000 travailleurs et 2,146 millions de dollars de masse salariale (ASFETM, 1996). Le taux moyen de cotisation à la CSST de ce secteur se chiffre à 3,01, comparativement à 2,75 pour l'ensemble des secteurs d'activité économique (CSST, 1994). Les établissements de ce secteur utilisent couramment les presses-plieres comme machines-outils. Nous avons choisi ce secteur d'activité pour trois raisons principales : 1) l'intérêt manifesté par l'ASFETM à participer au projet de recherche, 2) le nombre de travailleurs directement touchés par ce projet, et 3) la volonté de l'ASFETM d'appliquer les recommandations issues de cette recherche aux entreprises de son secteur.

1.2 Méthodologie

La méthodologie de la présente étude comprend deux étapes principales :

- 1- l'inventaire de l'équipement, des moyens de protection et des méthodes de travail;
- 2- l'analyse de la sécurité de l'équipement, des moyens de protection et des méthodes de travail.

- **Inventaire de l'équipement, des moyens de protection et des méthodes de travail**

Cet inventaire, effectué de concert avec l'ASFETM, vise à décrire la nature de l'équipement et des moyens de protection utilisés ainsi que les principaux modes de fabrication et les techniques de travail employés. Un questionnaire type acheminé à l'ensemble des entreprises du secteur a permis de recueillir ces renseignements. Dans un premier temps, une description des modes de fabrication au moyen des presses-plieres a été effectuée. Cette description comprend les principales caractéristiques de fabrication communes à la plupart des entreprises du secteur (opérations de pliage mais aussi de poinçonnage, de découpage, de formage, de redressage, etc.). Cette description comprend également un inventaire des différents types de presses-plieres utilisées (mécanismes : hydraulique ou mécanique; machines à chargement manuel ou automatique; marques et modèles de presse) et des types de protection utilisés (protecteur fixe, dispositif de protection matériel ou immatériel, etc.). Les techniques spécifiques au travail sur

les presses-plieries complètent cette description (travail avec un ou plusieurs opérateurs; travail avec ou sans accompagnement de la tôle en cours de pliage; travail à stades multiples de pliage, etc.).

- **Analyse de la sécurité de l'équipement, des moyens de protection et du travail**

En parallèle avec l'inventaire général de la première étape, 52 entreprises ont été visitées afin de recueillir des données nécessaires aux analyses subséquentes. Trois volets d'analyse ont été retenus : l'équipement et les moyens de protection, les méthodes de travail, et la sécurité.

Analyse de l'équipement et des moyens de protection. Une description physique et technique des presses-plieries a été effectuée. Elle comprend une description des caractéristiques principales telles que les spécifications techniques (longueur des tabliers, force, cadence ou vitesse d'approche, profondeur du col de cygne, etc.), le fonctionnement général, les commandes, les circuits de commande, l'équipement utilitaire optionnel (butées, consoles, bras accompagnateurs de tôles, etc.), etc. Elle comprend aussi une description des principaux moyens de protection qui peuvent être couplés aux presses-plieries. Des renseignements concernant les caractéristiques des presses-plieries et les moyens de protection ont été obtenus de la part de fabricants, de fournisseurs et d'utilisateurs. Une grille type a été développée afin de systématiser l'information recueillie.

Analyse du travail. Nous avons filmé des séances de travail au moyen de matériel vidéo portable. Ces observations ont été complétées par des entrevues semi-dirigées auprès d'opérateurs, de contremaîtres et de responsables de la SST. Les bandes vidéo ont été archivées pour servir à des analyses subséquentes.

L'étude des bandes vidéo en laboratoire a ensuite permis de raffiner la qualité des observations, en détaillant les étapes pertinentes des modes de fabrication et des manipulations effectuées par les opérateurs. Des analyses détaillées des postes de travail et des tâches réalisées au moyen des presses-plieries ont été effectuées. Les renseignements issus de ces deux sources (observations effectuées sur le terrain et analyses subséquentes en laboratoire) ont fourni une documentation complète des conditions d'utilisation des presses-plieries et des méthodes de travail employées.

Analyse de la sécurité. À partir des renseignements recueillis lors des analyses du travail, de l'équipement et des moyens de protection, nous avons effectué une analyse de la sécurité des presses-plieries. Une analyse des risques potentiels liés aux méthodes de travail a été effectuée pour le travail en général, et pour des travaux particulièrement dangereux, comme le travail en bout et la formation de tuyaux. Nous avons également procédé à des analyses techniques de la sécurité de l'équipement et des moyens de protection : analyse des caractéristiques des presses-plieries relatives à la sécurité et analyse de l'applicabilité et de l'efficacité des dispositifs de protection, dont plus particulièrement la commande à deux mains et le dispositif photoélectrique.

Enfin, nous avons réalisé, parallèlement à l'analyse de la sécurité, une évaluation de la conformité des presses-plieries aux normes et aux règlements applicables.

- **Structure du rapport**

Ce rapport comporte deux sections principales. La première présente de manière détaillée les caractéristiques des presses-plieres, les techniques de fabrication ainsi que les moyens de protection et les dispositifs de sécurité. Lorsque cela est pertinent, nous effectuons un parallèle avec la nouvelle norme CSA-Z142-M90. Cette section présente en outre des renseignements sur les différents types de presses-plieres habituellement rencontrés en entreprise, leurs principaux modes de fonctionnement et les techniques usuelles de fabrication. Le principe, les avantages et les désavantages de chacun des moyens de protection et des dispositifs de sécurité sont également abordés.

La seconde section porte plus spécifiquement sur les presses-plieres utilisées dans les entreprises du secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines. À partir des résultats du sondage par questionnaire et des visites planifiées effectuées dans des entreprises participantes, nous présentons les principales caractéristiques des presses-plieres sondées et observées, les opérations et les méthodes de travail observées ainsi que les moyens et dispositifs de protection en usage dans les entreprises de ce secteur. Compte tenu de certains écarts observés entre les résultats du sondage et les données recueillies lors des visites dans les mêmes entreprises, nous profitons de l'occasion pour présenter une évaluation comparative des deux modes de cueillette de l'information. Par la suite, nous présentons les résultats des analyses de la sécurité qui ont porté sur les caractéristiques des presses-plieres, leurs accessoires, les méthodes de travail et les dispositifs de sécurité.

Enfin, nous présentons des recommandations visant l'amélioration de l'équipement, des accessoires, des dispositifs de protection et des méthodes de travail. Nous proposons également des recommandations pour la recherche et le développement de nouveaux dispositifs de sécurité, et suggérons des mesures de prévention aussi bien en ce qui concerne les méthodes de travail que la structure organisationnelle de l'entreprise.

2. PRÉSENTATION DES PRESSES-PLIEUSES : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES, MÉTHODES DE TRAVAIL ET MOYENS DE PROTECTION

Les presses-plieuses sont des machines employées pour divers travaux effectués sur des tôles. La protection des travailleurs qui utilisent les presses-plieuses est cependant réputée difficile, en raison des types et caractéristiques variés de ces machines et de la multiplicité de leurs conditions d'utilisation :

- commande à pédale fixe ou mobile, commande à deux mains;
- travail à un ou plusieurs opérateurs;
- pliage en frappe ou «en l'air»;
- dimensions variées des pièces;
- exigences de la production (travail en série ou à l'unité);
- méthodes de travail (accompagnement de la tôle, travail en bout, etc.);
- etc.

De plus, le travail au moyen des presses-plieuses a ceci de particulier qu'il nécessite une interaction constante entre l'opérateur et la machine. Durant les opérations, les mains de l'opérateur sont à proximité de la zone de danger, c'est-à-dire de tout l'espace où il existe un risque d'écrasement des mains et, plus particulièrement, celui délimité par le poinçon et la matrice. Le risque d'écrasement des mains est important et se concrétise par de nombreux accidents graves dont les causes principales peuvent être classées dans les catégories suivantes :

- manque d'attention ou de vigilance associé à un manque d'information;
- absence ou mauvais usage des dispositifs de sécurité;
- mauvais entretien des machines;
- manque d'information sur les systèmes de sécurité;
- difficulté d'application des règlements en vigueur et des normes actuelles;
- manque de formation et d'information des opérateurs en ce qui a trait aux méthodes de travail.

D'autres risques secondaires existent, tels que les coupures aux mains, aux doigts, aux avant-bras ou aux pieds, en rapport avec la manutention de tôles mal ébavurées ou leur chute; le mouvement de la tôle peut causer des heurts de la tête, du menton ou d'autres parties du corps de l'opérateur; enfin, un effort excessif en soulevant, en poussant ou en tirant des objets lourds ou mal positionnés peut occasionner des lombalgies ou des douleurs cervicales.

Les presses-plieres servent à plier des tôles par rapprochement de deux outils rectilignes dont l'un, le poinçon, est fixé sur le tablier supérieur et l'autre, la matrice, est fixé sur le tablier inférieur. On peut essentiellement les classer en deux catégories, qui sont :

- les presses-plieres mécaniques;
- les presses-plieres hydrauliques.

En ce qui concerne la première catégorie, on peut la scinder en deux groupes en fonction des types d'embrayage :

- embrayage positif,
- embrayage à friction.

Le tableau suivant énumère les principaux éléments constitutifs des presses hydrauliques et mécaniques. Le lecteur trouvera la description de chaque élément en se reportant au lexique au début de ce document.

Tableau 2 : Éléments principaux des presses-plieres	
Presses hydrauliques	Presses mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Vérin • Soupape • Pompe 	<ul style="list-style-type: none"> • Volant • Arbre excentrique • Bielle • Embrayage • Tringle
<ul style="list-style-type: none"> • Bâti • Tablier inférieur • Tablier supérieur • Commande de fonctionnement • Butée arrière • Console support de tôle • Commande numérique 	

Suivant le type de presse-pliere utilisée, plusieurs sortes de commandes sont disponibles et adaptables. Le tableau 3 résume les possibilités de commandes de fonctionnement pour les presses-plieres de type hydraulique et mécanique.

Tableau 3 : Commandes de fonctionnement					
Commandes de fonctionnement *	Presse hydraulique		Presse mécanique		
	Tablier mobile		Cycle partiel		Cycle complet
	inférieur	supérieur	embrayage à friction	embrayage pneumatique	embrayage positif
Pédale(s) mobile(s) **	•	•	•	•	•
Pédale mécanique (fixe)			•		•
Barre de commande (fixe)	•				
Butée de commande (fixe)	•				
Commande à deux mains (fixe ou mobile)	•	•	•	•	
Déclencheur à deux mains (fixe ou mobile)					•
Pupitre de commande (commande à deux mains et pédale)	•	•	•	•	

* Une presse-plierse peut être équipée d'une ou de plusieurs commandes de fonctionnement.

** Certaines commandes à pied utilisent deux pédales : l'une pour actionner la descente du tablier et l'autre pour actionner sa remontée.

Nous pouvons citer, de façon générale, un ensemble de caractéristiques techniques qui permettent de définir une presse-plierse.

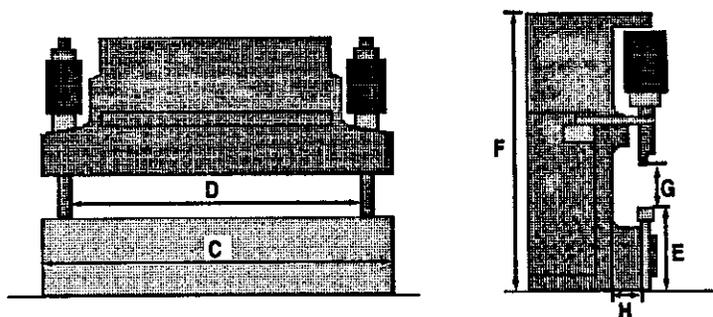


Figure 1 : Caractéristiques des presses-plierse

- Source d'énergie : mécanique, hydraulique

- Puissance (kW)
- Force (kN) ou capacité (t)
- Course du tablier mobile (mm)
- Distance maximale entre les tabliers (mm) (voir G, fig. 1)
- Longueur des tabliers (mm) (voir C, fig. 1)
- Distance entre les montants (mm) (voir D, fig. 1)
- Profondeur du col de cygne (mm) (voir H, fig. 1)
- Hauteur du tablier inférieur (mm) (voir E, fig. 1)
- Hauteur totale (mm) (voir F, fig. 1)
- Vitesses (pour la presse-plieuse hydraulique) :
 - d'approche (mm/s)
 - de travail (mm/s)
 - de retour (mm/s)
- Vitesse de rotation du volant d'inertie (RPM) (pour la presse-plieuse mécanique)
- Diamètre du volant (mm)

2.1 Les presses-plieuses mécaniques

2.1.1 Présentation

Une presse-plieuse mécanique est caractérisée par un système vilebrequin-bielle, qui transforme le mouvement circulaire d'un arbre excentrique en un mouvement de translation qui actionne le tablier supérieur mobile (voir figure 2).

La puissance initiale est fournie par un moteur électrique. En tournant, son arbre, par l'intermédiaire d'un embrayage, entraîne un volant d'inertie ainsi qu'un vilebrequin, lequel transmet le mouvement à la bielle. C'est par ce principe que le tablier supérieur mobile se déplace suivant un mouvement linéaire vertical cyclique (haut-bas-haut).

La force fournie au coulisseau dépend de la position du tablier et du rapport entre la longueur de la bielle et l'excentricité du vilebrequin. C'est pour cette raison que tout le travail sur le métal se fait au bas de la course du coulisseau, là où la force est maximale. Le surplus d'énergie est emmagasiné par le volant d'inertie qui la restitue lors des séquences de travail suivantes.

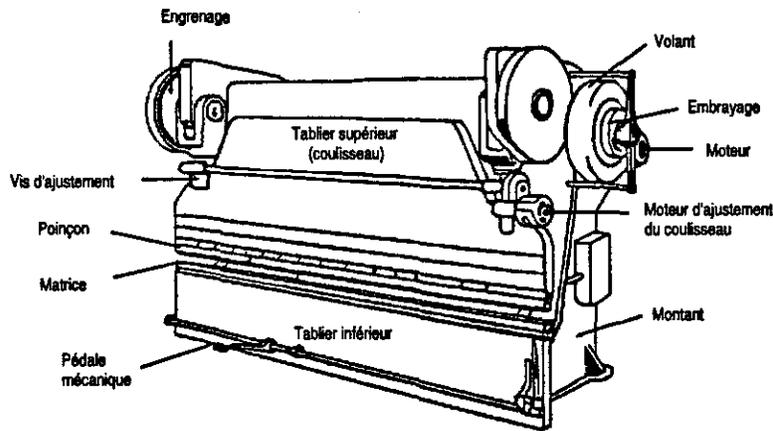


Figure 2 : Presse-plier mécanique

Pour faciliter la compréhension, nous décrivons dans la section suivante les principaux éléments qui interviennent dans le fonctionnement des presses-plieres mécaniques.

2.1.2 Presse-plier à embrayage positif

L'utilisation d'un embrayage positif ne permet pas d'arrêter le coulisseau ailleurs qu'en son point mort haut, c'est-à-dire en fin de cycle du coulisseau (retour à son point mort haut), ce qui correspond à un tour complet du vilebrequin – d'où le terme de *presse à tour complet* également utilisé.

Cet embrayage monté sur l'arbre principal utilise des clavettes, des clés ou des mâchoires qui bloquent ensemble le vilebrequin et le volant d'entraînement pendant le cycle complet du coulisseau et les désengagent à la fin de ce cycle. Il existe plusieurs modèles d'embrayages positifs en fonction des conceptions particulières de chaque fabricant, mais il est tout de même possible de les regrouper en trois types de base :

- embrayage à clavette pivotante;
- embrayage à clavette coulissante;
- embrayage à mâchoire.

Toutes les presses équipées de ces types d'embrayage ont en commun, d'une part, l'impossibilité d'arrêter un cycle en cours et, d'autre part, une conception qui ne permet pas d'assurer l'arrêt automatique en fin de course en cas de rupture, d'usure ou de dérèglement de certaines composantes mécaniques.

- **Frein**

Ce type d'embrayage provoque un «coup de fouet» lors du pliage de la tôle, car la vitesse de descente du coulisseau est grande. C'est pourquoi les presses mécaniques à embrayage positif sont généralement équipées d'un frein à résistance constante. Le but de ce type de frein, qui est

constamment appliqué sur le vilebrequin, est, d'une part, de provoquer l'arrêt du coulisseau en son point mort haut en fin de cycle et, d'autre part, de permettre à la presse d'effectuer son cycle uniformément, prévenant ainsi une chute incontrôlée du coulisseau.

- **Commande de l'embrayage**

La commande de l'embrayage est obtenue soit par une pédale reliée à un système de tringlerie mécanique, soit par une pédale (ou par des boutons manuels) de type interrupteur qui commande un vérin pneumatique ou un électro-aimant.

- **Mécanisme d'antirépétition**

Une pression brève (plus courte que la durée normale d'un cycle) sur la pédale actionne un cycle complet de la presse. Cependant, si la pression est maintenue, la presse effectue plusieurs cycles sans interruption.

C'est pour cette raison qu'on utilise un mécanisme dit *d'antirépétition* afin d'arrêter le vilebrequin en son point mort haut, même si le pied est maintenu sur la pédale au cours du cycle. Ce mécanisme permet à l'opérateur de travailler en mode cycle par cycle. Pour initialiser un nouveau cycle, l'opérateur doit obligatoirement relâcher puis appuyer de nouveau sur la pédale.

La norme CSA-Z142-M90 (articles 6.3 et 8.9.3) prévoit que toutes les presses à embrayage positif, à l'exception des presses fonctionnant en continu, doivent être munies d'un mécanisme à un coup (antirépétition). Ce mécanisme doit déconnecter la pédale, le levier, le vérin pneumatique ou le solénoïde du déclencheur après chaque coup de presse.

- **Mécanisme contre le pré-déclenchement**

Des accidents peuvent survenir lorsqu'un opérateur ou un monteur de matrice démarre le moteur de la presse et que celle-ci effectue immédiatement un cycle intempestif. Ceci est possible lorsque la commande de la presse est actionnée (maintenue volontairement ou bloquée accidentellement) avant le démarrage du moteur.

Quelle que soit la méthode utilisée pour actionner la presse (air, solénoïde ou mécanique), un moyen devrait être fourni afin d'éviter la mise en marche accidentelle de la presse lorsque le moteur est à l'arrêt.

La norme CSA-Z142-M90 (article 5.1.12e) oblige l'installation d'un tel dispositif sur tous les contrôles à pédale.

2.1.3 Presse-plierieuse à embrayage à friction

L'embrayage à friction, comme son nom l'indique, transmet le mouvement d'une pièce à l'autre à l'aide du frottement entre les surfaces en contact. Ce type d'embrayage, contrairement à

l'embrayage positif, peut être désengagé en n'importe quel point avant que le vilebrequin ait complété une révolution et que le coulisseau ait réalisé une course complète. Pour cette raison, il est également nommé *embrayage à révolution partielle*.

Ce type d'embrayage peut être installé dans le volant d'entraînement, sur l'arbre principal ou l'arbre auxiliaire. Les pièces qui s'engagent sont généralement des disques dont l'un est monté sur le vilebrequin et l'autre sur le volant; l'application d'une pression les fait entrer en contact. Ces pièces peuvent également être de forme cylindrique ou conique, et la force est alors appliquée suivant la direction radiale. Bien que la plupart des embrayages à friction utilisent l'air, l'application de cette force peut être réalisée mécaniquement.

Pour ces embrayages, il n'y a pas de délai dû à l'alignement des pièces devant s'engager et il est possible d'ajuster la capacité du couple transmis pour permettre le glissement en cas de surcharge.

Les embrayages à friction peuvent être classés dans les trois catégories suivantes :

- embrayage à disque,
- embrayage à cône,
- embrayage cylindrique ou à sabot.

Une presse-plieuse équipée d'un embrayage à friction peut être actionnée à l'aide d'une pédale de type mécanique, électrique ou pneumatique. Dans le premier cas, la pédale est fixée à une barre qui est reliée à la tringle par un mécanisme de tige et levier, alors que la pédale électrique ou pneumatique est mobile.

Certaines presses-plieuses possèdent deux embrayages, ce qui permet d'effectuer la séquence de pliage en deux étapes ayant chacune une vitesse propre. L'engagement du premier embrayage permet d'approcher rapidement le tablier à proximité de la tôle. Le second embrayage est alors utilisé pour effectuer la phase de pliage en petite vitesse de façon à éviter le «coup de fouet».

• **Frein**

L'embrayage et le frein agissent simultanément : lorsque l'embrayage s'engage, le frein se désengage. Par conséquent, l'embrayage à friction accouplé au frein permet à l'opérateur de descendre le poinçon à proximité de la tôle, d'immobiliser le tablier, puis d'effectuer la séquence de pliage sans «coup de fouet».

Différentes conceptions de freins peuvent être employées sur des presse à révolution partielle. On retrouve généralement des freins appliqués par ressort et relâchés par air, qui peuvent être bâtis dans l'embrayage ou montés séparément sous forme de disque ou de sabot.

Dans certains cas, les freins sont appliqués par air. Cependant, la norme CSA-Z142-M90 (article 6.8.1) stipule que cette configuration n'est plus permise pour les nouvelles productions ou conversions de presses.

Actuellement, l'usage d'embrayages à révolution partielle combinés à des freins relâchés par air résulte en des presses plus faciles à contrôler et dont la sécurité d'opération est supérieure. Une conception adéquate du système frein-embrayage doit assurer un arrêt immédiat de la presse en cas de chute de la pression d'air ou d'une panne dans le pouvoir d'alimentation (principe du *failsafe*).

- **Moniteur de frein**

Ce système est conçu pour évaluer le taux d'usure du frein afin d'inhiber le fonctionnement de la presse s'il excède une valeur prédéterminée. L'opérateur est alors informé du défaut par un signal d'alarme. Il est à noter que l'usure du frein augmente le temps d'arrêt du coulisseau et, par conséquent, intervient directement dans l'évaluation de la distance de sécurité selon l'article 9.6.6 de la norme CSA-Z142-M90.

La norme CSA-Z142-M90 (articles 6.8.2 et 9.1.3) stipule que l'emploi du moniteur de frein est obligatoire.

- **Soupape d'échappement double**

La majorité des presses à friction sont équipées d'un mécanisme de freinage et d'embrayage contrôlé par un système pneumatique. Le coeur du système pneumatique est caractérisé par des soupapes de contrôle qui permettent la compression et l'échappement de l'air dans les canalisations, ce qui correspond respectivement à l'engagement et au désengagement de l'embrayage.

Cependant, si la presse n'est équipée que d'une soupape d'échappement simple, cette soupape peut être obstruée par des copeaux ou autres particules et ainsi être coincée en position ouverte; dans cette circonstance, l'embrayage demeure engagé et la presse fonctionne comme si elle était en mode continu, ce qui peut causer des accidents sérieux.

La norme CSA-Z142-M90 (article 5.1.13) oblige maintenant l'utilisation de soupapes d'échappement doubles ou en tandem sur toutes les presses à embrayage pneumatique, excepté lorsqu'elles fonctionnent en continu avec l'alimentation automatique.

- **Bouton d'arrêt d'urgence**

Les presses-plieres à embrayage à friction doivent être équipées d'un bouton d'arrêt d'urgence qui doit provoquer un arrêt immédiat de la presse dès qu'il est actionné.

La norme CSA-Z142-M90 (article 6.4 b) stipule toutes les exigences auxquelles doit se conformer le bouton d'arrêt d'urgence.

2.1.4 Modes de fonctionnement

Les embrayages à révolution partielle sont généralement contrôlés électriquement et peuvent fonctionner selon quatre modes différents, choisis par l'opérateur à partir d'un sélecteur. Ces quatre modes de fonctionnement sont :

- le mode réglage (souvent appelé *inch* ou *jog*);
- le mode cycle par cycle (ou coup par coup);
- le mode séquence;
- le mode continu.

La commande d'embrayage peut se faire soit par contrôle manuel, soit par pédale. Le choix de ce type de commande s'effectue à partir d'un sélecteur indépendant du sélecteur de mode de fonctionnement.

La norme CSA-Z142-M90 (article 5.1.13c) stipule que les presses à embrayage à friction doivent être équipées d'interrupteurs à clé ou d'un verrou de sûreté équivalent. La clé ne doit être accessible qu'au personnel autorisé.

Afin de mieux comprendre les particularités de chaque mode de fonctionnement, nous présentons, dans chaque cas de figure, toutes les étapes chronologiques du fonctionnement de la presse sous forme d'un graphe fonctionnel respectant les règles suivantes :

- Chaque graphe est constitué de cercles et de liens fléchés entre eux. Les cercles représentent une action (ou étape) spécifique du tablier (coulisseau) de la presse; par exemple : *Arrêt* signifie que le tablier est immobilisé, *Descente* signifie que le tablier se déplace du haut vers le bas, etc.
- La transition d'une action à une autre (d'un cercle au suivant) se fait suivant le sens indiqué par le lien fléché et en fonction de la manifestation d'un événement extérieur indiqué sur ce même lien. Cet événement peut être produit par une action de l'opérateur sur une pédale ou une commande manuelle; par exemple, *Appui* signifie que l'opérateur exerce une pression sur une commande, *Relâche* signifie le relâchement de cette pression.
- Un événement peut également être produit de façon automatique par la fermeture d'un interrupteur de fin de course; par exemple, arrêt du coulisseau au point mort haut.
- Nous considérons, par convention, que le cercle grisé qui contient l'action représente le début de la séquence de travail. Dans ce cas, la presse est au repos et le tablier est immobile au point mort haut.
- Le cercle en relief (fond grisé) représente l'endroit du cycle où s'effectue le travail sur la tôle.

- **Mode réglage**

Le mode réglage est utilisé pour l'ajustement des outils : la descente et la remontée s'effectuent par incréments même si la commande est maintenue enfoncée.

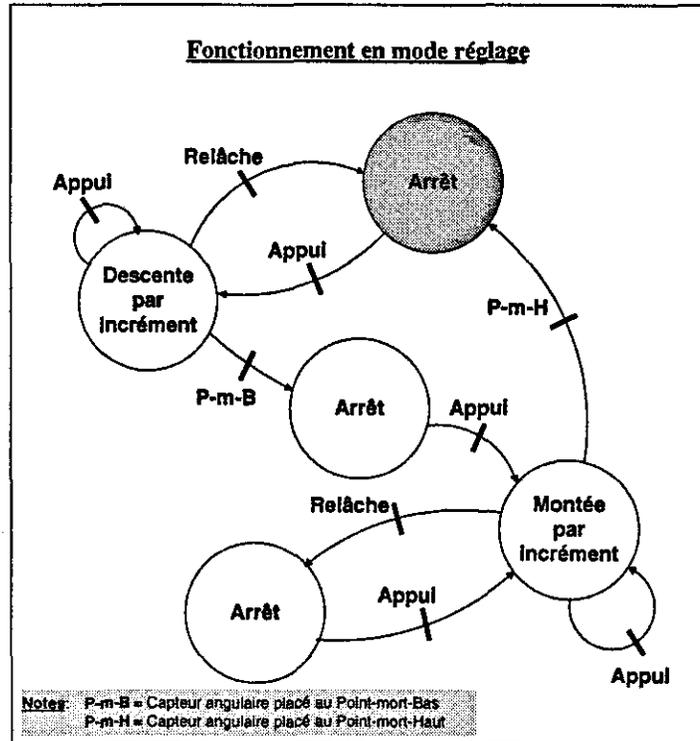


Figure 3 : Fonctionnement en mode réglage

Lecture du graphe fonctionnel

1. Le tablier est immobile à son point mort haut (cercle grisé Arrêt);
2. Un appui et un maintien de la commande fait descendre le tablier par incréments;
3. À tout moment, un relâchement de la commande provoque l'arrêt du tablier;
4. Si le point mort bas est atteint, le tablier s'arrête automatiquement;
5. Un nouvel appui et maintien de la commande fait remonter le tablier par incréments;
6. À tout moment, un relâchement de la commande provoque l'arrêt du tablier;
7. Si le point mort haut est atteint, le tablier s'arrête automatiquement et l'on retourne à l'étape 1.

La norme CSA-Z142-M90 (article 6.4 d) stipule que le mode réglage doit requérir l'usage simultané des deux mains. Lorsqu'il s'agit d'une commande simple, elle doit être utilisée conjointement avec d'autres dispositifs de sécurité et doit satisfaire aux exigences de l'article 9.1.1.

Le mode réglage ne doit pas être utilisé pour la production (article 6.4 e) et il est le seul mode utilisable si le moteur de la presse est activé en direction inverse (article 5.1.8 d).

Des blocs de sécurité doivent être utilisés pour le remplacement ou le montage de matrices ou la maintenance effectués dans la zone dangereuse (article 6.6).

- **Mode cycle par cycle**

En mode cycle par cycle (ou coup par coup), le mouvement du tablier peut immédiatement être arrêté en tout point de la course précédant le point mort bas, par relâchement de la commande. Une fois rendu au point mort bas, le tablier remonte et s'immobilise à son point mort haut. Pour initialiser un nouveau cycle, l'opérateur doit actionner la commande.

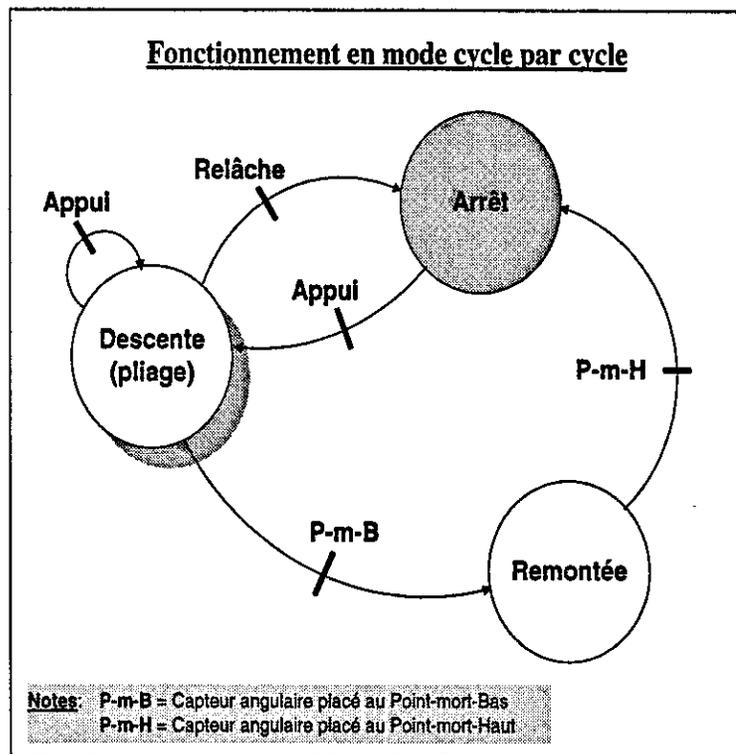


Figure 4 : Fonctionnement en mode cycle par cycle

La norme CSA-Z142-M90 (article 6.2 d) stipule que toute presse à un coup commandée par une pédale doit être munie d'un système de protection de l'opérateur et de la presse dans la zone dangereuse. La pédale et la tige de poussée doivent être protégées contre la chute d'un objet et contre toute fausse manoeuvre de l'opérateur (article 6.2 a).

- **Mode séquence**

En mode séquence, le tablier s'arrête automatiquement à une position préalablement établie par l'utilisateur, généralement à 6 mm au-dessus de la tôle. Dans ce cas, la descente du tablier s'effectue en deux étapes :

- Une première action sur la commande déclenche la descente du coulisseau, qui s'immobilise automatiquement à la position de sécurité (6mm au-dessus de la tôle). L'opérateur peut alors insérer et ajuster la tôle.
- La deuxième action sur la commande complète la séquence de pliage. Le coulisseau remonte automatiquement au point mort haut, où il s'immobilise.

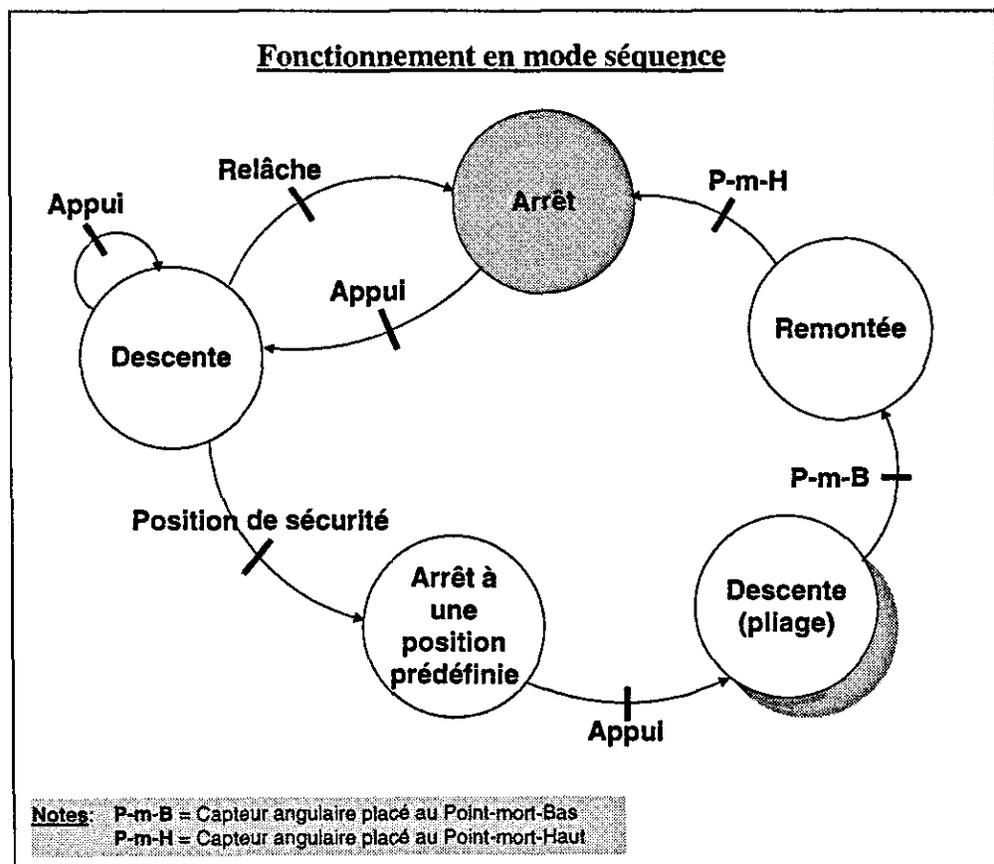


Figure 5 : Fonctionnement en mode séquence

La norme CSA-Z142-M90 (article 9.1.1.1) stipule que toute presse dont l'ouverture d'accès à la zone de travail excède 6 mm (1/4") doit être munie d'un dispositif de protection.

- **Mode continu**

Le mode continu correspond, au niveau de la presse, à une répétition du cycle tant que l'opérateur maintient la commande enfoncée. Cependant, si la presse est dotée d'un dispositif d'antirépétition, un sélecteur permet d'inhiber ce mécanisme lorsqu'il se trouve positionné sur *mode continu*.

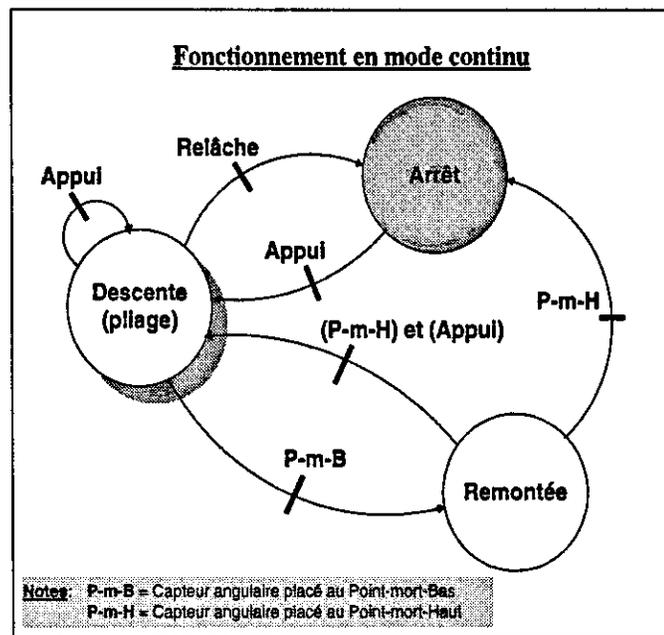


Figure 6 : Fonctionnement en mode continu

La norme CSA-Z142-M90 (article 9.5.6) stipule que le mode continu ne doit être amorcé qu'après le déclenchement d'un cycle et demi de la presse. Cette directive a pour but de s'assurer que le mode automatique a été choisi. La protection doit être assurée conformément à l'article 9.1.1.

En mode continu, le cycle se répète tant que la commande est maintenue enfoncée. Pour interrompre le cycle de la presse, l'opérateur doit relâcher la commande.

2.2 Les presses-plieres hydrauliques

Une presse-plieres hydraulique est une presse dont la force appliquée au coulisseau se fait par l'intermédiaire d'un fluide (huile ou eau) pompé dans un ou plusieurs vérins. Un tel mécanisme permet de maintenir une pression et une vitesse constantes durant toute la course et peut être

ajusté pour exercer une pression maximale en tout point désiré de la course. Les principaux problèmes de conception qui se posent sont ceux de la synchronisation du mouvement des vérins.

Ce type de presse est particulièrement apprécié lors de séquences de travail de précision qui demandent des manipulations complexes. En effet, les courses, les capacités (efforts) et les vitesses peuvent être contrôlés avec précision.

La description schématique d'une presse-plieuse hydraulique à deux vérins est illustrée à la figure 7.

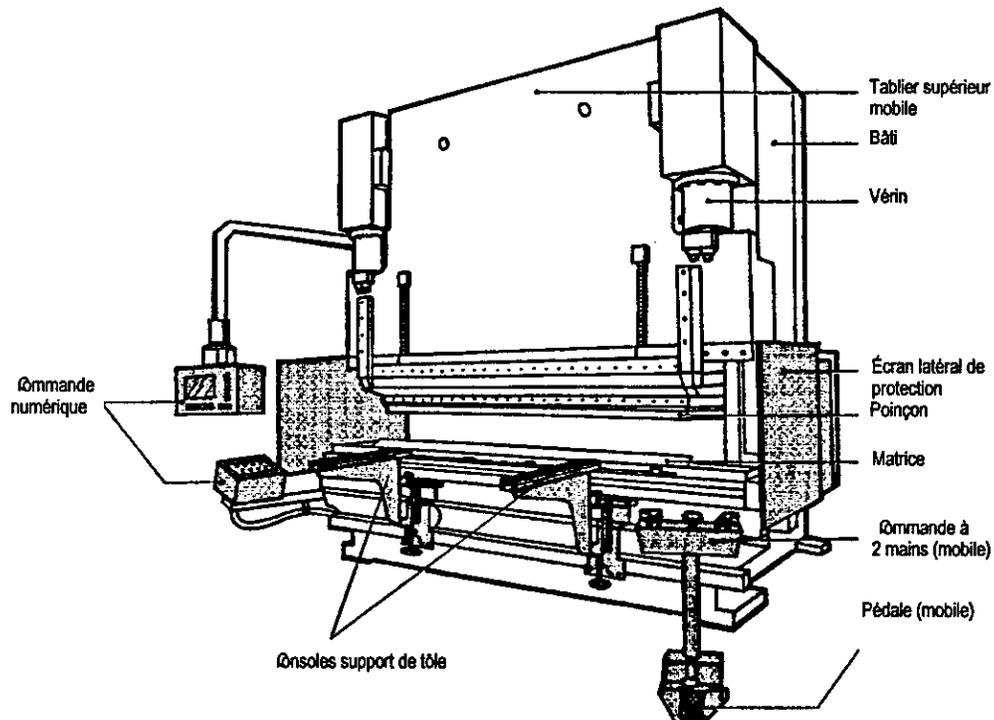


Figure 7 : Presse-plieuse hydraulique

2.2.1 Contrôle et sécurité

On retrouve une gamme variée de contrôles, en partant du simple vérin commandé par une valve manuelle à trois voies, jusqu'aux circuits électroniques complexes. En général ces contrôles procurent :

- l'arrêt et la marche inverse du coulisseau durant la course descendante;
- l'arrêt du coulisseau au haut de la course;
- l'ajustement du tonnage;

- l'ajustement de la vitesse du coulisseau lors de l'approche, pendant le travail et au retour du coulisseau;
- l'ajustement de la longueur de la course;
- une protection en cas de surcharge.

Ces caractéristiques confèrent aux presses hydrauliques les avantages d'une presse mécanique à friction en ce qui concerne l'arrêt possible du coulisseau durant sa phase d'approche.

Étant donné que le poids total du coulisseau et du poinçon n'est supporté que par le fluide ou l'air emprisonné dans le cylindre, il est impératif de supporter mécaniquement le coulisseau. Par conséquent, l'article 6.6 de la norme CSA-Z142-M90 rend obligatoire l'usage de blocs de sécurité lors de travaux d'entretien ou de montage d'outils effectués à l'intérieur de la zone de danger.

La filtration du fluide hydraulique est un élément de sécurité important dans les systèmes hydrauliques. La majorité des défaillances du système de contrôle résultent de la contamination du fluide utilisé. Le réservoir d'air ou de liquide devrait être conçu de manière à prévenir l'entrée de matières étrangères, et des filtres devraient être installés dans le système à cet effet.

2.2.2 Modes de fonctionnement

Les presses-plier hydrauliques peuvent également fonctionner suivant des modes de fonctionnement différents choisis par l'opérateur à partir d'un sélecteur. Ces modes, énumérés ci-après, sont au nombre de cinq :

- le mode réglage (souvent appelé *inch* ou *jog*);
- le mode cycle par cycle (ou coup par coup);
- le mode séquence;
- le mode continu;
- le mode «cycle libre».

Les quatre premiers modes de fonctionnement ont déjà été détaillés dans la section consacrée aux presses-plier mécaniques à embrayage à friction du présent document. Par conséquent, nous n'explicitons ici que le mode «cycle libre» propre aux presses hydrauliques.

• Mode «cycle libre»

Dans ce mode de fonctionnement, la presse est commandée par une pédale à trois positions qui sont respectivement : repos, semi-engagée (position intermédiaire) et engagée. Le schéma fonctionnel de la figure 8 représente les possibilités de fonctionnement de la presse hydraulique dans le mode «cycle libre».

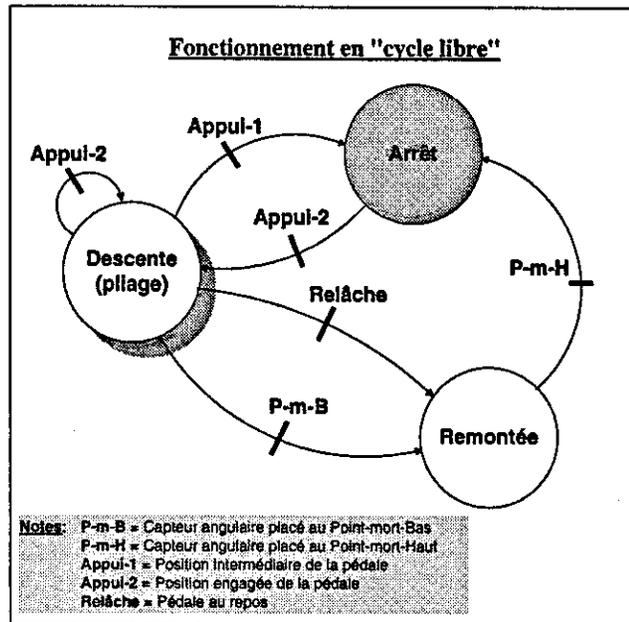


Figure 8 : Fonctionnement en mode «cycle libre»

2.3 Utilisation des presses-plieses

Les presses-plieses sont utilisées pour plier ou pour former des tôles minces ou épaisses, des pièces simples ou complexes, de petit ou de grand format, à l'unité ou en série, au tracé, avec ou sans butée. Les dimensions des pièces à travailler sont très variables : l'épaisseur peut varier de 1 mm à 50 mm, la largeur (ou la profondeur) passe de quelques centimètres à 6 m et la longueur peut atteindre jusqu'à 12 m. Il arrive parfois que l'on place côte à côte (ou en tandem) deux presses-plieses, pour effectuer le pliage de très longues tôles.

D'autres opérations, comme le poinçonnage, le découpage et l'aplatissage, peuvent également être exécutées au moyen d'une presse-pliese.

La transformation de la tôle s'effectue par la déformation de la structure d'origine en rapprochant deux outils rectilignes : le poinçon et la matrice. Le poinçon peut être soit d'une pièce, soit fractionné en plusieurs; il est fixé au tablier supérieur à l'aide de brides de serrage. La matrice, fractionnée ou en une seule partie, comporte des rainures longitudinales en forme de «V» et est posée sur un porte-matrice rainuré qui est fixé au tablier inférieur.

La conception du poinçon et de la matrice dépend de la spécificité du travail ainsi que de la tolérance et la précision exigées. Le choix des outils doit dépendre des caractéristiques de la presse-pliese, telles que la capacité, la course, la distance maximale entre les tabliers et les techniques de pliage employées.

Dans cette section, nous proposons une description des techniques de fabrication préconisées par la littérature. Nous aborderons également le choix des outils, qui est spécifique à chaque type de production. Nous discuterons, dans la section traitant de l'analyse, de l'importance des méthodes de travail à l'égard de la protection des opérateurs de presses-plieuses.

2.3.1 Exigences générales

Capacité

La force évaluée pour effectuer le travail détermine la capacité de la presse; elle est exprimée en tonnes. La distance à laquelle le travail est exécuté détermine la capacité nominale de la presse. Cette capacité est donnée en un point précis de la course du coulisseau telle que spécifiée par le manufacturier. La capacité des presses-plieuses varie de 8 à 2 500 tonnes.

Course du tablier

La longueur de la course (figure 9) ou la distance entre les tabliers est aussi un paramètre important. Ces paramètres interviennent surtout lors d'une opération spécifique qui exige des poinçons plus longs que les poinçons standard.

Par exemple, la formation de boîtes profondes (ou de profilés structuraux) nécessite l'usage d'outils appropriés afin d'éviter que les rebords ne viennent frapper le poinçon ou le tablier.

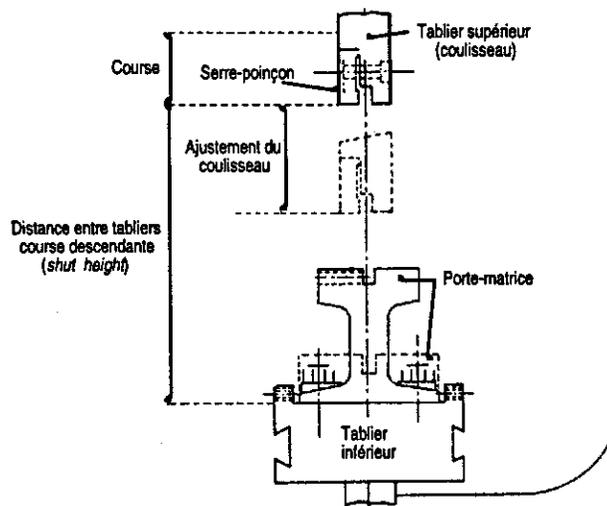


Figure 9 : Course du tablier

Longueur des tabliers

La pression exercée sur la tôle doit être uniforme sur toute la longueur du pli. La longueur du pli est donc limitée par celle des tabliers.

2.3.2 Techniques de fabrication

L'utilisation des presses-plies présente des dangers pour les opérateurs et les réglés et pour toute personne susceptible d'accéder aux commandes et évoluant à proximité de la zone de danger. Le problème de la sécurité est encore plus difficile à gérer lorsqu'il y a plusieurs opérateurs travaillant simultanément sur la même machine. Il faut alors obligatoirement imposer des restrictions supplémentaires afin de rendre impossible le fonctionnement de la presse sans le consentement de chacun des opérateurs.

Des dispositifs de protection doivent être utilisés pour protéger les opérateurs contre les dangers associés aux presses-plies. Des outils de préhension, tels que des pinces, des outils à ventouses ou des outils magnétiques, devraient être utilisés pour manipuler les petites pièces afin de maintenir les mains de l'opérateur éloignées du point de pincement. Cependant, si l'usage d'outils de préhension constitue une protection additionnelle pouvant contribuer à réduire le risque d'accidents, ces outils ne constituent pas, en eux-mêmes, des dispositifs de protection.

Lorsqu'une tôle est large, l'opérateur doit généralement la maintenir pendant l'opération. Cette technique de travail n'est pas compatible avec l'usage d'une barrière de protection, car elle empêche l'introduction ou le retrait de la pièce et, de plus, elle entrave le relèvement de la tôle. Dans ce cas, l'usage de butées arrière s'avère nécessaire pour guider le positionnement de la tôle. Ces butées ont pour effet d'éloigner l'opérateur du point de pincement de la presse, d'une distance égale à la largeur de la tôle. Si cette distance est suffisamment grande par rapport à la taille des membres supérieurs de l'opérateur, ce principe de travail peut constituer un moyen de protection par éloignement de la zone de danger.

La tôle doit être supportée par l'opérateur seulement lorsque d'autres moyens de manutention ne conviennent pas. L'emploi d'une console support de tôle permet d'aider l'opérateur à supporter la tôle et à l'introduire dans les outils de pliage. Idéalement, la pièce formée devrait être retirée par l'avant de la presse; sinon, l'opérateur doit la faire glisser sur la matrice afin de l'extraire par le col de cygne. Un support prévu à cette fin permettra de prévenir une chute de la tôle qui occasionnerait des accidents.

Les presses-plies sont généralement équipées d'une pédale de commande. Celle-ci doit être munie d'une garde de protection afin de prévenir la mise en marche accidentelle provoquée par la chute d'objets ou une fausse manoeuvre de l'opérateur. Comme nous l'avons déjà mentionné, le danger inhérent au fonctionnement des presses-plies peut être localisé aux zones d'écrasement entre les différentes parties de l'outillage et de la pièce, c'est-à-dire entre les trois parties suivantes : le poinçon, la matrice et la pièce.

Pour comprendre et appliquer les bonnes mesures de sécurité, il faut être en mesure d'estimer le plus exactement possible les risques dynamiques d'une presse, c'est-à-dire de savoir à quel moment et à quel endroit le mouvement de la presse comporte des risques susceptibles de causer des accidents. La section suivante porte sur ce sujet.

Zone dangereuse

La zone dangereuse peut être représentée par une enveloppe tridimensionnelle où deux des dimensions sont la surface de contact de l'outillage et la troisième est la course de l'outil.

En ce qui concerne la course de l'outil, le danger subsiste tant que l'espacement entre la matrice et le poinçon est tel que l'opérateur peut y introduire ses doigts. La distance de sécurité préconisée par la Norme est égale ou inférieure à 6 mm (1/4").

Il faut préciser que la zone de danger peut être réduite si l'outil est conçu en fonction de la pièce à former, c'est-à-dire que la surface de base de l'outil doit être sensiblement la même que celle qui est nécessaire au formage de la pièce.

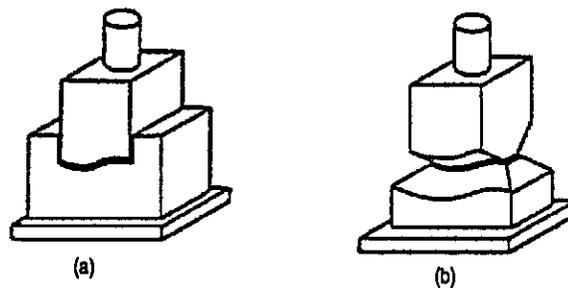


Figure 10 : Surface de contact de l'outillage
a) inutilement grande; b) réduite par chanfrein

Instants dangereux

L'instant dangereux est la période pendant laquelle l'outil en mouvement effectue sa course dangereuse. Plus la vitesse du coulisseau est élevée, plus ce temps est court. Or la vitesse du coulisseau dépend de la cinématique de la presse et n'a rien à voir avec la conception de l'outil : il s'agit donc de veiller à ce que la course de l'outil soit sécuritaire.

Pour les presses mécaniques à vilebrequin, la vitesse du coulisseau n'est pas constante. Elle varie fortement en fonction de la position du coulisseau puisqu'elle correspond à la vitesse linéaire de la bielle; par contre, la vitesse angulaire du vilebrequin est constante. C'est pour cette raison que, dans les études de sécurité sur les presses à vilebrequin, on substitue au temps dangereux l'angle dangereux, qui est l'angle de rotation du vilebrequin correspondant à la course dangereuse du coulisseau. Plus la course est courte, plus l'angle dangereux est petit. Dans le cas d'une course inférieure à 6 mm, l'angle dangereux équivaut à zéro. Il faut cependant choisir une

course suffisamment grande pour que le remplacement de la matrice puisse se faire sans trop de difficulté. Par ailleurs, la course doit toujours permettre les efforts de formage nécessaires.

2.3.2.1 Types de pliage

On distingue deux types de pliage :

- le pliage en frappe;
- le pliage en l'air;

Le choix d'une technique de pliage est conditionné par la précision de l'angle de pliage désirée.

Pliage en l'air

Ce mode de pliage, le plus utilisé, permet une excellente précision et met en jeu des forces relativement peu élevées tout en utilisant des outils universels.

Le poinçon n'applique pas la tôle au fond du V et la matière ne subit pas de matricage. Dans ce cas, la précision angulaire (c.à.d. l'angle du pliage) dépend de la pénétration du poinçon dans la matrice et de l'élasticité résiduelle du métal après le pliage.

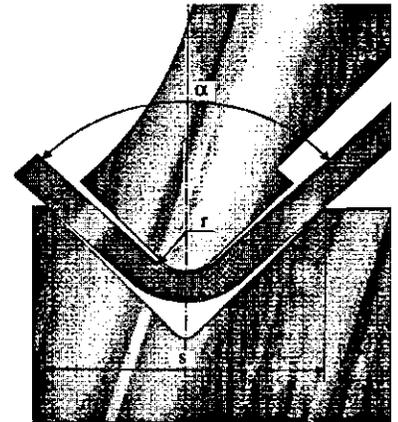


Figure 11 : Pliage en l'air

Pliage en frappe

La précision angulaire du pliage en frappe est supérieure à celle obtenue par le pliage en l'air. Ceci vient du fait que, dans le premier cas, le poinçon applique toujours la tôle au fond de la matrice, ce qui permet d'obtenir des congés aussi réduits que possible. La précision du pliage est donc directement liée à la qualité de la matrice.

Par contre, les forces mises en jeu par le pliage en frappe sont de 3 à 5 fois plus élevées que celles qui sont requises pour réaliser le même pli par la technique du pliage en l'air. C'est pourquoi le pliage en frappe est plutôt utilisé pour les tôles minces, afin d'éviter les surcharges de la presse et la formation de fissures au niveau du pli.

Remarque concernant la déformation des tabliers :

La précision de l'angle de pliage dépend directement de la pénétration

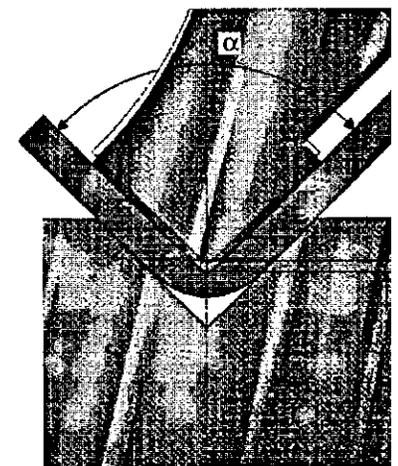


Figure 12 : Pliage en frappe

du poinçon dans la matrice, car une faible variation de la pénétration entraîne une forte variation de l'angle de pliage. Cette variation peut être occasionnée par un manque de précision de l'arrêt du tablier ou, plus rarement, par des déformations inhérentes aux tabliers. Même dans le cas des presses les plus lourdes, ces déformations sont généralement minimales et n'affectent pas de façon importante la qualité du pliage.

Lorsque ces déformations nuisent à la qualité du pliage, les opérateurs utilisent parfois des cales comme palliatif. Il va de soi que ces techniques sont empiriques et nécessitent, en plus d'une bonne expérience de travail, une connaissance préalable du problème.

2.3.2.2 Outillage

L'outil est un élément extrêmement important puisqu'il permet, s'il est choisi adéquatement, d'accomplir une tâche spécifique de façon optimale. Il serait absolument impossible de recenser tous les produits fabriqués au moyen des presses-plieres; cependant, il est relativement aisé de classer les techniques de travail liées à une catégorie de plis, donc d'outils.

La conception des outils dépend des spécifications des utilisateurs : elle est par conséquent assez variée. Dans cette section, nous proposons un survol des ensembles matrice-poinçon utilisés et proposés dans la littérature.

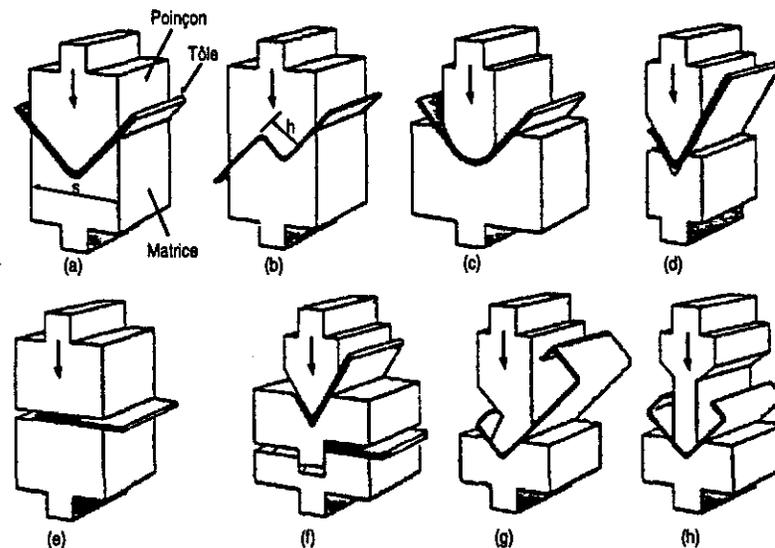


Figure 13 : Outils divers

Outils standard en forme de V

Les outils standard en forme de V (figures 13a et d) sont des outils universels. Lorsque le V présente un angle de 90°, l'angle de pliage obtenu varie généralement entre 85° et 87°. Ainsi, l'opérateur doit effectuer plusieurs réglages afin d'obtenir l'angle désiré.

La largeur conseillée de l'ouverture (s) du V (figure 13a) doit avoir, comme valeur minimale, 8 fois l'épaisseur de la tôle à transformer. Dans ce cas, le rayon intérieur du pli est approximativement égal à 5/32 de l'ouverture. Par exemple, pour plier une tôle de 1/4" d'épaisseur, l'ouverture acceptable est de 2" et le rayon intérieur est d'environ 0,31".

Les outils standard permettent d'obtenir le pli désiré en un seul coup de presse, indépendamment de la configuration ou de la dimension de la pièce, et permettent de fabriquer des boîtes, des tubes, des pièces semi-circulaires, etc.

Cependant, il est difficile de réaliser certaines pièces plus complexes par ce procédé, c'est pourquoi la plupart des utilisateurs optent pour des outils spécifiques qui correspondent mieux à la nature du travail.

Outils de formage

De façon générale, le formage est obtenu en utilisant un poinçon à bout arrondi et une matrice à 90° (voir figure 13c) dont le rayon est suffisamment large. Ces outils sont souvent utilisés pour former des pièces dont le rayon intérieur du pli est relativement large, par exemple : des tubes ou des tuyaux, des pièces semi-circulaires ou des pièces en forme de «U».

La pression exercée, qui varie selon la dimension des outils et la nature du matériau, permet à la tôle de s'enrouler autour du poinçon. Le pliage en frappe permet d'obtenir un rayon intérieur du pli qui épouse le rayon du poinçon et de la matrice. L'uniformité de l'angle de pliage dépend grandement de la régularité de l'épaisseur de la tôle à transformer.

Outils à angle aigu

Le poinçon et la matrice à angle aigu (voir figure 13d) sont utilisés pour effectuer les pliages préliminaires, qui sont des ourlets dont des angles sont inférieurs à 90°. Puisque ces outils exigent une force supérieure à celle des outils standard en V à 90°, les techniques de pliage en l'air sont souvent employées.

L'angle du pliage obtenu peut dépendre de la pénétration du poinçon dans l'ouverture de la matrice. Afin d'obtenir un angle aussi aigu que celui de la matrice, l'opérateur doit utiliser la technique du pliage en frappe. Il doit cependant observer certaines précautions, car une surpression peut fissurer le pli de la tôle et surcharger la presse-plier.

Outils d'aplatissage

Des ourlets effectués au préalable par des outils à angle aigu peuvent être aplatis ou écrasés au moyen des outils présentés à figure 13e. La combinaison des outils aigus et des outils d'aplatissage (voir figure 13f) permet d'effectuer successivement des ourlets et de les aplatis. La pression nécessaire pour aplatis un ourlet est plus élevée que celle qui est requise pour la formation de l'ourlet lui-même. Cette pression dépend entièrement de la forme finale de l'ourlet désiré, qui peut être soit partiellement fermé (figure 14a), soit complètement fermé (figure 14b).

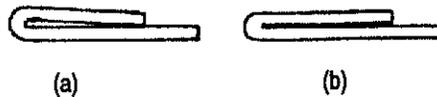


Figure 14 : Formes d'ourlets

L'usage de la combinaison d'outils (figure 13f) pour réaliser un ourlet exige une capacité de la presse de 1,5 fois supérieure à celle qui est requise pour l'utilisation d'outils standard en V à angle aigu (figure 13d).

Outils déportés

L'utilisation des outils déportés (voir figure 13b) permet d'effectuer des pliages déportés à angle droit, soit deux plis par coup de presse, en réduisant le temps de changement d'outils. Mais ces outils nécessitent une force approximativement 4 fois plus élevée que celle qui est exigée par l'utilisation d'outils en forme de V à 90°. Pour cette raison, les outils déportés sont strictement réservés à la transformation de matériaux relativement souples dont l'épaisseur est inférieure à 0,125".

Le rapport entre la profondeur (voir h, fig. 13b) du double pliage et l'épaisseur du matériau affecte la précision du pli, c'est pourquoi la profondeur du double pliage doit être au moins 6 fois plus grande que l'épaisseur de la tôle afin d'assurer un pli uniforme.

Pour des tôles plus épaisses, la profondeur ne doit pas être inférieure à 8 fois l'épaisseur de la tôle. De plus, il faut employer la technique de pliage en l'air de façon à réduire la capacité requise de la presse, mais cette technique diminue également la précision du pliage.

Outils ondulés

Les outils ondulés permettent de réaliser un ou plusieurs plis d'un même coup de presse, selon la forme de l'outil (voir figure 15). L'usage de butées est à considérer, afin d'obtenir une bonne précision de pliage.

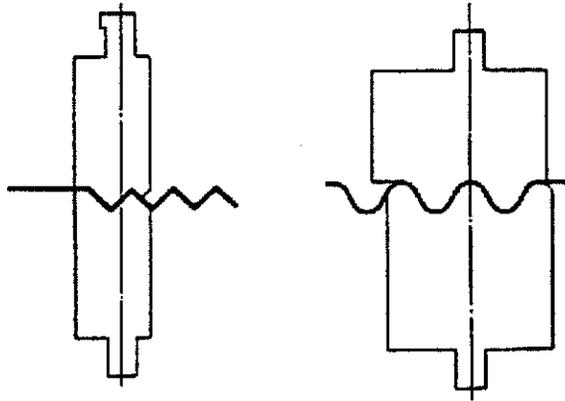


Figure 15 : Outils ondulés

Outils en forme de col de cygne ou allongés

Comme nous l'avons déjà mentionné, les poinçons de forme standard ne conviennent pas à la fabrication de certains objets dont les plis parallèles sont rapprochés, tels que des boîtes profondes ou des pièces en forme de «U». Dans ces cas, il est souhaitable d'utiliser des poinçons en forme de col de cygne (figure 13g) ou des poinçons étroits et allongés (figure 13h). Ces poinçons permettent à la tôle, comportant déjà des rebords, de se relever librement après chaque coup de presse, sans appuyer contre le poinçon ou contre le tablier. Le contact entre la tôle et le poinçon peut se traduire par une flexion au niveau de la tôle et modifier l'angle du pli précédent.

Puisque la distance maximale moyenne entre deux tabliers (*shut height*) d'une presse-plier est de 305 mm, des outils standard de 90° ne permettent que de former une boîte de 165 mm de profondeur environ. Mais un poinçon en V d'angles asymétriques respectifs de 30° et 60° permet d'obtenir une profondeur allant jusqu'à 184 mm. Pour obtenir une boîte plus profonde, il faut que la distance maximale entre les tabliers soit supérieure à la valeur standardisée. Pour chaque pouce additionnel d'espace entre les tabliers, une profondeur approximative de 16 mm peut être ajoutée à la boîte.

Outils spéciaux

Dans le cas d'un travail en série sur des pièces identiques, des outils spéciaux (figure 16) sont utilisés pour permettre de réaliser plusieurs plis par coup de presse. Les pertes de temps dues au montage et au démontage d'outils sont ainsi évitées, ce qui augmente le taux de productivité.

Ces outils exigent toutefois une pression de pliage supérieure à celle des outils standard en forme de V à 90°. Par exemple, des outils en forme de profilé structural (figure 16a) ou en forme de

«U» (figure 16b) requièrent une capacité jugée de 4 fois supérieure à celle nécessaire pour l'utilisation d'outils en forme de V à 90°.

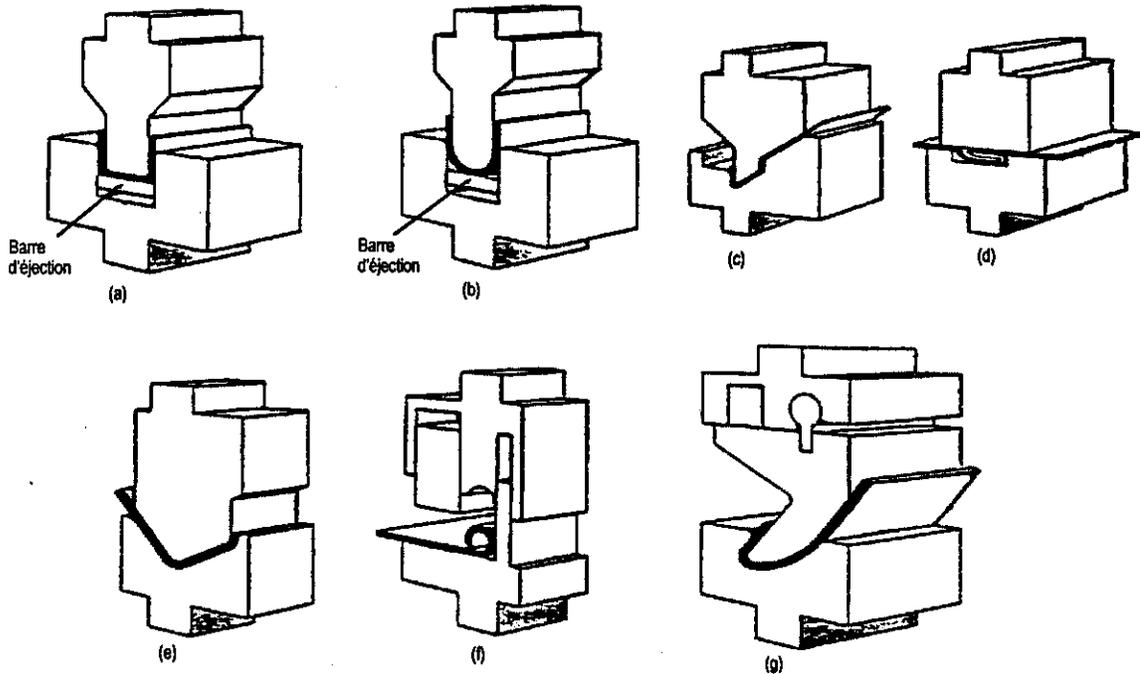


Figure 16 : Outils spéciaux

Matrices à quatre V

L'utilisation d'un bloc de matrice à quatre V permet de réduire le temps de montage et de démontage des matrices, puisqu'on ne change que la position de l'outil. La matrice à quatre V est souvent employée pour des opérations à l'unité. Quand elle est utilisée, il faut prévoir un espace suffisant pour permettre à l'opérateur de tourner le bloc.

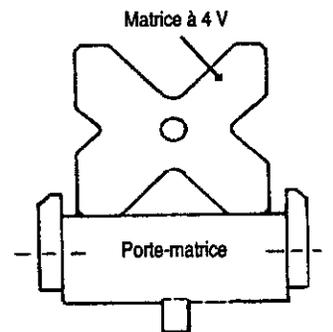


Figure 17 : Matrice à quatre V

2.3.2.3 Procédures

Les étapes de la transformation de la tôle dépendent principalement de la complexité de la pièce finale désirée. Les procédures de pliage sont optimisées par l'usage d'outils adéquats, lesquels dépendent, à leur tour, des caractéristiques de la presse-plieuse.

Afin de mieux comprendre les différentes opérations effectuées ainsi que les procédures de pliage typiques, nous présentons dans cette section divers exemples tirés de la littérature :

Exemple 1 :

Formation d'un profilé structural, d'une pièce en forme de «U» ou d'une pièce semi-circulaire par un seul coup de presse en utilisant les outils correspondants (figure 16a ou b). Dans ce cas, il faut s'assurer que la capacité de la presse-plieuse soit adéquate et que l'épaisseur et la dimension de la tôle soient appropriées. Il est nécessaire que les outils employés soient équipés d'un éjecteur à ressort, hydraulique ou autre, pour faciliter l'enlèvement de la pièce après le pliage.

L'utilisation des outils en forme de «U» peut cependant occasionner le retrait élastique du matériau. Pour pallier ce problème, une seconde opération utilisant des outils d'aplatissage est souvent nécessaire.

Quand la capacité requise excède celle de la presse, on utilise conjointement des outils de formage à 90° et la technique de pliage en l'air pour former des profilés structuraux, ou des pièces en forme de «U».

Exemple 2 :

Fabrication d'une boîte en quatre coups de presse

Les quatre coins de la tôle sont encochés en fonction de la profondeur désirée. Ensuite, on plie successivement les quatre côtés par ordre croissant de taille (figure 18). Pour une tôle mesurant 20 x 24" avec des encoches de 4", le côté de 12" doit être plié en premier et le côté de 16", en dernier. Un poinçon de 16" de long est utilisé pour plier les quatre côtés.

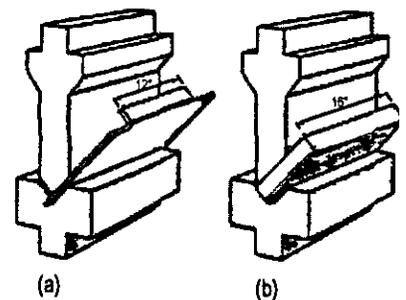


Figure 18 : Formation d'une boîte

Exemple 3 :

Formation d'un tube en utilisant des outils de formage

La formation d'un tube peut être exécutée par la technique de pliages en l'air successifs. La tôle est préalablement tracée pour faciliter le formage. L'opération commence par l'une des deux extrémités de la tôle; lorsque le demi-cercle est formé, l'opérateur fait pivoter la tôle de 180° et répète l'opération. La tôle s'enroule autour du poinçon, qui doit avoir un col assez mince pour permettre à la tôle de se fermer le plus possible. La tôle doit ensuite être dégagée par le col de cygne. Cette technique ne permet cependant pas d'obtenir une grande précision.

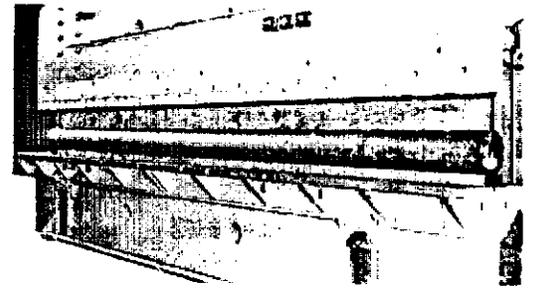


Figure 19 : Formation de longs tuyaux

Exemple 4 :

Formation d'un tube à partir de deux pièces semi-circulaires soudées ensemble

La largeur de la pièce semi-circulaire requise est de 14,5" mais chaque tôle est coupée à 18" pour permettre le parement après le formage. Le poinçon standard à bout arrondi est installé. La tôle est préalablement tracée afin de permettre à l'opérateur d'aligner l'endroit de pliage par rapport au poinçon. Le premier marquage est à 2" du bord, avec des traçages subséquents à chaque 1/2". Après plusieurs pliages en l'air successifs, l'opérateur vérifie la précision de la courbure à l'aide d'un gabarit. Lorsque le quart du cercle est formé, l'opérateur fait pivoter la pièce de 180° et continue l'opération jusqu'à l'obtention du demi-cercle. Le dernier pliage (c.à.d. le dernier coup de presse) s'exécute au centre de la pièce. Les 2" réservés à chaque extrémité de la pièce sont, ensuite, enlevés.

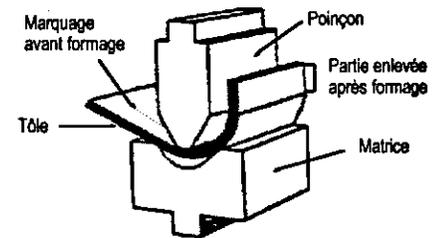


Figure 20 : Formation d'un tube en deux pièces

Exemple 5 :

La formation de petits tubes en deux opérations

Opération 1 : Donner à la tôle des courbures au moyen d'un ensemble d'outils;

Opération 2 : Fermer la tôle au moyen d'un deuxième ensemble d'outils.

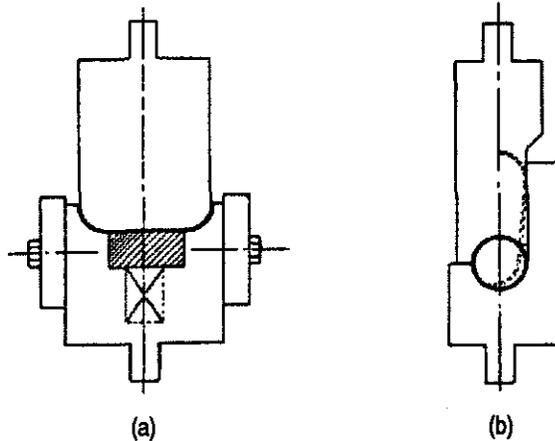


Figure 21 : Formation de petits tubes

Exemple 6 :

Un profilé structural de 10' de long est exécuté en six opérations avec six changements d'outils

Opérations 1 et 2 : Formation d'un profilé structural par des outils en même forme (fig. 22a et 22b);

Opération 3 : Formation des plis par des outils spéciaux permettant d'obtenir un angle large (fig. 22c);

Opération 4 : Formation des plis par des outils en forme de profilé structural (fig. 22d);

Opération 5 : Formation des plis par des outils standard en forme de V (fig. 22e);

Opération 6 : Formation des plis par un poinçon en forme de col de cygne ou en forme allongée (fig. 22f).

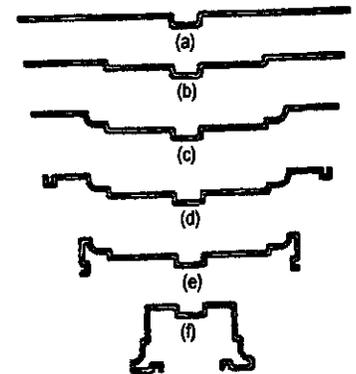


Figure 22 : Formation d'un profilé structural

Les principales difficultés rencontrées pendant ces opérations sont l'obtention d'angles de pliage de 90° aux coins, ainsi que le maintien des rebords droits sans flexion. Comme

la tôle est relativement longue, l'utilisation de cales devrait être considérée afin d'obtenir des angles de pliage constants sur toute la longueur du pli.

Exemple 7 :

Formation d'un triangle en quatre opérations

Opérations 1 et 2 : Des outils allongés sont utilisés pour former un pli de 90° et un pli de 68° (fig. 23a et 23b);

Opération 3 : Des outils étroits et allongés sont utilisés pour former un angle de 32° (fig. 23c);

Opération 4 : Réalisée au moyen d'outils spéciaux (fig. 23d).

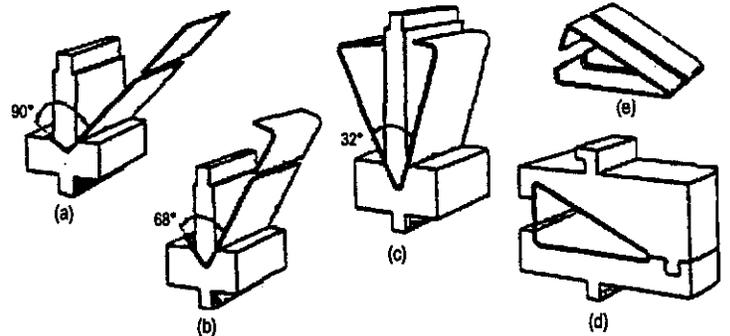


Figure 23 : Formation de triangles

Exemple 8 :

Formation de pièces rectangulaires avec des ourlets en cinq opérations

Opération 1 : Formation et aplatissage de l'ourlet (fig. 24a);

Opération 2 : Formation d'un pli de 90° (fig. 24b);

Opération 3 : Formation d'un profilé structural (fig. 24c);

Opération 4 : Fermeture d'une section de la pièce à l'aide d'un mandrin (fig. 24d);

Opération 5 : Correction du pli pour obtenir une meilleure précision (fig. 24e).

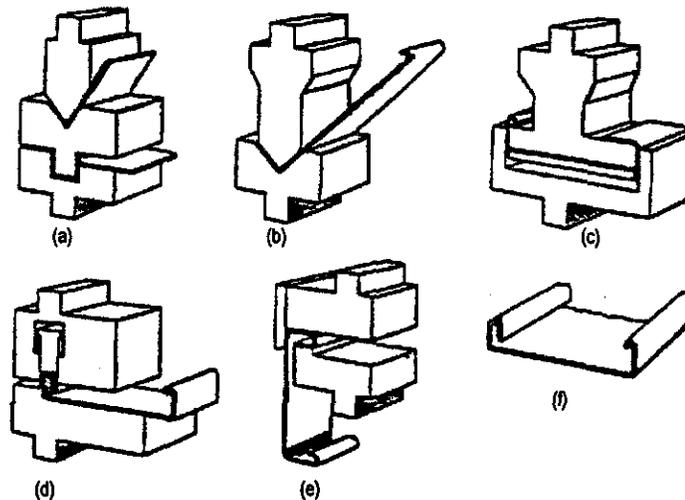


Figure 24 : Formation de pièces rectangulaires avec des ourlets en cinq opérations

Exemple 9 :

Formation de pièces rectangulaires en trois opérations

Opération 1 : Formation des plis *a* et *b*;

Opération 2 : Formation des plis *c* et *d*;

Opération 3 : Formation des plis *e* et *f*.

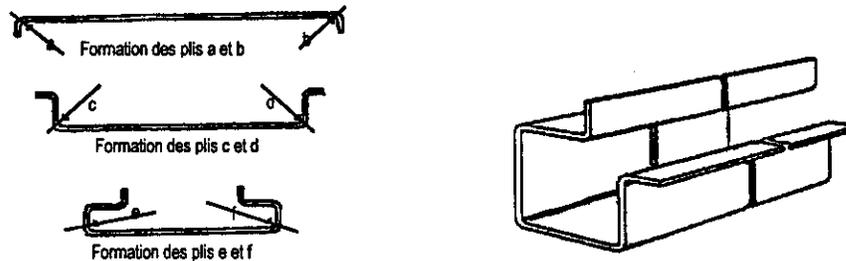


Figure 25 : Formation de pièces rectangulaires en trois opérations

2.4 Dispositifs de sécurité

Dans cette section, nous présentons les dispositifs de sécurité actuellement disponibles qui permettent d'assurer la sécurité des opérateurs de presses-plieres. Nous discutons également du domaine de validité des systèmes de protection et des exigences de la récente norme CSA-Z142-M90 (ci-après, parfois appelée la «Norme») en citant ses articles pertinents.

De façon générale, nous pouvons mentionner l'article 9.1.1.1 de la Norme, qui stipule l'utilisation obligatoire des dispositifs de protection :

Pour les presses-plieres dont l'ouverture d'accès à la zone de travail est égale ou supérieure à 6 mm (1/4"), l'utilisation des dispositifs de protection est obligatoire.

Ceci découle du fait que les presses-plieres sont des machines dangereuses dont l'utilisation comporte des risques importants d'écrasement, de cisaillement et de pincement des membres supérieurs de l'opérateur qui effectue des manipulations dans la zone dangereuse pendant que la presse est en activité.

Ces risques existent tout autour des presses, c'est pourquoi celles-ci doivent être munies de dispositifs de sécurité placés devant, derrière ou sur les côtés, afin d'interdire l'accès à la zone de danger.

Afin de protéger efficacement les opérateurs, il est indispensable de posséder une connaissance complète et rigoureuse du contexte dans lequel ils évoluent. Les éléments importants qui doivent être évalués sont les suivants :

- type de presse-plieuse (connaissance approfondie de la machine);
- type et cadence du travail envisagé;
- connaissance du produit à fabriquer et des méthodes de travail préconisées.

Par exemple : - Des pliages en petite quantité ou à l'unité nécessitent des changements d'outils fréquents, contrairement aux opérations en grande quantité ou en série.

- L'opérateur se trouve soit éloigné, soit à proximité de la zone de danger, suivant les dimensions de la pièce à plier et la position du pliage.

Nous pouvons citer de façon globale les articles 9.1.1.1 et 9.1.1.2 de la Norme, qui stipulent les exigences générales auxquelles doivent satisfaire les dispositifs de protection.

- Les dispositifs de protection doivent :

- empêcher les mains, les bras ou toute autre partie du corps du travailleur d'entrer en contact avec des pièces mobiles dangereuses; ou exiger l'utilisation constante des deux mains sur les deux commandes pendant la fermeture de l'outil;
- n'être pas amovibles ni s'altérer ou pouvoir être contournés facilement; être utilisés conjointement avec d'autres dispositifs de protection lorsqu'une seule commande est utilisée;
- être fixés solidement à la machine;
- être durables et pouvoir résister aux conditions d'utilisation normales;
- ne pas engendrer un nouveau danger.

- Les commandes doivent être placées de façon à permettre à l'opérateur de voir les points d'opération. Si plusieurs opérateurs travaillent sur la même presse, les commandes doivent être multiples afin que chaque opérateur bénéficie du même degré de protection.

Dans la section suivante, nous décrivons le mode de fonctionnement des différents protecteurs existants, en indiquant leurs avantages et inconvénients, et surtout les limites de validité de chacun.

D'emblée, nous pouvons scinder en deux approches les solutions proposées au problème de la protection :

- la première consiste à protéger l'opérateur en l'éloignant de la zone de danger ou en causant le retrait d'une partie de son corps de la zone de danger;

- la seconde consiste à *interdire l'accès à la zone de danger* au moyen d'un barrage matériel ou immatériel.

2.4.1 Protection par éloignement de la zone de danger

Les dispositifs de commande à deux mains sont conçus pour protéger les mains de l'opérateur durant la course descendante du coulisseau à la suite d'un cycle actionné délibérément. La protection vient du fait que les mains sont occupées hors de la zone de danger pendant ce temps.

Ce type de protection est très simple et facile à entretenir, mais il protège uniquement l'opérateur et aucunement les tiers. Il doit être complété en rendant matériellement impossible l'accès aux côtés et à l'arrière de la machine.

En ce qui concerne la presse à embrayage positif, on appelle son système de protection un dispositif de déclenchement à deux mains. Ceci vient du fait que, une fois que les commandes sont actionnées, l'embrayage est engagé et un cycle complet est déclenché sans interruption possible.

Nous présentons ci-après les exigences de sécurité édictées par la Norme. On notera que les articles cités tiennent compte de différents aspects du problème, comme le type de presse-pleieuse, la conception de la commande, etc.

- *Les commandes doivent être conçues et installées selon les règles de l'ergonomie (article 9.5.7).*
- *Un dispositif de commande à deux mains exige l'usage simultané des deux mains de l'opérateur sur les commandes pour mettre la presse en marche (article 9.5.1).*
- *Les deux boutons de commande doivent être assez loin l'un de l'autre ou placés de telle sorte qu'ils ne puissent être manipulés qu'avec les deux mains ou les doigts des deux mains; de plus, ces commandes doivent être protégées par des barrières de façon à ce que l'opérateur ne puisse les actionner par inadvertance ou à l'aide d'une main et d'une autre partie de son corps (article 9.5.4).*
- *Le système de commande doit comporter un dispositif d'antirépétition. L'opérateur doit relâcher les deux boutons et appuyer de nouveau pour mettre la machine en marche (article 9.5.3).*
- *Le dispositif de déclenchement à deux mains ne doit pas être utilisé comme système de sécurité sur une presse à embrayage positif fonctionnant à moins de 100 coups/minute (article 9.5.2). Ces presses doivent donc avoir un système de protection supplémentaire (voir note 1, infra).*
- *Les commandes à deux mains peuvent être utilisées et considérées comme une protection sur les presses à embrayage à friction dont la cadence est inférieure à 100 coups/minute, à condition que la pression*

des deux mains sur les boutons soit requise pendant la descente du coulisseau (article 9.5.1 b) (voir note 2, infra).

- *Les circuits auxiliaires de commande, les bobines d'électrovannes, etc. ne doivent être alimentés que par un transformateur câblé à l'intérieur de l'alimentation principale du moteur (article 5.1.4).*

Note 1 : Ce mode de protection est basé sur le principe qu'au moment où la main atteint la zone dangereuse, le point de pincement n'existe plus car le poinçon aura déjà atteint son point mort bas. Il est important de noter que ce principe est basé sur une vitesse théorique de la main de 1,63 m/s —une vitesse sérieusement contestée par de récentes études—, qui intervient dans le calcul de la distance sécuritaire entre le point de pincement et le déclencheur à deux mains.

Note 2 : Ce mode de protection est basé sur l'arrêt du coulisseau avant que la main ait atteint la zone dangereuse. Ce mode de protection exige la connaissance de plusieurs paramètres, qui sont : la cadence de la presse (plus elle est élevée, plus le temps d'arrêt sera élevé), la vitesse de la main et la distance entre le point de pincement et la commande à deux mains.

2.4.2 Protection par retrait d'une partie du corps

Ce type de dispositif de protection a pour but de retenir les mains ou le corps de l'opérateur à l'écart de la zone de danger pendant la phase dangereuse liée à la course descendante de l'élément mobile. Dans certains cas, si l'opérateur tente d'atteindre le point de pincement, cela entraîne l'arrêt du tablier mobile. Ces dispositifs ne protégeant que l'opérateur, l'utilisation des gardes complémentaires est requise pour assurer la protection des tiers qui évoluent devant, sur les côtés et derrière la machine.

Les protecteurs à bracelets sont utilisés principalement lors d'opérations secondaires où l'opérateur doit placer manuellement les pièces sur la matrice. Ces protecteurs se subdivisent en deux catégories :

- les dispositifs de rappel des mains («pull-back») (figure 26);
- les dispositifs d'entrave (figure 27).

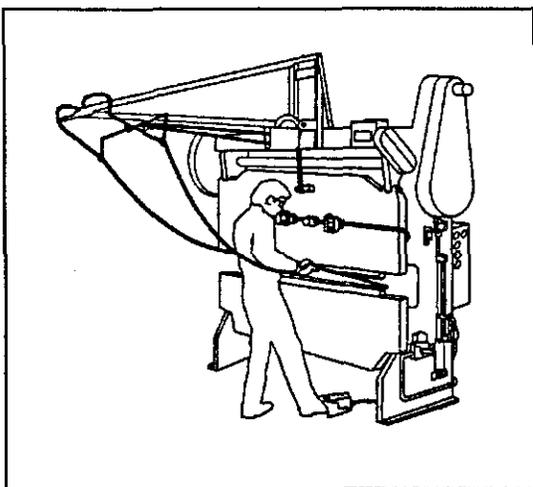


Figure 26 : Dispositif de rappel des mains

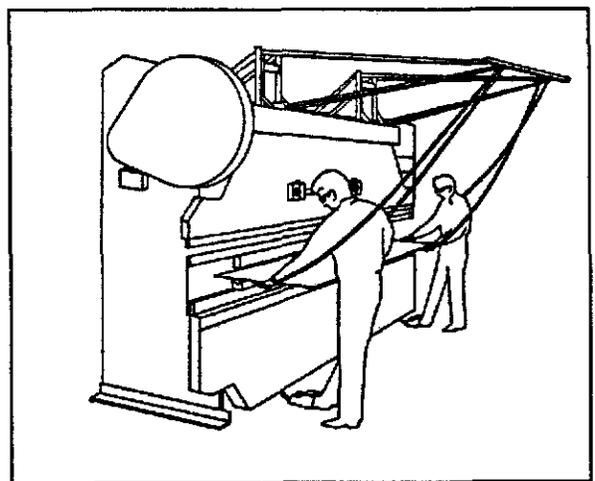


Figure 27 : Dispositif d'entrave

Dispositif de rappel des mains (figure 26)

Ce dispositif est relié mécaniquement d'un côté au coulisseau et de l'autre, aux mains de l'opérateur. L'abaissement du coulisseau provoque un retrait automatique des mains de la zone dangereuse par l'intermédiaire d'un mouvement de traction des câbles reliés aux bracelets.

Exigences de la Norme

Les dispositifs de rappel des mains doivent protéger l'opérateur en lui retirant automatiquement les mains de la zone de danger avant la fermeture de la matrice (article 9.4.1).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Peut être couplé à tout type de presse-plieuse.• Facile à installer et peu coûteux.• Procure une bonne protection par retrait des mains de l'opérateur, indépendamment de la raison qui a causé la descente du coulisseau.	<ul style="list-style-type: none">• Requier un entretien soigné.• Ajustement délicat pour chaque opérateur afin de répondre aux exigences de sécurité (article 9.4.2). L'ajustement doit également tenir compte de la course du coulisseau.• Les mains de l'opérateur ne peuvent s'extraire rapidement du dispositif en cas d'urgence.• L'autonomie de l'opérateur est très restreinte.

Exigences liées à la production

L'utilisation des dispositifs de rappel des mains est adaptée à des opérations en série, sur des feuilles de petites et moyennes dimensions.

Dispositif d'entrave (figure 27)

Ce dispositif est relié d'un côté à un support fixe, et de l'autre, aux mains de l'opérateur. Le dispositif est ajusté pour que le bout des doigts respecte une distance minimale de sécurité avec le point de pincement le plus rapproché de l'opérateur.

Exigences de la Norme

Les dispositifs d'entrave doivent protéger l'opérateur en retenant ses mains pour les empêcher d'atteindre le point de pincement (article 9.4.2).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Peut être couplé à tout type de presse-plieuse.• Facile à installer et peu coûteux.	<ul style="list-style-type: none">• Requier un entretien soigné.• Ajustement délicat pour chaque opérateur afin de répondre aux exigences de sécurité (article 9.4.2).• Les mains de l'opérateur ne peuvent s'extraire rapidement du dispositif en cas d'urgence.• L'autonomie de l'opérateur est très restreinte.

Exigences liées à la production

L'utilisation des dispositifs d'entrave est adaptée à des opérations en série, sur des tôles de moyennes et de grandes dimensions.

Ces dispositifs de sécurité ne protègent que les opérateurs affectés à la presse et non les tiers. Ils nécessitent de nombreux ajustements et un entretien régulier, desquels dépend la sécurité des opérateurs. L'efficacité de ces dispositifs dépend de la constance de leur utilisation ainsi que des conditions spécifiques d'aménagement du poste de travail et de l'outillage.

2.4.3 Protection par interdiction d'accès à la zone de danger

La protection par interdiction d'accès à la zone de danger se divise en deux catégories distinctes, selon la nature du barrage :

- matériel (obstacle ou barrière);
- immatériel (détecteur de présence).

2.4.3.1 Barrages matériels

Les dispositifs de protection par obstacle consistent à éliminer le risque par l'installation de gardes physiques placés devant, derrière ou sur les côtés de la presse, de façon à empêcher toute personne d'entrer en contact, volontairement ou non, avec les points de pincement de la machine. Dans le tableau suivant, nous avons regroupé différents types de gardes proposés dans la littérature, en indiquant, outre le principe de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients.

Les articles pertinents de la Norme en ce qui a trait aux barrages matériels peuvent se résumer comme suit :

La Norme stipule que :

- *un écran mobile amovible ou sur charnières doit être couplé pour qu'un coup de presse ne puisse se déclencher lorsqu'il est ouvert;*
- *sur une presse à embrayage positif, cet écran doit être fermé et verrouillé;*
- *pour une presse à embrayage à friction, l'ouverture de l'écran doit empêcher la presse de se déclencher (article 9.3.2);*
- *un dispositif à un coup doit être utilisé sur une presse à embrayage positif (article 9.3.3);*
- *un écran mobile ne doit pas comporter de mécanisme d'accouplement ou de fermeture qui pourrait blesser l'opérateur (article 9.3.4).*

Protecteur grillagé verrouillant l'embrayage

Ce dispositif se compose de deux écrans grillagés, l'un supérieur fixe et l'autre inférieur mobile. Ce dernier est relié au mécanisme d'embrayage de la machine. Une action sur la pédale de commande relève l'écran mobile jusqu'à une hauteur préalablement ajustée, jusqu'à ce que l'ouverture ne permette plus que l'introduction de la tôle. L'écran ne peut pas être abaissé tant que la pédale est actionnée.

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Procure une excellente protection sur les presses mécaniques munies d'une pédale mécanique (tige et tringle).	<ul style="list-style-type: none">• Restreint la liberté de mouvement de l'opérateur.• Réduit la visibilité.• Est encombrant.• Est souvent incompatible avec les exigences de la production (petites tôles uniquement).

Écran basculant

Cet écran, appelé *PMG Brakelock Guard* et fabriqué par une firme anglaise, est actionné par des moyens purement mécaniques. En position de sécurité, l'écran permet l'introduction des tôles planes. S'il est écarté de cette position, la commande de fonctionnement devient impossible. Lors du pliage occasionnant le relèvement de la tôle, l'écran bascule en se rapprochant du tablier supérieur; après la remontée du coulisseau, la pièce pliée et l'écran peuvent être déplacés librement vers l'avant de la machine.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Peut être installé sur toutes les presses-plieres dont le tablier supérieur est mobile.• Procure une excellente protection.	<ul style="list-style-type: none">• Restreint la liberté de mouvement de l'opérateur.• Réduit la visibilité.• Est encombrant.• Ne s'adapte pas aux exigences de la production (plis parallèles seulement).

Écran palpeur

Le dispositif de protection le plus souvent employé est constitué d'un écran palpeur qui précède l'outil et qui l'arrête s'il rencontre un obstacle sur son passage. Cet écran palpeur, lié mécaniquement à l'outil, remonte immédiatement vers son point mort haut dès que l'outil entre en contact avec la pièce à plier.

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Balaie la zone dangereuse avant d'effectuer le pliage de la tôle.	<ul style="list-style-type: none">• Utilisation restreinte aux presses mécaniques.• Réglages difficiles.• Ne s'adapte pas aux exigences de la production (plis parallèles seulement).

2.4.3.2 Barrages immatériels

Un barrage immatériel est un dispositif de protection basé sur le principe de la détection de présence d'une partie du corps humain dans un espace déterminé. Ce dispositif est conçu de façon à ce que la presse ne puisse pas fonctionner si une personne se trouve à l'intérieur de la zone dangereuse. Le principe le plus utilisé sur les presses-plier est de générer un rideau lumineux à la limite de la zone dangereuse. Ce rideau est généralement obtenu par des cellules photoélectriques infrarouges ou, plus rarement, par un générateur laser.

Principe

Ce type de dispositif de protection est composé de deux unités : un émetteur et un récepteur à infrarouges. L'émetteur émet les rayons infrarouges et le récepteur détecte la présence ou l'absence de ces derniers. Ainsi, plusieurs cellules individuelles sont disposées verticalement ou horizontalement à l'avant de la presse et génèrent autant de rayons parallèles, formant ainsi un rideau de lumière. La rupture d'un seul de ces faisceaux en un point quelconque est immédiatement détectée par le récepteur et commande l'arrêt de la presse.

C'est pour cette raison que ce dispositif ne peut être utilisé que sur les machines équipées d'un embrayage à friction, ou sur celles dotées d'un frein permettant l'arrêt en n'importe quel point de la course de l'élément mobile avant que l'opérateur ne puisse atteindre la zone de danger.

Sur ce point, la Norme stipule que l'utilisation d'un barrage immatériel sur les presses à embrayage positif est prohibée (article 9.6.3), ces machines ne s'arrêtant qu'à la fin d'une révolution complète. Cependant, ce dispositif est considéré comme acceptable pour les presses à embrayage à friction.

Le barrage immatériel est particulièrement adapté au fonctionnement de la presse en mode séquence (voir 2.1.4), qui scinde la phase de descente du coulisseau en deux séquences, l'une dangereuse et l'autre sécuritaire. Dans ce contexte, lors de la première séquence, les cellules du rideau de lumière sont activées jusqu'à ce que le coulisseau s'immobilise en laissant entre le poinçon et la matrice une ouverture de 6 mm (1/4"), qui est jugée sans danger par la Norme.

Le dispositif de détection est alors inhibé pendant la séquence de pliage et pendant le retour du tablier à son point mort initial.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • N'obstrue pas le champ de vision de l'opérateur. • Permet l'accès à la machine. • Protège les membres de l'opérateur en toutes circonstances, même lors de l'utilisation d'une commande à pédale. • Protège également les tiers. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité du dispositif dépend de la distance du rideau de lumière par rapport au point de pincement et du temps d'arrêt de la presse. • Le temps de réponse du dispositif de détection doit également être pris en compte. • Vérification fréquente du temps d'arrêt de la presse. • Ne protège pas contre les pannes mécaniques (dispositif d'antirépétition).

Le tableau ci-dessus expose clairement les aspects positifs et les aspects négatifs d'un tel dispositif de protection. Le point le plus délicat est sans conteste celui de la détermination de la distance sécuritaire du rideau de lumière par rapport au point de pincement.

La détermination exacte de cette distance demande une connaissance préalable des paramètres suivants :

- le temps de réponse du dispositif de détection;
- le temps d'immobilisation total du coulisseau;
- la vitesse de la main à l'entrée de la zone dangereuse.

Les deux premiers paramètres sont des données techniques que l'on estime constantes, à condition que l'entretien de la machine soit régulier et rigoureux.

En effet, le temps d'arrêt de la presse doit être déterminé par une méthode dont l'exactitude est reconnue ou au moyen d'un appareil de mesure fiable et précis. Il est essentiel de vérifier périodiquement le temps d'arrêt de la machine afin de s'assurer que la distance sécuritaire soit toujours valable et qu'elle respecte tous les critères de sécurité.

Pour des machines dont le temps d'arrêt est trop important, le barrage immatériel devient inutile car la distance sécuritaire sera trop grande, de telle sorte qu'elle empêchera l'opérateur de travailler.

Vitesse de la main

La constante utilisée pour la vitesse de la main est une donnée empirique dont la valeur numérique de 160 cm/s est actuellement fortement contestée dans plusieurs pays industrialisés.

La Norme stipule que :

L'étendue du barrage immatériel (distance qui sépare le rideau de lumière du point de pincement) doit être supérieure à celle que l'on obtient en utilisant la formule suivante :

$$D = 160 \text{ [cm/s]} \times T \text{ [s]} \quad \text{où :}$$

D : Distance minimale entre le point de pincement et le rideau de lumière [cm]

T : Temps d'arrêt de la presse en secondes [s]

160 cm/s : Constante de la vitesse de la main (déplacement de la main en une seconde)

Exemple : $T = 0,055 \text{ s (ou } 55 \text{ ms)}$; $D = 8,8 \text{ cm (} 3\frac{1}{2}\text{")}$

$T = 0,325 \text{ s (ou } 325 \text{ ms)}$; $D = 52 \text{ cm (} 20\frac{1}{2}\text{")}$

Inconsistance de la Norme

Tel qu'il est mentionné ci-haut, la distance sécuritaire se calcule à partir d'une vitesse de la main de 160 cm/s et du temps d'arrêt de la machine. Mais plusieurs études ont démontré que la vitesse de la main peut atteindre une valeur bien supérieure à 160 cm/s.

Dans le rapport intitulé *Évaluation des risques associés à l'utilisation des presses à métal dans l'industrie québécoise*, préparé par Bélanger, Massé, Tellier, Bourbonnière et Sirard (1994), nous trouvons une synthèse d'articles faisant le point sur la détermination de la vitesse de la main.

On peut y lire ce qui suit :

«...la vitesse de la main peut atteindre plus de 3 m/s. Ainsi, les chercheurs Pizatella et al. concluent dans leur étude, en considérant le 95^e percentile de la population visée, que la vitesse de la main de 3 m/s devrait être retenue dans le calcul des distance sécuritaires. Par ailleurs, l'étude française obtient même des vitesses de la main variant entre 4,5 et 6,1 m/s, mesurées selon différentes trajectoires et positions du corps par rapport à la machine. La vitesse de 4,5 m/s représente la vitesse maximum de la main d'un opérateur, mesurée lors d'essais

effectués à l'aide d'un barrage immatériel; dans ce cas, la vitesse initiale, mesurée au moment d'entrer dans la zone de détection du barrage immatériel, était non-nulle. La vitesse de 6,1 m/s est atteinte lorsque l'opérateur adopte une position de travail latérale par rapport à la machine... Enfin, seules les études américaines ont procédé à des essais selon une trajectoire où l'opérateur se trouve face à la machine et avance ses mains selon une trajectoire rectiligne devant lui; cette mesure donne une vitesse moyenne de 2,13 m/s et une vitesse maximum de près de 5 m/s.»

On voit par là combien la valeur de 160 cm/s pour la vitesse de la main, dictée par la Norme, est inconsistante et dépassée. Cependant, toute l'efficacité du dispositif de protection par cellules photoélectriques dépend de la détermination exacte de cette valeur.

Nous pouvons également citer un document préparé par *Health and Safety Executive, HMSO 1984*, intitulé «*Press Brakes*», dans lequel une vitesse de la main de 180 cm/s est employée. La formule utilisée intègre non seulement la vitesse de la main et le temps d'arrêt de la presse (augmenté du temps de réponse propre du système électronique couplé aux cellules photoélectriques lors de la détection d'un objet), mais également la capacité de détection d'un objet par le dispositif photoélectrique.

$$D = 1,8 \times T + P \quad \text{où}$$

- D : Distance minimale entre le point de pincement et le rideau de lumière [mm];
- 1,8 : Vitesse de la main [m/s ou mm/ms];
- P : La plus grande des deux valeurs $P=150$ mm et $P=3,4 (S - 7)$;
- T : 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 présence d'un objet dans la zone dangereuse jusqu'à l'arrêt complet du tablier [ms];
- S : Capacité de détection d'objet du dispositif photoélectrique [mm] («*Minimum Object Sensitivity*» ou M.O.S).
- Pour $S \leq 7$, $P = 0$, la formule devient : $D = T \times 1,8$

Paramètres	Exemple 1	Exemple 2
Temps d'arrêt :	350 ms	350 ms
S :	6 mm	38 mm
P :	0	105,4 mm
D :	630 mm	735,4 mm

Configuration du dispositif photoélectrique

Un autre paramètre important à prendre en considération est la configuration du dispositif photoélectrique. En effet, l'installation du module de détection peut se faire de différentes manières : celui-ci peut être soit vertical, soit horizontal, soit incliné, ce qui produit, respectivement, un rideau de lumière vertical, horizontal ou incliné. Ce choix dépend essentiellement des dimensions de la matière à transformer, de la nature du travail ainsi que des exigences de l'utilisateur.

Rideau vertical	Rideau horizontal
<p style="text-align: center;">Avantages</p> <p>Le rideau vertical, installé près de l'outil, permet de réaliser des pliages de tôles de petites dimensions qui nécessitent la présence de l'opérateur près de la machine pendant la phase dangereuse.</p>	<p style="text-align: center;">Avantages</p> <p>Le rideau horizontal est efficace lors de la réalisation de plis parallèles ou de boîtes, pourvu que la pièce soit assez grande pour être manipulée tout en gardant l'opérateur éloigné du point de pincement.</p>
<p style="text-align: center;">Restrictions</p> <p>Cette configuration ne convient pas pour plier des pièces qui comportent déjà des plis latéraux vers le haut (plis perpendiculaires) susceptibles d'interférer avec le rideau lumineux avant le pliage.</p>	<p style="text-align: center;">Restrictions</p> <p>Ce rideau, qui constitue une protection par éloignement, n'est pas efficace pour des petites pièces qui doivent être maintenues pendant la descente du tablier, car la présence de l'opérateur interfère avec le rideau de lumière et interrompt le cycle de la machine.</p>
<p style="text-align: center;">Exigences</p> <p>Pour obtenir une protection adéquate, la hauteur du tablier inférieur de la machine (voir A, fig. 28) et la dimension du rideau de lumière doivent correspondre aux dimensions mentionnées dans le tableau 4.</p> <p>La distance minimale entre le point de pincement et le dispositif doit être déterminée à partir de la formule mentionnée ci-haut.</p>	<p style="text-align: center;">Exigences</p> <p>La capacité de détection d'un objet doit être égale ou inférieure à 177 mm.</p> <p>La distance minimale entre le point de pincement et le point le plus éloigné du rideau de lumière doit être maintenue à 1050 mm lorsque le temps d'arrêt total est ≤ 200 ms.</p> <p>Si le temps d'arrêt total est >200 ms, une distance de 18 mm doit être ajoutée pour chaque 10 millisecondes supplémentaires.</p>

Le rideau photoélectrique peut également être incliné, soit vers la machine, soit vers l'opérateur. L'angle d'inclinaison doit être inférieur à 30° par rapport à la verticale. La distance sécuritaire minimum (D) doit être calculée avec la formule déjà mentionnée.

Tableau 4 : Emplacement et dimensions du rideau vertical			
Hauteur du tablier inférieur (A)	Point le plus bas (B)	Point le plus haut (E)	Hauteur effective minimum (C)
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
800	750	1350	600
801 à 900	800	1400	600
901 à 1000	850	1450	600
1001 à 1100	900	1500	600

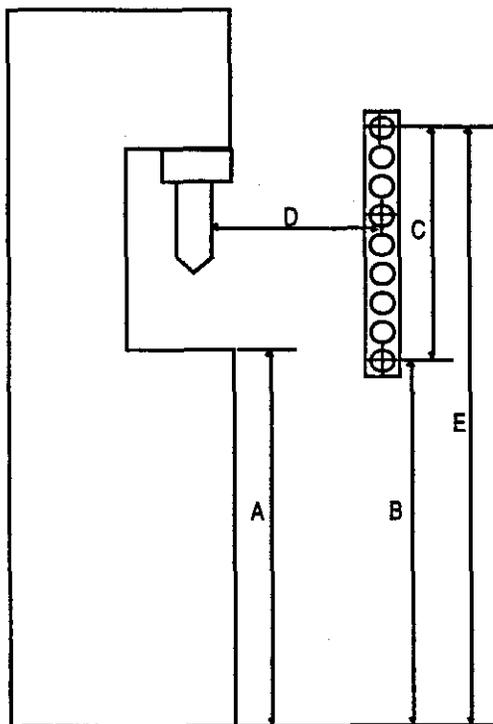


Figure 28 : Rideau vertical

- D : Distance sécuritaire entre le point de pincement et le rideau de lumière.
- A : Hauteur du tablier inférieur, avant l'installation de la matrice.
- B : Point le plus bas du dispositif photoélectrique (la plus basse cellule).
- E : Point le plus haut du dispositif photoélectrique (la plus haute cellule).
- C : Hauteur effective du dispositif photoélectrique.
- Les hauteurs A, B et E sont mesurées à partir du niveau où se trouve l'opérateur.

Exemple : Si l'opérateur se trouve sur un couvre-sol, il faut mesurer A, B et E à partir du couvre-sol.

- Quand la hauteur du tablier (A) est inférieure à 800 mm, il faut augmenter la hauteur effective (C) du rideau de lumière.

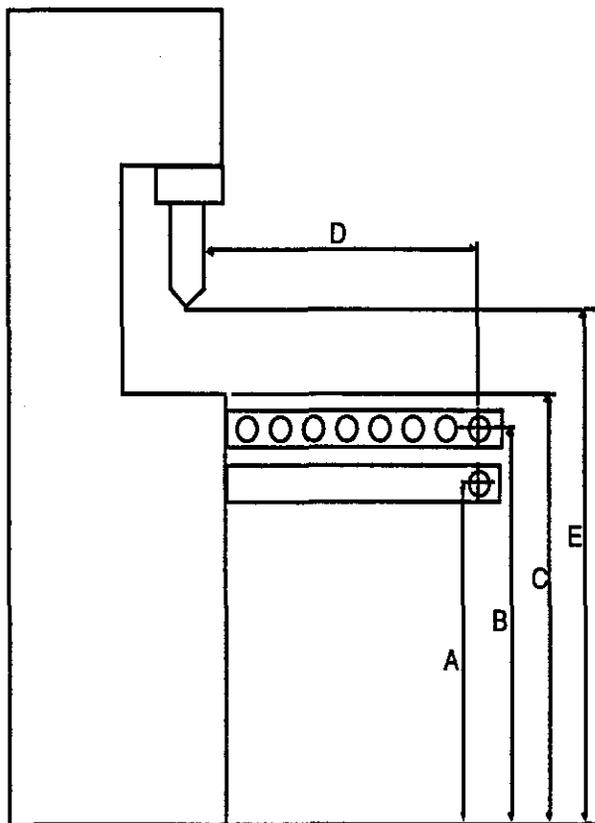


Figure 29 : Rideau horizontal

- **D** : Distance sécuritaire entre le point de pincement et le rideau de lumière.
- **C** : Hauteur du tablier inférieur, avant l'installation de la matrice.
- La hauteur minimale du dispositif photoélectrique (**A**) est 750 mm et la hauteur maximale du dispositif photoélectrique (**B**) est 25 mm de moins que la hauteur du tablier inférieur de la machine (**C**).

*Par exemple : Si la hauteur du tablier inférieur (**C**) est 900 mm, le rideau de lumière doit être installé entre 750 mm et 875 mm.*

Pour une machine dont la hauteur du tablier inférieur est moindre que 800 mm ou lorsque le plus haut point de pincement (**E**) est supérieur à 1200 mm, il faut augmenter la distance sécuritaire (**D**).

2.4.4 Conclusion

Dans cette section, nous avons inventorié et analysé les dispositifs de sécurité actuellement disponibles sur le marché et qui sont destinés à fournir aux opérateurs une protection aussi fiable que possible.

Cependant, il ressort de cette étude que, compte tenu de la grande diversité d'exigences liées à la production, aucun de ces dispositifs ne peut prétendre à lui seul assurer efficacement la sécurité d'un opérateur de presse-plier dans toutes les phases de fabrication des pièces.

Nous avons également relevé des éléments de la Norme qui sont inconsistants par rapport à des recherches et publications récentes, notamment ce qui a trait à des paramètres, tels la vitesse de la main et le temps d'arrêt de la presse, qui interviennent de façon fondamentale dans l'évaluation de la sécurité des opérateurs dans la zone de danger d'une presse-plier.

De plus, si les dispositifs de sécurité actuels concentrent leur efficacité de protection sur l'avant de la machine, nous ne devons pas omettre les dangers qui existent sur les côtés ainsi qu'à l'arrière de la presse, que ce soit pour l'opérateur ou des tiers.

2.4.5 Protection sur les côtés et à l'arrière de la presse-plier

Les côtés du col de cygne sont aisément accessibles, ce qui présente des risques importants, notamment lorsque les outils sont de grandes dimensions. Il faut donc viser à rendre inaccessibles les côtés du col de cygne, en prévoyant toutefois un accès facile lorsque cela est nécessaire : pour le montage des outillages, le travail en bout, le travail sur des pièces qui dépassent le gabarit de la machine ou, dans certains cas, pour permettre un dégagement latéral. À cet effet, on installera des écrans montés sur charnières et verrouillés par des serrures. L'ouverture des écrans demande une opération volontaire qui doit être réalisée sous le contrôle d'un responsable, au même titre que tout changement de fonctionnement à l'aide d'un sélecteur verrouillé par une clé.

Les risques présents à l'arrière d'une presse-plier sont liés à la fermeture des outils et, le cas échéant, à des accessoires motorisés tels que des butées automatiques. Les moyens de protection correspondant aux risques des outils doivent non seulement assurer le degré de sécurité requis, mais aussi permettre certaines interventions nécessaires quoique peu fréquentes (accompagnement des pièces de grandes dimensions, récupération des pièces, réglage des butées, etc.). Parmi ces moyens de protection, il faut citer : les grilles équipées d'un portillon avec un système de verrouillage du fonctionnement de la presse, les barres fixes ou les commandes de sécurité à déclenchement automatique (exemple, barre sensible), les tapis de sécurité, etc.

2.4.6 Protection individuelle

La manipulation des tôles sur les presses-plier présente des risques, à cause du poids des tôles et de leurs arêtes coupantes. Lorsque les dispositifs de sécurité et autres systèmes de commande techniques ne peuvent protéger adéquatement l'employé, l'équipement de protection individuelle approprié doit être utilisé, selon la nature du danger (article 10 de la Norme). Les opérateurs porteront alors des gants de protection et des chaussures de sécurité à bout renforcé par une coquille métallique incorporée, des lunettes de sécurité et, lorsque le bruit excède le niveau maximum admissible, un protecteur auditif.

3. PRESSES-PLIEUSES DU SECTEUR : INVENTAIRE ET ÉVALUATION

Dans cette section, nous présentons l'information recueillie au cours des deux phases d'étude suivantes :

1. le sondage par questionnaire;
2. les observations et entrevues lors des visites industrielles.

Les résultats de chaque phase sont présentés dans l'ordre suivant :

- renseignements sur les presses-plieuses (types, caractéristiques, etc.);
- méthodes et techniques de travail, accessoires, etc.;
- dispositifs et moyens de protection.

Par la suite, nous proposons une analyse comparative des données générales issues du sondage et des visites effectuées dans les mêmes entreprises. Cette comparaison vise surtout à évaluer le taux de fiabilité que l'on peut accorder aux résultats obtenus par sondage.

Cette partie est suivie d'une analyse globale de la sécurité et de la protection des opérateurs de presses-plieuses (ou de toute autre personne se trouvant à proximité des zones de danger de ces machines), à partir des données recueillies lors des visites en entreprise. Afin de bien isoler les différentes sources de danger qui peuvent accroître le risque d'accidents, nous scindons notre étude en trois parties :

1. La première traite de la presse-plieuse en tant que machine, de ses caractéristiques propres ainsi que des accessoires qui lui sont ajoutés;
2. La seconde traite des méthodes de fabrication et des techniques de travail; et
3. La dernière aborde les dispositifs de protection mis en oeuvre dans différents contextes de fabrication.

Nos analyses s'appuient sur une comparaison des données recueillies des visites (observations et entrevues) par rapport aux méthodes et techniques de travail préconisées dans la littérature spécialisée ainsi qu'aux exigences de sécurité stipulées par la réglementation en vigueur et la norme CSA-Z142-M90.

3.1 Résultats des questionnaires

Au début du mois de janvier 1994, 718 questionnaires ont été envoyés à l'ensemble des établissements du secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines. 25 % des questionnaires (183) nous ont été retournés. Parmi toutes ces réponses, nous avons recensé 114 entreprises utilisant effectivement des presses-plieuses. Le nombre de celles-ci varie entre 1 et 8 selon les entreprises, avec une moyenne de 1,8 machine par établissement. De façon plus précise, notre étude portera sur un nombre total de 207 presses-plieuses qui sont utilisées dans différentes entreprises du secteur pour diverses opérations.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons la synthèse de ces résultats, résumés sous forme de tableaux.

3.1.1 Les presses-plieuses

3.1.1.1 Types

Les données recueillies à l'aide des questionnaires montrent à l'évidence que la majorité des presses-plieuses utilisées sont hydrauliques : soit 76 %, contre 24 % qui sont de type mécanique. Le tableau 5 présente cette répartition en donnant des informations intéressantes sur les types d'embrayage dans le cas des presses mécaniques et sur l'utilisation éventuelle d'une commande numérique.

Tableau 5 : Types de presses-plieuses utilisées					
Presse-pieuse mécanique (24 %)			Presse-pieuse hydraulique (76 %)		
Embrayage à friction Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique		Total
Oui	Non		Oui	Non	
12	25	12	57	101	207
6 %	12 %	6 %	27 %	49 %	100 %

3.1.1.2 Caractéristiques

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des presses-plieses.

Tableau 6 : Caractéristiques des presses-plieses								
Presse-pliese mécanique				Presse-pliese hydraulique		Total		
Embrayage à friction		Embrayage positif	Commande numérique		Nb			%
Commande numérique			Oui	Non				
	Oui	Non		Oui	Non			
Année du modèle								
Avant 1976	12 (5,8 %)	21 (10,1 %)	11 (5,3 %)	8 (3,9 %)	48 (23,2 %)	100	48,3	
1976 - 1990	0	4 (1,9 %)	1 (0,5 %)	31 (15,0 %)	51 (24,6 %)	87	42,0	
Après 1990	0	0	0	18 (8,7 %)	2 (1,0 %)	20	9,7	
Capacité								
< 50 tonnes	2 (1,0 %)	4 (2,0 %)	1 (0,5 %)	6 (2,9 %)	18 (8,7 %)	31	15,0	
50 - 100 tonnes	7 (3,4 %)	8 (3,9 %)	7 (3,4 %)	21 (10,1 %)	33 (15,9 %)	76	36,6	
> 100 tonnes	3 (1,4 %)	13 (6,3 %)	4 (2,0 %)	30 (14,5 %)	50 (24,2 %)	100	48,4	
Longueur des tabliers								
< 1524 mm	0	3 (1,4 %)	1 (0,5 %)	2 (1,0 %)	15 (7,2 %)	21	10,1	
1524 - 6096 mm	11 (5,3 %)	22 (10,6 %)	10 (4,8 %)	51 (24,6 %)	69 (33,3 %)	163	78,8	
> 6096 mm	1 (0,5 %)	0	1 (0,5 %)	4 (1,9 %)	17 (8,2 %)	23	11,1	
Accessoires*								
Devant seulement	5 (2,4 %)	7 (3,4 %)	2 (1,0 %)	23 (11,1 %)	39 (18,8 %)	76	36,7	
Derrière seulement	0	6 (2,9 %)	4 (1,9 %)	0	30 (14,5 %)	40	19,3	
Devant et derrière	7 (3,4 %)	6 (2,9 %)	4 (1,9 %)	34 (16,4 %)	22 (10,6 %)	73	35,3	
Aucun accessoire	0	6 (2,9 %)	2 (1 %)	0	10 (4,8 %)	18	8,7	
Commande de fonctionnement **								
Déclencheur à 2 mains	0	0	3 (1,5 %) ^{***}	0	0	3	1,4	
Commandes à 2 mains	5 (2,4 %)	4 (2 %)	0	10 (4,8 %)	10 (4,8 %)	29	14,0	
1 pédale de commande	12 (5,8 %)	24 (11,6 %)	11 (5,3 %)	51 (24,6 %)	94 (45,4 %)	192	92,7	
2 pédales de commande	0	1 (0,5 %)	1 (0,5 %)	6 (2,9 %)	7 (3,5 %)	15	7,2	

* Butée arrière : derrière la machine; console support de tôle : devant la machine.

** Certaines machines sont équipées de plus d'une commande de fonctionnement.

*** Ces trois presses ont une cadence de fonctionnement inférieure à 50 coups par minute.

3.1.2 Opérations et méthodes de travail

- Opérations effectuées sur les presses-plieres

Selon les questionnaires qui nous ont été retournés (soit 114), 80 % des entreprises utilisent leurs presses-plieres pour effectuer du pliage, du formage et du redressage (voir tableau 7), alors que d'autres opérations, telles que le poinçonnage et le découpage, sont moins fréquentes.

Tableau 7 : Utilisation des presses-plieres	Nombre	(%)
Pliage, formage et redressage	92	80,7
Pliage, formage, poinçonnage et redressage	14	12,3
Pliage, formage, poinçonnage, découpage et redressage	8	7,0
Total	114	100

- Méthodes de travail

Le tableau 8 présente les méthodes de travail mises en oeuvre par les établissements. Nous avons scindé ces méthodes de travail en quatre catégories. Dans chacune d'elles, on retrouve l'accompagnement de la tôle en cours de pliage, associé ou non à une autre technique.

Tableau 8 : Méthodes de travail	Nbre	(%)
Accompagnement de la tôle en cours de pliage	71	62,2
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et stades multiples de pliage	19	16,7
Accompagnement de la tôle en cours de pliage, stades multiples de pliage et travail en bout	18	15,8
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et travail en bout	6	5,3
Total	114	100

3.1.3 Dispositifs de sécurité

Le tableau 9 montre de façon explicite que la majorité des presses-pleieuses utilisées ne sont pas munies de dispositifs de sécurité. Au cours du chapitre suivant, nous chercherons à analyser les raisons de l'absence de dispositifs de sécurité ainsi que les conséquences de cette absence pour la sécurité des opérateurs de presses-pleieuses.

Tableau 9 : Dispositifs de sécurité							
Dispositifs de protection	Presse-pleieuse mécanique			Presse-pleieuse hydraulique		Total	
	Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique			
	Oui	Non		Oui	Non	Nb	%
Barrière fixe	2 (1,0 %)	0	1 (0,5 %)	7 (3,4 %)	4 (1,9 %)	14	6,8
Barrière à verrouillage	2 (1,0 %)	0	0	4 (1,9 %)	0	6	2,9
Barrière ajustable	0	0	2 (1,0 %)	1 (0,5 %)	2 (1,0 %)	5	2,5
Rideau de lumière	3 (1,5 %)	0	0	6 (2,9 %)	7 (3,4 %)	16	7,7
Tapis de sécurité	0	0	0	1 (0,5 %)	0	1	0,5
Chasse-corps	0	1 (0,5 %)	0	0	1 (0,5 %)	2	1,0
Protecteurs à bracelets	0	1 (0,5 %)	0	0	0	1	0,5
Déclencheur à deux mains	0	0	3 (1,5 %)**	0	0	3	1,4
Commande à deux mains	5 (2,4 %)	4 (1,9 %)	0	10 (4,8 %)	10 (4,8 %)	29	14,0
Avec protection	7 (3,4 %)	6 (2,9 %)	5 (2,4 %)	16 (7,8 %)	19 (9,1 %)	53	25,6
Sans protection	5 (2,4 %)	19 (9,1 %)	7 (3,4 %)	41 (19,8 %)	82 (39,6 %)	154	74,4

* La plupart des presses-pleieuses sont équipées de plus d'un dispositif de sécurité; c'est pourquoi les chiffres indiqués dans la rangée «avec protection» et «sans protection» sont supérieurs au nombre de machines inventoriées.

** Ces trois presses ont une cadence de fonctionnement inférieure à 50 coups par minute.

3.1.4 Résumé

Les résultats des questionnaires nous montrent que 76 % des presses-plieres utilisées (soit 158/207) sont hydrauliques, contre 24 % (49/207) qui sont de type mécanique.

L'année de fabrication de 48,3 % des machines recensées est antérieure à 1976, alors 42 % des machines ont été construites entre 1976 et 1990, et 9,7 % l'ont été après 1990. La majorité des presses-plieres utilisées ont une capacité supérieure à 100 tonnes et ont des tabliers qui mesurent entre 1524 mm et 6096 mm de long.

La majorité des presses-plieres, soit 80,7 %, sont utilisées pour effectuer des pliages, des formages et des redressages, tandis que 19,3 % d'entre elles offrent la possibilité d'exécuter des poinçonnages et des découpages.

En ce qui concerne les dispositifs de protection en général, seulement 25,6 % des presses-plieres en sont équipées. Les commandes à deux mains représentent 15,4 % des cas et, de ce nombre, 1,4 % sont des déclencheurs à deux mains. Il importe de mentionner que ces déclencheurs à deux mains sont couplés à des presses-plieres mécaniques à embrayage positif ayant une cadence de fonctionnement inférieure à 50 coups par minute.

3.2 Résultats des visites

Les visites d'entreprises représentent un point essentiel de notre étude. En effet, elles ont fourni des renseignements fiables et complets en nous permettant de contrôler sur place l'exactitude des données obtenues par sondage.

Nous avons visité au total 52 des entreprises, dont 49 oeuvrent dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines. Nous présentons dans cette section les résultats de la cueillette d'information en entreprise, que nous regroupons sous la forme de tableaux afin d'en faciliter la lecture.

3.2.1 Les presses-plieres

3.2.1.1 Types et caractéristiques

Le tableau 10 montre de façon claire que la plupart des machines modernes sont de type hydraulique et qu'elles sont en majorité équipées de commandes numériques. Il est à noter que plusieurs machines anciennes ne possèdent aucune plaque signalétique pouvant nous fournir des renseignements sur l'année du modèle ou d'autres caractéristiques importantes. Pour d'autres machines, bien que la plaque signalétique soit présente, l'année du modèle et certaines caractéristiques n'y sont parfois pas inscrites.

Cependant, suite aux entrevues avec des intervenants, il a été possible de connaître approximativement l'année de fabrication des presses. Pour tenir compte de cette imprécision relative, les années de construction des machines sont regroupées en trois époques : avant 1976, entre 1976 et 1990, et après 1990.

Tableau 10 : Type et année des presses-plieres							
Année du modèle	Presse-plierie mécanique			Presse-plierie hydraulique		Total	
	Embrayage à friction		Embrayage positif	Commande numérique			
	Oui	Non		Oui	Non	Nb	%
Avant 1976	10 (9,3 %)	14 (13,0 %)	3 (2,8 %)	4 (3,7 %)	16 (14,9 %)	47	43,9
1976 - 1990	0	0	0	19 (17,8 %)	22 (20,5 %)	41	38,3
Après 1990	0	0	0	19 (17,8 %)	0	19	17,8
Total	10 (9,3 %)	14 (13,0 %)	3 (2,8 %)	42 (39,3 %)	38 (35,5 %)	107	100
	27			80			

Le tableau 11 présente un premier lot de caractéristiques réparties suivant les différents types de presses-plieres. On remarque par exemple que la majorité des machines utilisées (soit 78,5 %) ont une capacité variant entre 50 et 300 tonnes.

Il faut noter que deux des plus grandes machines sont de type hydraulique, sont équipées de commandes numériques, mesurent 12 m de long (40 pieds) et ont une capacité respective de 3 000 tonnes et 1 000 tonnes. La première est utilisée pour former des tuyaux alors que la seconde est destinée à plier et à former des tôles. Cette dernière est également munie d'une commande numérique pouvant gérer automatiquement la bibliothèque d'outils se trouvant en dessous de la machine afin de les acheminer vers la presse-plierie ou vers l'entrepôt d'outils.

D'autres presses-plieres, à l'exception d'un modèle de 7 315 mm, mesurent 6 096 mm ou moins et ont une capacité égale ou inférieure à 600 tonnes.

Tableau 11 : Caractéristiques des presses-plieres							
Presse-pliere mécanique				Presse-pliere hydraulique		Total	
Embrayage à friction		Embrayage positif	Commande numérique				
Commande numérique	Oui		Non	Oui	Non	Nb	%
Capacité							
< 50 tonnes	1 (0,9 %)	2 (1,9 %)	0	1 (0,9 %)	6 (5,6 %)	10	9,3
50 - 100 tonnes	6 (5,6 %)	5 (4,5 %)	1 (0,9 %)	17 (15,9 %)	6 (5,6 %)	35	32,7
101 - 300 tonnes	2 (1,9 %)	6 (5,6 %)	2 (1,9 %)	20 (18,7 %)	19 (17,8 %)	49	45,8
> 300 tonnes	1 (0,9 %)	1 (0,9 %)	0	4 (3,7 %)	7 (6,5 %)	13	12,1
Longueur des tabliers							
< 1524 mm	0	1 (0,9 %)	0	1 (0,9 %)	7 (6,5 %)	9	8,4
1524 - 6096 mm	10 (9,3 %)	13 (12,1 %)	3 (2,8 %)	39 (36,4 %)	30 (28,0 %)	95	88,8
> 6096 mm	0	0	0	2 (1,9 %)	1 (0,9 %)	3	2,8
Tablier supérieur mobile	10 (9,3 %)	14 (13,1 %)	3 (2,8 %)	20 (18,7 %)	31 (29,0 %)	78	72,9
Tablier inférieur mobile	0	0	0	22 (20,5 %)	7 (6,5 %)	29	27,1
Total	10 (9,3 %)	14 (13,1 %)	3 (2,8 %)	42 (39,3 %)	38 (35,5 %)	107	100
	27			80			

Le tableau suivant présente certaines des caractéristiques techniques des presses-plieres, obtenues des fabricants et des fournisseurs. Compte tenu qu'il existe un grand nombre de marques et de modèles utilisés, nous avons restreint notre comparaison aux quatre marques les plus répandues dans les entreprises visitées.

Dans ce contexte, mentionnons qu'il existe 33 marques utilisées, dont 24 pour des presses-plieres hydrauliques, 6 pour des machines mécaniques et 3 qui sont communes aux deux types. Il va de soi que ces caractéristiques sont variables suivant les marques et les modèles, c'est pourquoi nous présentons les résultats sous la forme de valeurs minimales et maximales pour chaque caractéristique ainsi que pour chaque type de presse.

Tableau 12 : Caractéristiques techniques des presses-plieres				
Caractéristiques	Hydraulique		Mécanique	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Puissance (HP)	4	60	3	40
Capacité (tonnes)	15	600	15	350
Vitesse d'approche (mm/s)	32*	100*	500**	700**
Vitesse de travail (mm/s)	1*	22*		
Vitesse de retour (mm/s)	32*	100*		
Course du tablier (mm)	0 - 20	0 - 400	50	127
Longueur des tabliers (mm)	1219	7315	1219	6096
Profondeur du col de cygne (mm)	203	500	203	355
Distance maximale entre tabliers (mm)	250	558	254	457
Hauteur du tablier inférieur (mm)	812	863	863	876

- * Pour les presses-plieres hydrauliques, la vitesse correspond à la distance, exprimée en millimètres, parcourue par le tablier mobile en une seconde (mm/s).
- ** Pour les presses-plieres mécaniques, la vitesse exprime le nombre de tours que le volant peut accomplir en une minute. L'unité utilisée est le RPM («révolutions par minute»).

3.2.1.2 Commandes de fonctionnement

Les résultats présentés aux tableaux 13 et 14 concernent les types de commandes utilisées pour actionner les presses-plieres. Nous remarquons que 74,7 % (80/107) des presses-plieres utilisées sont actionnées par une pédale mobile et que 25,2 % (27/107) sont équipées de deux commandes de fonctionnement.

Tableau 13 : Type de commande						
Type de commande	Presse-plieuse mécanique			Presse-plieuse hydraulique		Total *
	Embrayage à friction		Embrayage positif	Commande numérique		
	Oui	Non		Oui	Non	
Commande à deux mains	5 (4,6 %)	1 (0,9 %)	0	6 (5,6 %)	3 (2,8 %)	15
Barre de commande (fixe)	0	0	0	8 (7,5 %)	6 (5,6 %)	14
Butée de commande (fixe)	0	0	0	2 (1,9 %)	5 (4,6 %)	7
Pédale mécanique (fixe)	3 (2,8 %)	10 (9,3 %)	1 (0,9 %)	0	0	14
Pédale mobile	7 (6,6 %)	8 (7,5 %)	3 (2,8 %)	33 (23,4 %)	29 (27,1 %)	80
Total *	10 (9,3 %)	14 (13,1 %)	3 (2,8 %)	42 (39,3 %)	38 (35,5 %)	130
	27			80		

* 27 machines sont équipées de deux commandes de fonctionnement (23 machines possèdent chacune deux commandes différentes, alors que 4 autres presses-plieuses sont pourvues chacune de deux commandes identiques), c'est pourquoi la somme des commandes (130) est supérieure au nombre total de presses-plieuses (107).

Tableau 14 : Année du modèle et type de commande							
Type de commande	Avant 1976		Entre 1976 et 1990		Après 1990		Total
	Mécan.	Hydraul.	Mécan.	Hydraul.	Mécan.	Hydraul.	
Commande à deux mains	6	2	0	3	0	4	15
Barre de commande (fixe)	0	4	0	7	0	3	14
Butée de commande (fixe)	0	2	0	4	0	1	7
Pédale mécanique (fixe)	14	0	0	0	0	0	14
Pédale mobile	18	13 (2*)	0	26 (5*)	0	12 (4*)	69 (11*)
Tablier mobile							
Tablier inférieur mobile	0	6	0	12	0	11	29
Tablier supérieur mobile	27	14	0	29	0	8	78
Nombre de presses-plieuses	27	20	0	41	0	19	107

* Indique le nombre de machines équipées de deux pédales dans un seul bloc : une pédale «descente» et une pédale «montée».

3.2.1.3 Éléments de sécurité

Nous avons recensé les éléments de sécurité indispensables, tels que le bouton d'arrêt d'urgence et le mécanisme d'antirépétition, présentés respectivement aux tableaux 15 et 16 suivants.

Tableau 15 : Bouton d'arrêt d'urgence						
	Presse-plieuse mécanique			Presse-plieuse hydraulique		Total
	Embrayage à friction Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique		
	Oui	Non		Oui	Non	
Avec bouton d'urgence	4	1	0 *	36	25	66
Sans bouton d'urgence	6	13	3 *	6	13	41

* Une presse mécanique à embrayage positif ne peut s'arrêter qu'après une révolution complète du vilebrequin, c'est pourquoi un bouton d'arrêt d'urgence n'aurait aucun effet.

Tableau 16 : Mécanisme d'antirépétition						
	Presse-plieuse mécanique			Presse-plieuse hydraulique		Total
	Embrayage à friction Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique		
	Oui	Non		Oui	Non	
Avec mécanisme d'antirépétition	10	3	0	36	28	77
Sans mécanisme d'antirépétition	0	8	2	0	0	10
Nombre de presses en service	10	11	2	36	28	87

3.2.1.4 Accessoires

Les tableaux 17 et 18 présentent la répartition des accessoires — console support de tôle (devant la machine) ou butées arrière (derrière la machine), ou les deux — en fonction du type de presse ainsi que certaines caractéristiques techniques.

Tableau 17 : Types de presses-plieuses et accessoires							
Accessoires	Presse-plieuse mécanique			Presse-plieuse hydraulique		Total	
	Embrayage à friction Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique			
	Oui	Non		Oui	Non	Nb	%
Devant seulement	0	3 (2,8 %)	0	0	8 (7,5 %)	11	10,3
Derrière seulement	2 (1,9 %)	4 (3,7 %)	0	20 (18,7 %)	9 (8,4 %)	35	32,7
Devant et derrière	8 (7,5 %)	3 (2,8 %)	2 (1,9 %)	22 (20,5 %)	13 (12,1 %)	48	44,9
Aucun accessoire	0	4 (3,7 %)	1 (0,9 %)	0	8 (7,5 %)	13	12,1
Total	10	14	3	42	38	107	100

Tableau 18 : Caractéristiques des butées arrière			
Éléments des butées arrière		Minimum	Maximum
Course de la butée arrière - axe X (axe de pliage) (mm)		0-400	0-711
Vitesse de déplacement de la butée (mm/s)		150	330
Précision de la butée :	Positionnement (mm)	± 0,025	± 0,1
	«Répétabilité» (mm)	± 0,025	± 0,05

Près de la moitié (soit 48,6 %) des presses-plieuses sont munies de commandes numériques. Le tableau 19 présente les caractéristiques techniques de ces commandes numériques, telles que : précision, capacité de mise en mémoire, etc.

Tableau 19 : Caractéristiques des commandes numériques			
Éléments		Minimum	Maximum
Direction des butées arrière X, Y ou Z *		1	3
Précision - angle de pliage		0,1°	
Capacité de mise en mémoire	Nombre de programmes	30	450
	Nombre de plis	500	2400

* Direction X : profondeur de la machine - axe de pliage
 Y : longueur de la machine
 Z : hauteur de la machine

3.2.2 Méthodes de travail

Les tableaux 20 et 21 présentent les méthodes de travail utilisées dans les entreprises que nous avons visitées ainsi que les opérations spécifiques en fonction du type de presse-plieuse.

Tableau 20 : Méthodes de travail	
Méthodes de travail	Nombre d'entreprises
Accompagnement de la tôle en cours de pliage	43
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et	0
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et travail en bout	9
Accompagnement de la tôle en cours de pliage, stades multiples de pliage et travail en bout	0
Total	52

Tableau 21 : Types d'opérations

Presses-plieuses mécaniques et hydrauliques

Opérations	Embrayage à friction Commande numérique		Embrayage positif	Commande numérique		Total	
	Oui	Non		Oui	Non	Nb	%
Pliage, formage et redressage	10 (9,3 %)	14 (13,0 %)	3 (2,8 %)	40 (37,4 %)	30 (28,0 %)	97	90,7
Pliage, formage, poinçonnage et redressage	0	0	0	1 (0,9 %)	8 (7,5 %)	9	8,4
Pliage, formage, découpage et redressage	0	0	0	1 (0,9 %)	0	1	0,9
Total	10	14	3	42	38	107	100

3.2.3 Dispositifs de sécurité

Les résultats qui illustrent la répartition des dispositifs de sécurité sur les presses-plieres sont particulièrement importants car ils démontrent clairement (voir tableau 22) l'absence de tout dispositif de sécurité devant la machine dans soit 84,1 % des cas, soit la grande majorité.

Tableau 22 : Dispositifs de sécurité							
Presses-plieres mécaniques				Presses-plieres hydrauliques			
Embrayage à friction		Embrayage positif		Commande numérique		Total	
Commande numérique							
Oui	Non			Oui	Non	Nb	%
Devant la machine							
Photoélectrique	3 (2,8 %)	0	0	0	0	3	2,8
Commande à deux mains :	5 (4,6 %)	1 (0,9 %)	0	6 (5,6 %)	3 (2,8 %)	15	14,0
• sur pupitre mobile	2	0	0	2	1	5	4,6
• sur tablier supérieur	3	1	0	4	2	10	9,3
Avec dispositif	7*	1	0	6	3	17	15,9
Sans dispositif	3	13	3	36	35	90	84,1
Total	10	14	3	42	38	107	100
Sur les côtés la machine							
Barrière fixe	3 (2,8 %)	0	0	1 (0,9 %)	0	4	3,7
Barrière à verrouillage	0	0	0	0	0	0	0
Avec dispositif	3	0	0	1	0	4	3,7
Sans dispositif	7	14	3	41	38	103	96,3
Total	10	14	3	42	38	107	100
Derrière la machine							
Barrière fixe	0	1 (0,9 %)	0	1 (0,9 %)	0	2	1,9
Barrière à verrouillage	0	0	0	1 (0,9 %)	0	1	0,9
Avec dispositif	0	1	0	2	0	3	2,8
Sans dispositif	10	13	3	40	38	104	97,2
Total	10	14	3	42	38	107	100

* Une (1) machine est équipée des deux types de dispositifs de sécurité (commande à deux mains et dispositif photoélectrique).

3.2.4 Résumé

Les résultats recueillis dans les 52 entreprises visitées nous montrent que 74,8 % des presses-plieuses sont hydrauliques, alors que les machines mécaniques ne représentent que 25,2 % du parc des presses-plieuses étudiées. Les presses-plieuses mécaniques datent d'avant 1976, tandis que la majorité des modèles hydrauliques datent d'après 1976.

Dans l'ensemble, 90,7 % des presses-plieuses sont employées pour réaliser des pliages, des formages et des redressages, alors que 9,3 % permettent d'effectuer des poinçonnages ou des découpages.

Parmi les 107 machines étudiées, 48,6 % sont pourvues de commandes numériques. Près de 88 % des presses-plieuses sont munies d'une console support de tôle ou de butées arrière, ou de ces deux accessoires.

Quant aux éléments de sécurité, seulement 61,7 % des presses-plieuses étudiées (66/107) possèdent un bouton d'arrêt d'urgence. Sur 87 machines observées pendant leur fonctionnement, 10 d'entre elles n'ont pas de mécanisme d'antirépétition (et ceci ne concerne que les presses-plieuses mécaniques).

Les résultats des visites nous montrent également que 15,9 % des presses-plieuses sont équipées de dispositifs de sécurité, dont 2,8 % sont de type photoélectrique, contre 14 % qui sont des commandes à deux mains.

3.3 Analyse comparative des résultats

Nous proposons une analyse comparative des informations recueillies par sondage (envoi de questionnaires) et de celles issues des observations et entretiens lors des visites dans ces mêmes entreprises. Cette étude comparative vise 49 entreprises sur 52 (soit 101 presses-plieuses), ce qui correspond au nombre d'usines ayant effectivement retourné les questionnaires.

L'intérêt de cette étude est qu'elle permet de quantifier le degré de corrélation entre les deux sources d'information et de comprendre les raisons d'une éventuelle différence. Nous pourrions ainsi définir la fiabilité des données des deux sources d'information et nous appuyer sur des chiffres exacts et cohérents pour l'analyse de la sécurité des opérateurs de presses-plieuses.

La procédure suivie a donc été de vérifier tous les renseignements recueillis dans le sondage à l'aide des questionnaires en visitant ces mêmes usines. Une première analyse nous permet de dégager le ratio d'exactitude de l'information : 33 % (16/49) des entreprises sondées, puis visitées, ont fourni des renseignements exacts sur l'ensemble des éléments du questionnaire.

En ce qui concerne les deux autres tiers des entreprises visitées (33/49), les entrevues semi-dirigées et les observations effectuées nous ont permis de noter des incohérences à l'égard de certains renseignements obtenus par sondage. Les sections suivantes présentent l'analyse des

différences relevées, que nous avons regroupées en trois parties : les presses-plieruses, les opérations effectuées, les méthodes de travail et les dispositifs de sécurité.

3.3.1 Les presses-plieruses

Pour ce qui est du nombre et du type de presses-plieruses, 22 % (soit 11/49) des entreprises ont rapporté des renseignements erronés, à divers degrés. Ces résultats sont présentés au tableau 23.

Tableau 23 : Comparaison du nombre de presses						
Source des données	Presse-plieruse mécanique		Embray. positif	Presse-plieruse hydraulique		Total
	Commande numérique			Commande numérique		
	Oui	Non	Oui	Non		
Nombre de presses sondé (questionnaire)	8	17	6	39	44	114
Nombre de presses relevé (visites)	10	11	3	41	36	101
Différence	2	- 6	- 3	2	- 8	- 13
% (par rapport au nombre relevé)	+ 20	- 55	- 100	+ 5	- 22	

Suite aux entrevues semi-dirigées, il a été possible de dégager les principales raisons pouvant expliquer, en partie, les différences observées :

- *les participants confondent une presse-plieruse avec une presse à métal;*
- *les participants ne connaissent pas suffisamment leur presse-plieruse pour pouvoir en distinguer le type;*
- *les participants rapportent le nombre de cisailles, de presses hydrauliques ou mécaniques plutôt que le nombre total des presses-plieruses.*

En ce qui concerne les caractéristiques des presses-plieruses, 6 % (3/49) des usines ont fourni des renseignements erronés sur le nombre de commandes de fonctionnement. Des entrevues avec des intervenants ainsi que nos observations nous ont permis d'identifier la cause de ces erreurs :

- *Les participants rapportent le nombre de commandes de fonctionnement total de toutes leurs presses-plieruses plutôt que le nombre de commandes de chacune des machines.*

3.3.2 Opérations et méthodes de travail

- **Opérations effectuées sur les presses-plieres**

En ce qui concerne les opérations effectuées sur les presses-plieres, 24 % des établissements (soit 12/49) ont rapporté des renseignements inexacts, comme l'indique le tableau suivant.

Types d'opération	Source des données		Différence
	Sondage	Visites	
Pliage, formage et redressage	29	39	- 10
Pliage, formage, poinçonnage et redressage	13	9	- 4
Pliage, formage, poinçonnage, découpage et redressage	7	1	- 6

Identification de la source d'erreurs :

Les participants rapportent des opérations réalisées par l'ensemble des activités au sein de l'usine plutôt que les opérations effectuées uniquement par les presses-plieres.

- **Méthodes de travail**

En ce qui concerne les méthodes de travail employées, 55 % (27/49) des entreprises ont fourni des données erronées. Le tableau 25 présente la comparaison entre les techniques de travail rapportées et les techniques de travail observées.

Méthodes de travail	Sources des données		Différence
	Sondage	Visites	
Accompagnement de la tôle en cours de pliage	17	40	- 23
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et stades multiples de pliage	17	0	- 17
Accompagnement de la tôle en cours de pliage et travail en bout	5	9	+ 4
Accompagnement de la tôle en cours de pliage, stades multiples de pliage et travail en bout	10	0	- 10

Les participants confondent la méthode de travail dite «stades multiples de pliage» avec la méthode qui consiste à effectuer plusieurs séries de pliages successifs sur une même tôle.

3.3.3 Dispositifs de sécurité

Pour ce qui est du nombre et du type de dispositifs de sécurité utilisés, 16 % (8/49) des usines participantes ont fourni des renseignements erronés. Le tableau suivant présente, pour ces usines, la comparaison entre le nombre et le type de dispositifs de sécurité rapportés par le questionnaire et ce qui a été relevé lors des visites.

Tableau 26 : Comparaison des dispositifs de sécurité			
Dispositifs de sécurité	Source des données		Différence
	Sondage	Visites	
Barrière fixe	3	2* (6)	- 1
Barrière à verrouillage (<i>interlock</i>)	3	1** (1)	- 2
Barrière ajustable	2	0	- 2
Rideau de lumière	4	1 (3)	- 3
Tapis de sécurité	0	0	0
Chasse-corps	0	0	0
Protecteurs à bracelets	0	0	0
Commande à deux mains	6	6 (15)	0
Avec dispositif de protection***	14	9	
Sans dispositif de protection	35	40	

(6), (1), (3) et (15) : Nombre de presses-plies affectées.

* Barrière fixe : derrière la machine (2); sur les côtés (4).

** Barrière à verrouillage : derrière la machine.

*** Certaines entreprises ont coché plusieurs cases et, pour cette raison, le chiffre indiqué sous la rubrique «Avec dispositif de protection» ne correspond pas à la somme de la colonne «Source des données».

Identification de la source d'erreurs :

- *Les participants confondent la barrière fixe avec la console support de tôle;*
- *les participants confondent la barrière ajustable avec la butée arrière;*
- *les participants semblent confondre le rideau de lumière et la commande numérique.*

3.3.4 Résumé

L'étude comparative des données nous amène à faire les constats suivants :

- Seulement 16 questionnaires sur 49, soit un tiers des sondages (33 %), fournissent des renseignements exacts. La principale raison des différences soulignées dans les sections précédentes est la confusion ou la mauvaise interprétation des termes techniques utilisés dans le questionnaire.
- Certains participants ne connaissent pas suffisamment les presses-plieres. À ce sujet, il importe de souligner que cette remarque ne met aucunement en cause la compétence des participants mais permet d'observer que, dans le cas du sondage, le questionnaire n'est pas forcément complété par la personne ayant la meilleure connaissance du contexte.
- Plusieurs participants ne connaissent pas les dispositifs de sécurité.
- L'efficacité des questionnaires est relativement faible. Il paraît évident, à la lumière de ces premiers résultats, que les données issues des sondages ne peuvent pas être considérées comme étant représentatives et fiables.

Bien que les données des sondages ne soient pas représentatives, il importe de souligner que cette étape a été indispensable au déroulement de notre enquête car, en tant que premier contact, elle a facilité la planification des visites d'entreprises utilisant des presses-plieres. Lors de ces visites, les renseignements ont été vérifiés et validés, et c'est pourquoi nous pouvons nous fonder sur eux pour la suite de nos analyses.

3.4 Analyse des caractéristiques des presses-plieres relatives à la sécurité

3.4.1 Caractéristiques

- **Le modèle**

La première enquête concernant les presses-plieres nous a amenés à vérifier la date de fabrication des 107 machines observées et ainsi, à formuler les remarques suivantes :

1. toutes les presses mécaniques recensées sont des modèles antérieurs à l'année 1976;
2. les presses mécaniques ne représentent qu'un quart du nombre total de presses, contre trois quarts qui sont des presses de type hydraulique;
3. le parc des presses hydrauliques est assez récent, puisque 75 % de celles-ci sont des modèles postérieurs à 1976, dont environ 25 % sont même postérieurs à 1990.

La prédominance des presses hydrauliques n'est pas le fruit du hasard : elles présentent en effet de multiples avantages du point de vue de la production et de la qualité du travail par rapport aux modèles mécaniques. Par exemple, sur les modèles hydrauliques, il est facile d'ajuster la course du tablier sans que cela influe sur la capacité requise pour le pliage de la tôle. Cependant, cet ajustement devient plus difficile sur la plupart des anciens modèles, car la désynchronisation des vérins entraîne une inclinaison du tablier qui peut nuire à l'opération de pliage.

- **Commandes de fonctionnement**

Certaines presses anciennes peuvent être modifiées afin d'obtenir un fonctionnement moins «rustique» et plus sécuritaire. Cependant, ces options de changement ne sont pas nécessaires au bon fonctionnement de la presse; c'est pourquoi nous avons comptabilisé les dispositifs de commande archaïques tels que la pédale fixe sur les presses mécaniques. Nous avons relevé que 51,8 % de ces presses (14/27) sont encore équipées d'une pédale mécanique, parmi lesquelles 9 (33,3 %) ne sont pas protégées contre les chutes d'objets ou les fausses manoeuvres de l'opérateur ou d'un tiers (figure 30).

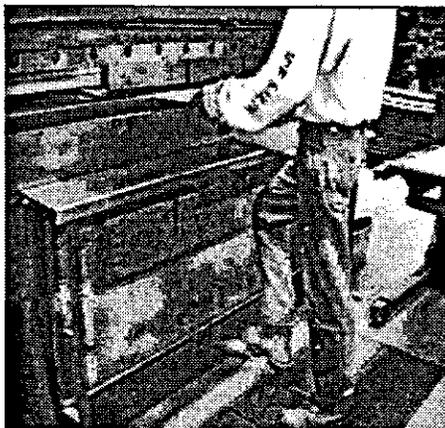


Figure 30 : Pédale mécanique - sans protection

Pour les presses hydrauliques, 26 % d'entre elles (21/80) sont équipées d'une barre de commande pourvue de protection contre les chutes d'objets, mais seulement 7 sont munies de butées de commande escamotables qui protègent contre une fausse manoeuvre de l'opérateur.

Globalement, nous avons relevé que 33 % (35/107) des presses sont pourvues d'une pédale fixe, d'une barre de commande ou de butées de commande qui obligent l'opérateur à travailler à proximité de la zone dangereuse de la presse.

- **Éléments de sécurité inhérents**

Il existe deux catégories de moyens de protection de l'opérateur : les éléments de sécurité intrinsèques à la machine, qui sont indispensables et font partie de la presse-plieuse; et les dispositifs externes complémentaires, comme les gardes par exemple, que l'utilisateur doit ajouter en tenant compte des caractéristiques de la machine de même que des méthodes de travail. Cette section présente les résultats du recensement et de l'analyse des éléments de sécurité inhérents de la presse-plieuse, tels que le bouton d'arrêt d'urgence et le dispositif d'antirépétition. Notons que certains dispositifs, dont les commandes à deux mains, malgré leur incorporation à la commande de la presse-plieuse, sont toujours classifiés comme un dispositif de sécurité externe (article 9 de la Norme).

Bouton d'arrêt d'urgence

Nous avons observé que 38,3 % des presses recensées (soit 41/107) **ne disposent d'aucun bouton d'arrêt d'urgence**. Cette négligence constitue un manque fondamental à la protection des opérateurs et des tiers, qui se trouvent de ce fait exposés à des situations dangereuses. Ceci démontre qu'il existe un écart entre la réalité et la Norme, qui exige l'installation d'un bouton d'arrêt d'urgence sur tous les types de presses-plieres.

De plus, d'après les résultats présentés au tableau 15 (*supra*), nous constatons que 79 % (19/24) des presses mécaniques à embrayage à friction sont dépourvues de bouton d'arrêt d'urgence, contre seulement 24 % (19/80) pour les presses hydrauliques. On voit par là que les machines récentes (majoritairement hydrauliques) sont généralement équipées d'un bouton d'arrêt d'urgence et que l'absence de cet élément de sécurité est beaucoup plus observé sur les anciennes machines.

Cette absence de dispositif de sécurité est fortement désapprouvée par le Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (S-2.1, r.9), qui stipule que «... les machines, les éléments des machines ou l'outillage [doivent être] pourvus de tous les dispositifs de protection nécessaires...» (article 6.1.3; cf. également 6.2.1 et 6.2.4).

Un autre problème qui se pose est celui de la disposition des boutons d'arrêt d'urgence. En effet, la localisation du ou des boutons d'arrêt d'urgence dans l'environnement de la presse n'est pas standardisée. Ceux-ci peuvent être installés sur le tablier inférieur ou supérieur, sur le côté de la presse, dans un boîtier indépendant (mobile ou fixe), etc. La disposition choisie n'est pas toujours optimale pour la sécurité des travailleurs. L'accès à ce bouton est souvent difficile, voire impossible, alors qu'il est essentiel de pouvoir intervenir rapidement.

Dispositif d'antirépétition

Pour déterminer rigoureusement si une presse est pourvue ou non d'un dispositif d'antirépétition, il faut l'observer en cours de fonctionnement. Ainsi, les chiffres que nous avançons ne tiennent compte que des presses dont nous avons pu confirmer l'absence ou la présence du dispositif d'antirépétition lors des visites.

Ces résultats, présentés au tableau 16 (*supra*), montrent clairement que 11,5 % des presses (soit 10/87) sont dépourvues d'un dispositif d'antirépétition. En fait, toutes les presses hydrauliques sont dotées d'un mécanisme d'antirépétition, alors qu'aucune des presses mécaniques à embrayage positif ne l'est. En ce qui a trait aux presses mécaniques à embrayage à friction, 72,7 % de ces machines (soit 8/13) sont équipées de ce mécanisme de sécurité.

Cette absence de dispositif de sécurité est fortement désapprouvée par le Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (S-2.1, r.9), qui stipule que «... les machines, les éléments des machines ou l'outillage [doivent être] pourvus de tous les dispositifs de protection nécessaires...» (article 6.1.3; cf. également 6.2.1 et 6.2.4).

Enfin, même si toutes les presses hydrauliques sont pourvues du dispositif d'antirépétition, il demeure possible d'inhiber ce dispositif en plaçant le sélecteur de mode de fonctionnement à «mode continu».

3.4.2 Accessoires

Les accessoires sont des éléments qui sont ajoutés à la presse-plieuse de manière à faciliter les séquences de travail et à améliorer la qualité du pliage. Certains accessoires (console support de tôle, butées arrière) sont souvent conçus et réalisés directement par l'usine utilisant la presse-plieuse, en vue de répondre à ses besoins spécifiques.

- **Console support de tôle**

Les consoles support de tôle sont des accessoires ajoutés devant la machine afin de permettre aux opérateurs d'assurer un meilleur appui de la tôle. Mais la console support de tôle n'est pas toujours utilisée, soit lorsque la pièce est trop petite ou que le nombre de pièces à fabriquer ne justifie pas son installation.

L'utilisation des consoles support de tôle libère l'opérateur, qui n'a plus à soutenir la tôle pendant la phase de pliage, ce qui réduit la fatigue musculaire et les courbatures tout en éliminant la possibilité d'une chute accidentelle de la tôle. De plus, le travailleur, libre de ses mouvements, peut actionner une commande à deux mains pour engager le processus de pliage.

Nous avons constaté l'installation de consoles support de tôle dans 55,2 % des cas (59/107) (voir tableau 17, *supra*). Il est à noter que ceci est un constat d'installation, mais pas forcément un constat d'utilisation. En effet, les consoles support de tôle sont généralement réalisées par des ouvriers de l'entreprise afin de répondre à des situations ponctuelles et spécifiques de production. Ainsi, la console support de tôle est souvent une solution pour répondre à un besoin urgent et précis mais ne s'adapte pas à la diversité de la production.

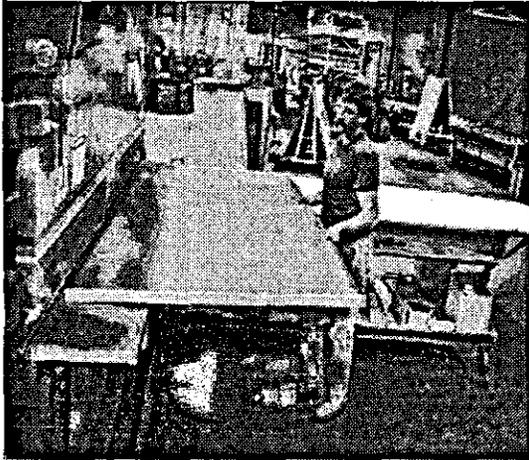
Cet accessoire constitue un élément important pour la sécurité de l'opérateur. Nous pensons qu'il serait donc intéressant de concevoir des consoles support de tôle *intelligentes*, c'est-à-dire qui présenteraient la capacité de s'adapter rapidement (sans montage ni démontage) aux spécifications de la production. Ceci augmenterait considérablement leur taux d'utilisation.

- **Butée arrière**

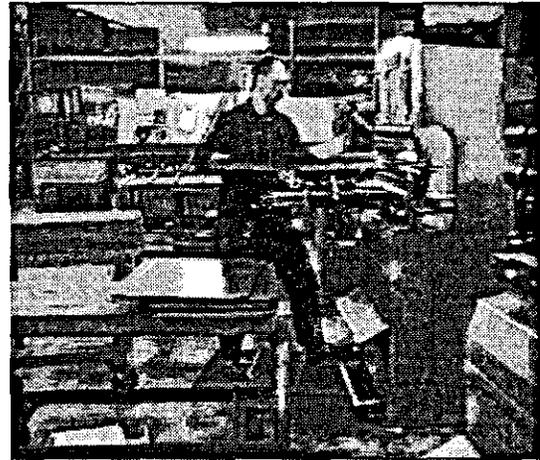
La butée arrière peut être ajustée soit par un mécanisme manuel, soit par un système automatisé (commande numérique). Elle permet d'exécuter un pli à l'angle désiré, sans que l'opérateur ait à vérifier et à contrôler l'endroit du pliage pendant la descente du tablier.

Les butées arrière permettent à l'opérateur de positionner correctement la tôle sans tâtonnement ni marquage ou traçage sur la tôle pendant la descente du coulisseau. Le risque d'accidents provoqués par une tentative de repositionner une tôle mal ajustée après avoir actionné la commande s'en trouve réduit. Certaines de ces butées arrière sont munies d'aimants de façon à maintenir plus efficacement des tôles ferreuses.

Les butées arrière permettent également à l'opérateur d'exécuter des pliages en tenant la tôle sur la longueur opposée à la zone de danger. Ainsi, lorsque la largeur de la tôle qui reste devant la machine est grande (figure 31 a), cela constitue une forme de protection par éloignement de la zone de pincement. Cependant, nous avons remarqué que, dans certains cas, la position de la pédale de commande (fixe) ne permet pas le maintien sécuritaire de la tôle (figure 31 b).



(a)



(b)

Figure 31 : Manipulation des tôles de grandes et de moyennes dimensions quand des butées arrière sont en application

Nos observations indiquent que les butées arrière sont utilisées dans 77,6 % des cas (voir tableau 17, *supra*). Bien que ce taux d'utilisation soit élevé, il nous paraît insuffisant car ces butées constituent un accessoire important pour l'exécution sécuritaire des séquences de travail. En effet, dans les 22,4 % des cas où les opérateurs n'utilisent pas de butées arrière, nous avons constaté qu'ils se placent dans des situations dangereuses afin de contrôler visuellement la précision de la position du pliage. Sans l'utilisation de butées arrière, la tôle est positionnée par tâtonnements, et la forte probabilité d'un mauvais positionnement entraîne un risque d'accident lorsque l'opérateur tente de replacer la tôle pendant la descente du coulisseau.

Bien que cet accessoire ne constitue pas en soi un dispositif de sécurité, il contribue efficacement à réduire le risque d'accidents et, par conséquent, nous préconisons son usage dans tous les cas.

- **Commande numérique**

La commande numérique est constituée d'ensembles électroniques qui offrent plusieurs fonctions permettant à l'opérateur de programmer les instructions nécessaires afin d'effectuer des pliages précis avec un minimum d'erreurs. Son rôle fondamental est la mise en place automatique des butées arrière. Certains systèmes proposent une visualisation graphique de la pièce programmée ainsi que de chaque séquence avant et après le pliage.

Certaines commandes numériques, particulièrement évoluées, offrent des «options intelligentes» telles que : le calcul automatique de la force de pliage afin de garantir une protection optimale des outils contre les surcharges, la gestion directe des angles, le calcul précis de la course du tablier pour atteindre l'angle désiré, la gestion de la bibliothèque d'outils et la programmation automatique des cotes du plan.

Certaines butées arrière contrôlées par commande numérique peuvent, après chaque pli, éjecter la tôle vers l'extérieur de la zone de pincement. Ainsi, l'opérateur n'est pas contraint de placer ses doigts dans la zone dangereuse pour récupérer la pièce. Ceci est d'autant plus important lorsque le travail s'effectue sur des petites tôles.

Il est intéressant de noter que seulement 48,6 % des presses observées (52/107) sont équipées d'une commande numérique.

Nos observations ont confirmé que la commande numérique présente des avantages considérables en offrant de multiples options d'aide à la production et au contrôle de la qualité. De ce fait, le travail de l'opérateur est plus sécuritaire car l'ajustement des butées arrière peut se faire à partir du pupitre de programmation et ne demande pas d'intervention physique de l'opérateur à l'arrière de la machine. Ainsi, nous ne pouvons que préconiser l'usage de la commande numérique.

3.4.3 Résumé

Dans cette section, nous avons démontré qu'il existe actuellement des risques importants à la sécurité des opérateurs de presses-plieres. Ces risques découlent de certaines caractéristiques inhérentes aux presses-plieres utilisées, telles que l'absence de boutons d'arrêt d'urgence, de dispositifs d'antirépétition, de protection au niveau des commandes de fonctionnement, etc.

Nos analyses démontrent également que l'usage des accessoires fournit une protection supplémentaire à l'opérateur contre certains risques associés aux manipulations sur les presses-plieres. Cependant, si les accessoires sont des aides à la sécurité et à la qualité du travail, ils ne se substituent aucunement à l'usage des dispositifs de sécurité appropriés.

Par ailleurs, bien que nos observations montrent que les accessoires sont présents dans près de 88 % des cas, leur taux utilisation réel est sans doute moindre, car la production à l'unité ou en petites séries ne justifie pas toujours l'installation d'accessoires spécifiques, qui diminuent considérablement le rendement de la production.

3.5 Analyse de l'applicabilité et de l'efficacité des dispositifs de protection

La présente section de notre étude traite des dispositifs de protection que l'on retrouve devant, sur les côtés et derrière la machine. Les dispositifs situés à l'avant de la presse concernent directement le ou les travailleurs, alors que les dispositifs sur les côtés et à l'arrière sont destinés à assurer la sécurité des tiers qui se trouvent à proximité de la zone de danger.

Nos premières analyses montrent que 84,1 % des presses-plieuses utilisées ne possèdent aucun dispositif de sécurité.

Cette absence de dispositif de sécurité est fortement désapprouvée par le *Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (S-2.1, r.9)*, qui stipule que «... les machines, les éléments des machines ou l'outillage [doivent être] pourvus de tous les dispositifs de protection nécessaires...» (article 6.1.3; cf. également 6.2.1 et 6.2.4).

En effet, nous avons établi lors des visites en usine que le taux réel de présence d'au moins un (1) dispositif de protection est extrêmement faible : il se chiffre à 15,9 %, soit seulement 17 machines sur 107.

Les dispositifs de protection recensés appartiennent aux deux catégories suivantes :

- la commande à deux mains, dans 14 % des cas (15 presses sur 107);
- le dispositif photoélectrique (barrage immatériel), dans 2,8 % des cas (3 presses sur 107).

Note : Une (1) machine est équipée des deux types de dispositifs de sécurité (commande à deux mains et dispositif photoélectrique); c'est pourquoi le nombre de presses-plieuses munies de dispositifs de sécurité totalise 17 machines.

3.5.1 Commande à deux mains

Suite aux observations et aux entrevues réalisées dans les entreprises, nous pouvons formuler certaines remarques importantes concernant l'utilisation de la commande à deux mains.

1. La commande à deux mains offre une bonne protection de l'opérateur puisque les mains de celui-ci sont occupées à une certaine distance de la zone dangereuse de la presse pendant la phase de pliage. Cependant, nous avons observé à plusieurs reprises des séquences de travail nécessitant plusieurs opérateurs, alors qu'une seule commande à deux mains était présente. Dans ce cas, les travailleurs qui oeuvrent dans la zone de danger ne sont absolument pas protégés. Il serait alors impératif qu'après avoir positionné la tôle, chaque opérateur actionne une commande à deux mains pour autoriser la séquence de pliage.
2. Nous avons mentionné au point 1 ci-dessus que la commande à deux mains était installée à une certaine distance de la zone de danger de la presse. Les opérateurs ne semblent cependant pas conscients de l'importance de cette notion de distance, qui doit être établie en fonction du temps d'arrêt de la presse et de la vitesse maximale de la main.
3. Sur les 15 commandes à deux mains recensées, 5 sont installées sur des pupitres mobiles et 10 sur le tablier supérieur de la presse. Les pupitres mobiles permettent de s'adapter à la spécificité de l'opération de pliage et aident l'opérateur à trouver une position permettant de contrôler visuellement la phase de pliage. Cependant, lorsque la commande à deux mains se trouve sur le tablier supérieur de la presse (voir figure 32), nous constatons qu'une telle disposition contrevient aux règles d'ergonomie stipulées dans l'article 4.4 de la Norme.

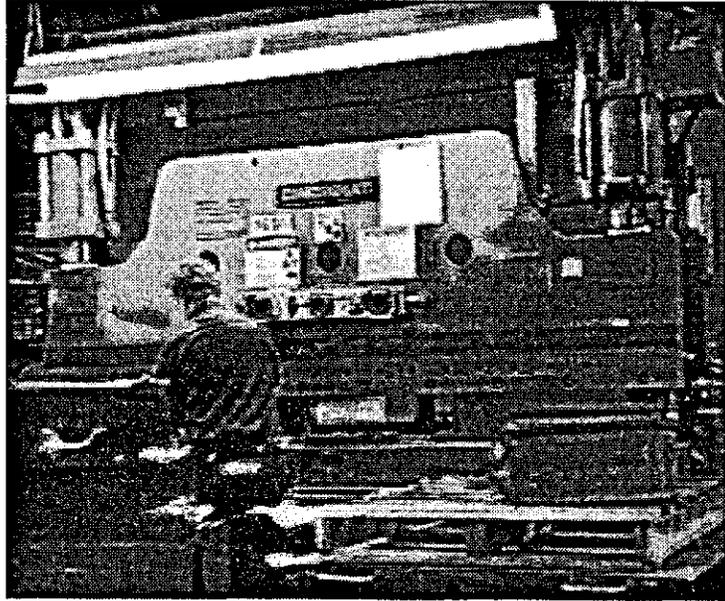


Figure 32 : Commande à deux mains installée sur le tablier supérieur

4. L'usage d'une commande à deux mains rend nécessaire l'utilisation des accessoires (support de tôle, butée arrière), car l'opérateur ne peut pas maintenir la tôle pendant le pliage.

Nous pouvons conclure les observations précédentes en relevant les éléments importants liés à l'efficacité de ce dispositif de protection.

Les conditions d'utilisation de la commande à deux mains sont ignorées dans la grande majorité des cas. Les paramètres tels que la vitesse de la main et le temps d'arrêt de la machine ne sont pas connus et, par conséquent, une mauvaise disposition du pupitre de commande (trop près de la zone dangereuse) rend ce type de protection presque inopérant. Le même problème se pose lorsque plusieurs opérateurs travaillent sur la même presse.

Lorsque cette commande se trouve sur la machine, sa disposition n'est pas ergonomique et rend ainsi le travail de l'opérateur très inconfortable.

Il est important de souligner que la commande à deux mains est incompatible avec l'absence d'accessoires obligeant l'opérateur à accompagner la tôle en cours de pliage.

3.5.2 Dispositif photoélectrique

Parmi les machines observées, 2,8 % (soit 3 machines sur 107) sont équipées d'un dispositif de protection basé sur un rideau lumineux qui utilise des cellules photoélectriques infrarouges.

Nous avons pu remarquer que le dispositif photoélectrique est toujours actif au repos de la presse et lors de la descente du tablier, jusqu'à ce que ce dernier ait atteint une position prédéterminée par l'opérateur. Cette position est telle que l'ouverture entre le poinçon et la tôle n'excède pas 6 mm (selon les spécifications de la Norme). Le rideau est toujours désactivé à partir de cette position et pendant la remontée du tablier (retour à son point mort haut).

Suivant cette procédure, l'opérateur peut choisir deux modes de fonctionnement distincts :

- mode cycle par cycle;
- mode séquence.

Le choix du mode de fonctionnement est dicté par les exigences et les spécifications liées au type de production (taille de la tôle, forme de la pièce finale, etc.).

- Dans le **mode cycle par cycle**, l'opérateur (ou les opérateurs) place la tôle puis actionne la pédale qui commande le pliage. Nous avons observé que ce mode est surtout utilisé lorsque les tôles manipulées sont larges, nécessitant l'intervention de plusieurs opérateurs. Lorsque l'ouverture entre le poinçon et la matrice est réduite (ce qui est le cas en mode séquence), cela rend plus difficile le placement et l'insertion de la tôle.

Un autre problème se pose lorsqu'un ou plusieurs faisceaux du rideau lumineux sont accidentellement interrompus par des plis perpendiculaires existant sur la tôle à plier, par des consoles de support de tôle, ou par le mouvement et l'inclinaison de la tôle. Nous avons observé que dans de tels cas, l'opérateur désactive certaines des cellules (émetteur et récepteur) de façon à obtenir une ouverture d'accès plus large.

Nous avons observé qu'une ouverture d'accès de 50 mm (entre le poinçon et la tôle) ajustée volontairement par un opérateur lui a permis de plier des tôles ayant un ou deux rebords mesurant 50 mm ou moins. Ce genre de situation peut compromettre la sécurité de l'opérateur, puisque la présence de doigts ou d'objets mesurant moins de 50 mm d'épaisseur, placés entre le poinçon et la matrice, n'interrompt plus le cycle de la machine.

Nous constatons que ce dispositif de sécurité n'est pas adapté à tous les besoins dictés par la production. Il faut, par conséquent, sérieusement envisager la conception de nouveaux dispositifs de sécurité basés sur de nouvelles technologies, telles que la détection et la localisation des membres supérieurs par un système de vision artificielle.

- Dans le **mode séquence**, l'opérateur actionne la pédale qui commande la descente du tablier jusqu'à une position sécuritaire préétablie, puis il positionne la tôle avant de commander le pliage, en actionnant la pédale une seconde fois.

Ce mode est utilisé essentiellement lorsqu'un opérateur unique manipule des tôles de taille moyenne ou petite. Ainsi, dans le cas de très petites tôles, l'opérateur peut placer ses doigts à proximité du poinçon sans courir le moindre risque, puisque l'ouverture ne permet plus l'intromission des mains.

Nous avons observé qu'un problème d'ordre pratique se pose lorsque l'opérateur retire la pièce avant que le tablier ait atteint le point mort haut. Rappelons que les cellules photoélectriques sont désactivées pendant la remontée du tablier et que, par conséquent, la détection de la présence et du retrait de la main ne peut se faire que lorsque le rideau lumineux s'établit à nouveau. Dans un tel cas, le fonctionnement de la presse est inhibé, et le cycle doit être réinitialisé par l'opérateur, en plaçant la main dans le rideau lumineux des cellules photoélectriques puis en la retirant.

Nos multiples observations nous permettent de noter que, dans la majorité des cas, l'ouverture entre le poinçon et la tôle est ajustée entre 6 mm et 12 mm afin de permettre à l'opérateur d'insérer la tôle plus facilement. Dans cette circonstance, la protection de l'opérateur est supprimée alors que les risques subsistent.

Nous pouvons à présent résumer les points importants liés à l'efficacité d'un dispositif de sécurité basé sur des cellules photoélectriques :

- *Le dispositif est souvent incompatible avec les exigences de la production. Ceci incite les utilisateurs à désactiver ou à contourner le dispositif au détriment de leur sécurité, et on peut remarquer à cet égard un écart entre la situation réelle et celle préconisée par la norme CSA-Z142-M90 (article 9.1.1.2, alinéa c).*
- *La distance de sécurité entre le faisceau lumineux et le point de pincement de la presse est une caractéristique importante dont il faut tenir compte lors de l'installation du dispositif. Nous avons appris que les opérateurs ne savent pas comment calculer exactement cette distance, qui doit tenir compte du temps d'arrêt de la presse et de la vitesse que peut atteindre la main à l'entrée de la zone dangereuse. Nous avons observé que la distance généralement adoptée est de 305 mm (12 pouces), et ceci, sur des machines de caractéristiques différentes.*

Si le dispositif photoélectrique est un système de protection efficace en soi, nous avons observé que son utilisation demeure complexe et problématique. Or, les risques associés à une utilisation inadéquate du dispositif sont importants. Il existe de toute évidence des lacunes en ce qui a trait à l'application de la Norme sur la distance sécuritaire et sur l'ouverture d'accès.

3.5.3 Résumé

Il importe de rappeler que seulement 15,9 % des presses-plieries étudiées sont équipées d'un dispositif destiné à protéger l'opérateur pendant les opérations. Ceci implique d'emblée que 84,1 % des machines ne sont pas conformes au Règlement en vigueur, lequel stipule qu'un dispositif de protection est obligatoire.

Nos observations et nos analyses précédentes démontrent que, lorsqu'un dispositif de sécurité est utilisé, son efficacité est malheureusement souvent réduite, soit par une méconnaissance des conditions d'utilisation et un manque de formation des opérateurs, soit par une inhibition partielle ou totale du système pour des raisons d'incompatibilité avec les exigences de la production.

3.6 Analyse des risques liés aux méthodes de travail

Sur la base de nos observations, nous ferons la démonstration que les méthodes actuelles de travail sur les presses-plieries comportent des risques à la sécurité du travail. Ces risques peuvent être diminués ou éliminés par l'installation de moyens de protection supplémentaires ou par l'établissement de procédures de travail adéquates. Certains de ces moyens et procédures sont explicités dans la Norme et dans la littérature relative au travail sur les presses-plieries.

3.6.1 Travail simultané de plusieurs opérateurs sur une même presse-plierie

Selon nos observations, le nombre d'opérateurs travaillant simultanément sur une même machine varie entre un et trois. Le nombre d'opérateurs est imposé par les spécifications du travail à accomplir (taille et poids de la tôle, etc.) et est conditionné par les caractéristiques de la presse-plierie (longueur du tablier, tonnage, etc.). Le tableau 27 présente les résultats d'observations et d'entrevues avec les responsables des usines visitées concernant le travail simultané de plusieurs opérateurs sur une même machine.

Tableau 27 : Possibilités de travail simultané	
Nbre d'opérateurs affectés à une même presse-plierie	Nombre de machines
1 seulement	56
jusqu'à 2	49
jusqu'à 3	2

Avant de poursuivre notre analyse, nous tenons à rappeler les exigences de la norme CSA-Z142-M90 actuellement en vigueur en ce qui concerne le travail simultané de plusieurs opérateurs sur une même machine. Cette Norme (article 9.1.2) mentionne que «Chaque personne devant

utiliser la même presse doit être protégée convenablement, cette protection ou les commandes doivent être reliées pour obliger les opérateurs à actionner simultanément la presse...».

Ceci implique que les 51 presses pouvant accueillir simultanément plus d'un opérateur doivent être équipées de commandes multiples. Or, au tableau 13 (*supra*), nous avons recensé 27 machines ayant des commandes doubles, mais seulement 10 presses-plieses disposant chacune de 2 commandes qui doivent être actionnées simultanément pour autoriser le cycle de fonctionnement.

Ces résultats démontrent que, dans 80 % des cas (41/51), les opérateurs secondaires, qui sont des aides à l'opérateur principal, ne sont pas protégés lorsqu'ils travaillent à proximité de la zone de danger. Par conséquent, la sécurité de l'aide dépend uniquement de la vigilance de l'opérateur qui actionne la presse-pliese. De plus, il faut préciser que si la commande est une pédale et non une commande à deux mains, elle ne constitue pas un dispositif de sécurité en soi.

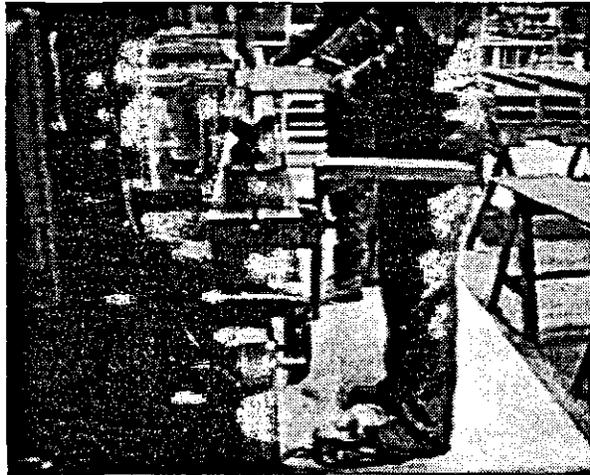


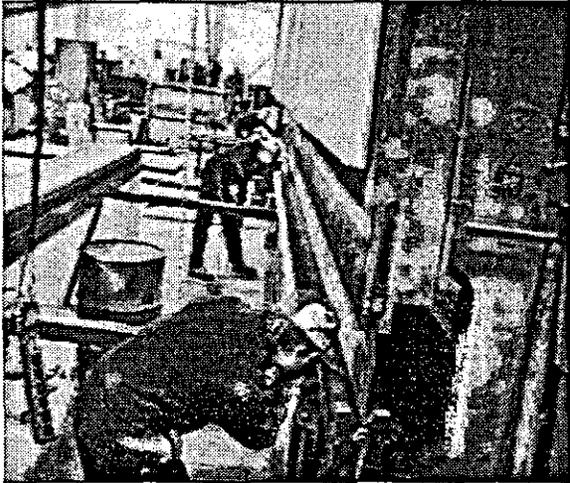
Figure 33 : Deux opérateurs avec une seule pédale

Nous précisons qu'aucune machine pourvue de trois commandes de fonctionnement simultané n'a été recensée : il n'est pas possible, par conséquent, d'assurer la protection efficace de trois opérateurs travaillant simultanément sur le même poste, comme dans les deux cas recensés (tableau 27).

Nos observations nous permettent d'identifier les circonstances où le risque est le plus important dans les situations de travail simultané d'opérateurs sur une même presse-pliese. Il s'agit des moments où :

- l'opérateur garde constamment le pied sur la pédale pendant que l'aide ajuste la position de la tôle;
- l'opérateur ou l'aide, ou les deux, tentent de repositionner la tôle après avoir actionné la commande;

- l'opérateur ou l'aide, ou les deux, ajustent le positionnement de la tôle pendant la phase de pliage (figure 34).



(a)



(b)

Figure 34 : Positionnement de la tôle pendant l'opération

- l'aide vérifie la position de la tôle par le col de cygne et donne le signal à l'opérateur d'actionner la pédale une fois la tôle bien positionnée (figure 35). Le bruit environnant peut nuire à la communication entre l'aide et l'opérateur, et la confusion d'un mot peut être à la source d'un accident grave. L'aide ne se trouve pas toujours dans le champ de vision de l'opérateur, et ce dernier peut ainsi actionner accidentellement la pédale pendant qu'une partie du corps de l'aide se trouve entre le poinçon et la matrice.

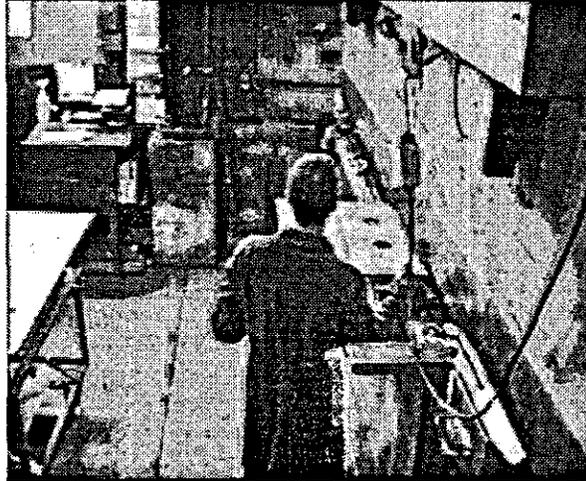


Figure 35 : L'aide vérifie la position de la tôle par le col de cygne

Afin de réduire le risque d'accidents dans le cas d'opérateurs multiples, il apparaît absolument indispensable que chaque aide-opérateur ait sa propre commande de fonctionnement, identique à celle de l'opérateur principal, afin que le fonctionnement de la presse se fasse seulement lorsque les commandes sont actionnées simultanément.

Enfin, après un certain temps d'utilisation, les tabliers subissent des déformations, c'est-à-dire que leur parallélisme n'est plus constant. Pour compenser ces déformations, les opérateurs utilisent des techniques empiriques qui consistent à placer des feuilles de papier cartonnées sur la tôle à l'endroit de la déformation pendant la phase de pliage (figure 36). Ces situations sont habituellement constatées lors du formage de grandes tôles.

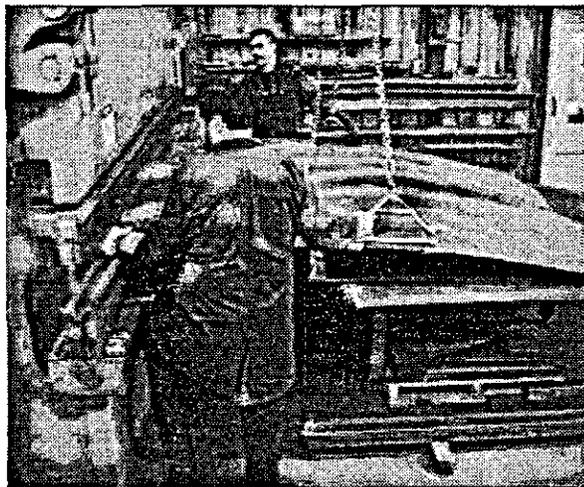


Figure 36 : L'aide place une feuille de papier sur la tôle pendant le pliage

À ce propos, la littérature fournit des solutions qui consistent à placer des cales sous la matrice ou sous le porte-matrice lors du réglage, plutôt que sur la tôle pendant le pliage.

3.6.2 Types de pliage

Comme nous l'avons déjà mentionné à la section 2.3.2.1, nous distinguons essentiellement deux techniques de pliage, qui sont :

- le pliage en frappe;
- le pliage en l'air.

Le choix de l'une ou l'autre de ces techniques est dicté par les aspects qualitatifs du produit final.

Nous analysons ici les risques encourus par l'opérateur lorsqu'il utilise ces méthodes.

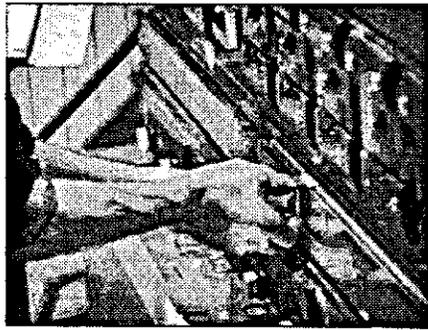
Nous avons observé que, quel que soit le type de pliage utilisé, l'opérateur maintient la tôle et accompagne son mouvement pendant la phase de pliage. Les dangers inhérents à l'accompagnement de la tôle pendant le pliage peuvent se concrétiser par des heurts avec la tôle (suivant sa taille), ce qui peut occasionner des blessures dans la partie supérieure du corps de l'opérateur. Nous avons remarqué que ces risques sont bien plus importants lorsque la technique du pliage en frappe est utilisée, puisque la tôle se relève de façon plus brutale, ce qui peut surprendre l'opérateur.

Afin de réduire ou d'éliminer ces risques, nous préconisons l'usage d'accessoires adéquats destinés, par exemple, à maintenir la tôle jusqu'à ce que le contact entre cette dernière et le poinçon soit établi. Pour ce faire, plusieurs solutions sont envisageables : des électro-aimants si les tôles sont ferreuses, un maintien de la tôle par aspiration, etc. Ces solutions permettent à l'opérateur de commander et de superviser l'action de pliage à une distance sécuritaire de la zone dangereuse de la presse.

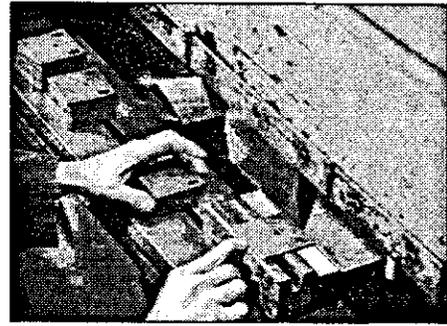
3.6.3 Méthodes de travail

Les méthodes de travail que nous avons pu observer dans les usines ne sont pas standardisées. Elles sont bien souvent spécifiques et laissées à la discrétion de l'opérateur. **Ce dernier, sous la pression des impératifs de la production, doit souvent choisir des méthodes de travail inadéquates qui peuvent, par conséquent, entraîner des accidents graves.**

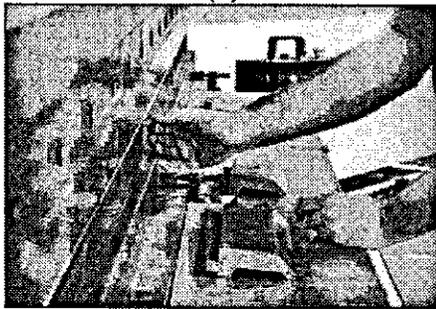
Nous avons constaté qu'à cause d'outils inadéquats, les mains de l'opérateur sont fréquemment présentes dans la zone de danger pendant la fermeture de l'outil, afin de maintenir fermement en place les tôles de petites dimensions (figure 37). La raison invoquée par l'opérateur est que, lorsque le poinçon entre en contact avec la tôle, il peut la faire dévier et ajuster ainsi la précision du pliage désiré. De plus, l'opérateur doit suivre le mouvement de redressement de la tôle pour éviter que celle-ci ne reste prise au poinçon et ne soit déformée en chutant. Il faut noter que le bruit d'impact et les vibrations générées par d'autres machines avoisinantes (cisailles, etc.) constituent également une raison supplémentaire qui implique le maintien de la tôle.



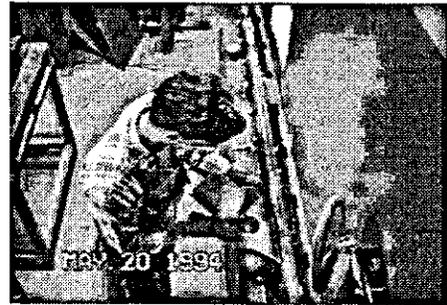
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 37 : Manipulation des petites tôles

Les paragraphes qui suivent présentent une discussion de la sécurité des opérateurs en fonction des méthodes de travail, basée sur les observations de différentes phases de travail en industrie.

3.6.3.1 Travail en général

- 1) Lorsque l'opérateur effectue des pliages sur une grande série de pièces identiques, la rapidité de la cadence de production réduit sa sécurité. En effet, il développe un certain automatisme de ses gestes dans le déroulement des opérations et perçoit cette habitude gestuelle comme une expérience qui accroît sa sécurité.

En fait, nous avons observé que les effets du travail en série s'opposent diamétralement à l'assurance prise par l'opérateur. On détecte au contraire une baisse de vigilance qui, doublée de l'accumulation de fatigue et de crispation dues à la répétition des gestes, favorise la désynchronisation des mouvements entre les bras et le pied qui actionne la commande. ¹

Nous avons constaté que cette déconcentration est éliminée lorsqu'un dispositif du type barrière photoélectrique est utilisé, car il ralentit la cadence de production et maintient l'opérateur en attente active. Mais il devrait être évident qu'on ne doit pas compter sur l'attention du travailleur comme une mesure de prévention des accidents.

2) L'opérateur maintient la pièce par l'arrière, son bras contournant le poinçon (figure 38).

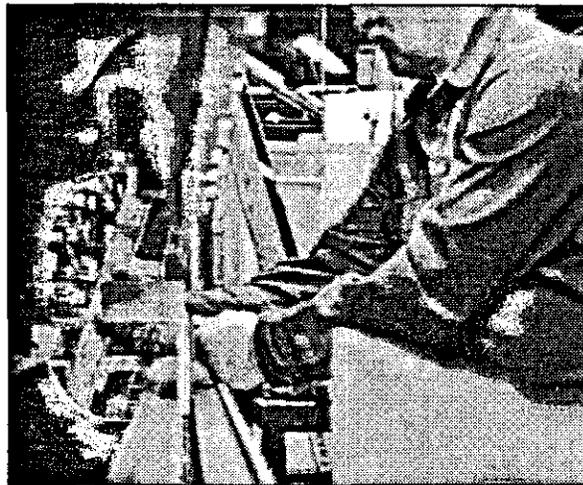


Figure 38 : L'opérateur maintient la pièce par l'arrière

3) Lorsque l'opérateur se sert d'une main pour insérer la pièce et de l'autre pour la retirer (figure 39), les mouvements des deux mains sont souvent mal synchronisés. On observe alors que, par souci de rapidité, les mains se déplacent vers le point de pincement avant la fermeture des outils.

¹ Le niveau de vigilance varie en fonction d'un changement du niveau d'éveil. Un tel changement survient lors de l'exécution d'une tâche ennuyeuse ou répétitive (voir National Safety Council (1990) : *Kick (Foot) Presses*. Data Sheet I-363 Ref. 90).

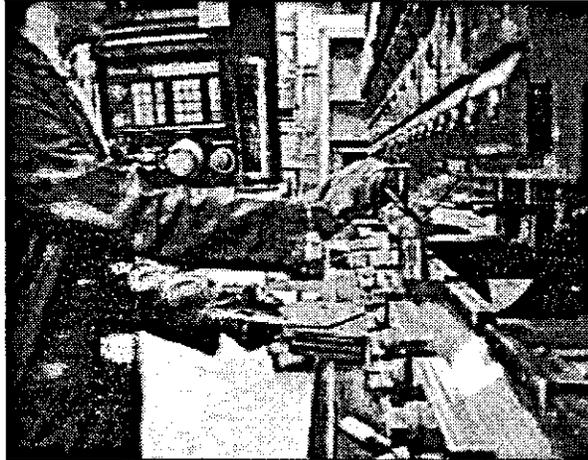


Figure 39 : L'opérateur se sert d'une main pour insérer la pièce et de l'autre pour la retirer

- 4) Lorsque la pièce tombe derrière le tablier, l'opérateur la recherche; son bras est alors sous le poinçon et il ne retire pas son pied de la pédale.
- 5) L'opérateur tente de repositionner la tôle après avoir actionné la commande.
- 6) L'opérateur garde constamment son pied sur la pédale.
- 7) L'opérateur insère ou retire la pièce pendant que son attention est détournée.
- 8) L'opérateur mesure l'endroit du pliage pendant l'opération (figure 40).

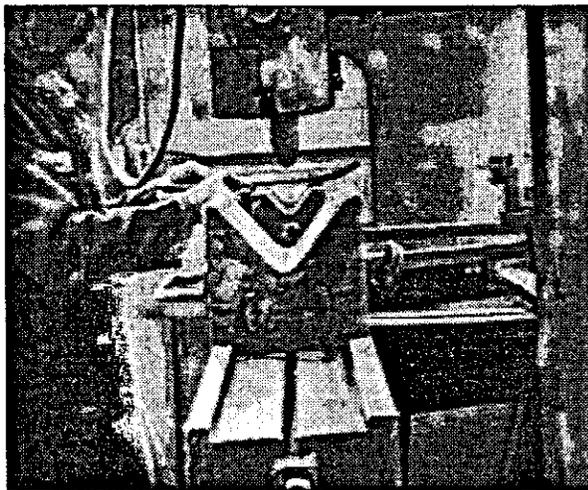


Figure 40 : L'opérateur mesure l'endroit du pliage pendant l'opération

Les points 2 à 8 montrent que ces pratiques de travail sont très dangereuses pour l'opérateur. Ces dangers ne pourront être éliminés que par l'utilisation d'un dispositif de sécurité adéquat, comme par exemple un barrage immatériel (photoélectrique).

3.6.3.2 Travail en bout

La technique de travail en bout est employée pour former des parties coniques ou pour exécuter un pliage dont l'angle varie sur toute la longueur du pli. Cette méthode présente un risque pour l'opérateur car, comme celui-ci se trouve à l'intérieur de la zone de danger, il ne peut pas être protégé efficacement par les dispositifs actuellement disponibles.

Même pour l'exécution de pliages simples, lorsque les butées arrière ne sont pas disponibles, certains opérateurs optent pour le travail en bout (figure 41). Cette méthode permet à l'opérateur de mieux positionner la pièce, et surtout, de mieux visualiser la descente du poinçon suivant un tracé sur la feuille de métal. Cette opération s'effectue souvent en coup par coup (si la machine est à cycle partiel), ce qui laisse le temps à l'opérateur d'ajuster la position de la tôle pendant la descente du coulisseau. Mais la précision obtenue par tâtonnements reste très aléatoire et, si la qualité du pliage ou du formage fait défaut, il faut recommencer l'opération.

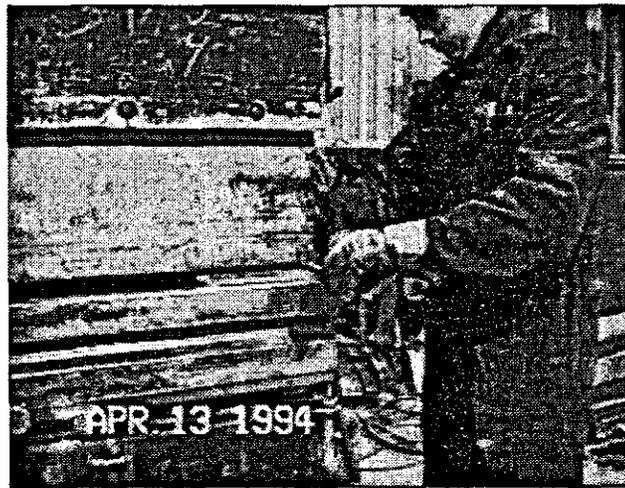


Figure 41 : Travail en bout pour réaliser un pliage simple

Pour une meilleure compréhension de la problématique, nous allons discuter des méthodes de travail observées lors de la formation des cônes.

- **Formation des cônes**

La formation des cônes concentriques ou excentriques, complètement fermés (base circulaire de 360°) ou semi-ouverts (base circulaire $<360^\circ$), exige que l'opérateur soit situé extrêmement près de la machine afin de maintenir et de guider la pièce pendant l'opération de formage.

Les deux extrémités de la tôle sont tracées à l'aide d'un marqueur et d'un gabarit avant l'opération.

- La formation des cônes fermés nécessite le travail en bout (figure 42), ce qui signifie que l'opérateur est obligé d'effectuer ses travaux en bout de l'outil de pliage. Le travail s'effectue coup par coup et par pliages en l'air successifs suivant des lignes convergentes, la pièce s'enroulant autour du poinçon.



(a)



(b)

Figure 42 : Formation d'un cône fermé

La formation des petits cônes semi-ouverts peut s'effectuer par l'avant de la machine. L'opérateur tient la tôle par les deux extrémités : une main devant la machine et l'autre en arrière, le bras contournant le poinçon pendant l'opération. Comme pour le travail en bout, la tôle s'enroule et appuie fortement contre le poinçon suite aux pliages en l'air successifs. Ainsi, une fois l'opération terminée, la pièce obtenue reste prise au poinçon et il est souhaitable de la dégager par la profondeur du col de cygne de façon à ne pas la déformer.

La finition d'un cône est souvent réalisée par des coups de marteau.

- La formation de grandes pièces coniques semi-ouvertes peut se faire uniquement par l'avant de la machine, car leur manipulation nécessite deux travailleurs et parfois l'utilisation d'un treuil ou d'un pont roulant.

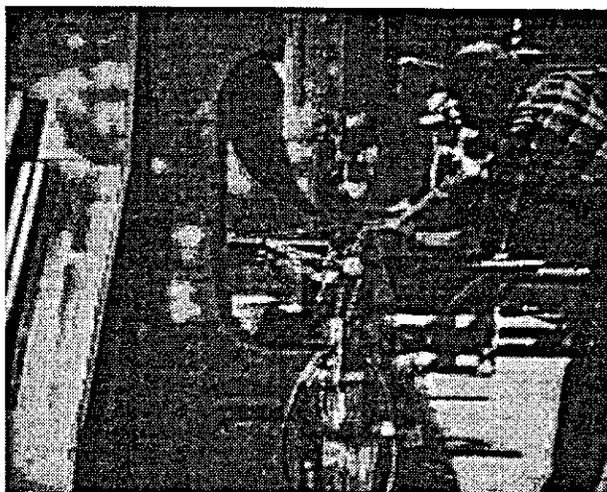


Figure 43 : Formation d'une grande pièce conique semi-ouverte

Bien que les méthodes employées pour former des petits cônes soient très dangereuses pour l'opérateur, nous n'avons pas recensé de procédé de fabrication sécuritaire pour la formation des cônes dans la littérature.

Cependant, il semble indispensable de développer des accessoires spécifiques permettant de réaliser des pièces coniques sans que les membres supérieurs de l'opérateur aient à se trouver à proximité de la zone de danger. Il faut préciser que les dispositifs de sécurité disponibles actuellement ne sont pas efficaces avec ces méthodes de travail. Il serait avantageux de développer de nouvelles techniques conjointement à de nouvelles méthodes de travail.

3.6.3.3 Formation des tuyaux

Certaines entreprises utilisent régulièrement la presse-plier pour former des tuyaux, au lieu d'employer un procédé continu à partir de la débobineuse. Cette technique permet au fabricant de répondre rapidement aux besoins des clients et de maintenir un niveau d'inventaire plus bas, car il est possible d'effectuer des changements d'outils en quelques minutes, contrairement à un procédé continu qui requiert plusieurs heures de montage.

Cette méthode de travail emploie généralement deux travailleurs localisés à chacune des extrémités de la tôle. Les endroits de pliage sont identifiés, avant l'opération, à l'aide d'un gabarit et d'un marqueur. La tôle est introduite par l'avant de la machine, manuellement ou à l'aide du pont roulant. La formation des tuyaux s'effectue en deux étapes principales :

- la première consiste à former la première moitié de la tôle (celle-ci présente alors un côté plat et un côté courbe);
- la seconde consiste à réaliser les pliages de l'autre moitié de la tôle.

Identique à la formation des cônes, la formation des tuyaux s'effectue par pliages successifs en l'air, la tôle s'enroulant autour du poinçon et y restant prise. Les deux côtés du tuyau sont appuyés fermement contre le poinçon. Pour cette raison, le dégagement de la pièce doit se faire par la profondeur du col de cygne.

Nous observons que, pour la réalisation des formages, l'utilisation d'une butée arrière est inefficace, contrairement à ce qui se produit pour le pliage. La tôle, initialement plate, doit subir une courbure progressive après chaque coup de presse. Bien que le contrôle numérique permette d'effectuer une mise en place automatique des butées arrière, cette action est impossible dans le cas qui nous occupe, car il est impossible de prévoir la position exacte du relèvement de la tôle après chaque coup de presse. La formation des tôles s'exécute généralement par tâtonnements. La même pièce finie peut avoir requis un nombre différent de coups de presse.

Bien que les méthodes de fabrication observées lors de la formation de tuyaux soient préconisées par la littérature, nous avons constaté qu'elles comportent des risques à la sécurité de l'opérateur et peuvent par conséquent être qualifiées de dangereuses.

3.6.4 Outillage

L'outillage joue un rôle important dans la sécurité du travail sur les presses-plier. En effet, le choix adéquat des outils permet, dans la majorité des cas, de réduire le nombre de coups de presse pour obtenir le produit final. Étant donné que les risques sont présents à chaque coup de presse, la diminution du nombre de coups entraîne forcément la diminution des instants dangereux qui y sont associés. **Malheureusement, nous avons observé que les outils spéciaux, déportés ou ondulés, qui permettent de réduire le nombre de coups de presse, sont rarement utilisés.**

Lorsque les presses-plier sont utilisées pour fabriquer des pièces à l'unité, les opérateurs doivent constamment changer les outils. La fréquence du changement d'outils peut varier d'une machine à l'autre en fonction des accessoires qu'elle possède.

Nous avons observé qu'aucune mesure de sécurité n'était prise lors de ces remplacements d'outils. À ce sujet, la norme CSA-Z142-M90 stipule que «... des blocs de sécurité doivent être installés sous le poinçon afin de le bloquer pour le remplacement, le montage des matrices ou lorsque tout travail de maintenance est effectué dans la zone dangereuse.»

L'adaptation d'outils spécifiques permet également de modifier le mode d'utilisation de la machine et ainsi, de réaliser des tâches diverses, telles que le poinçonnage, le découpage et l'écrasement des plis, avec la même presse-plier. Le tableau 21 (*supra*) résume les différentes opérations effectuées par les presses-plier. Ces données montrent à l'évidence que la grande majorité des presses-plier (90,7 %) sont utilisées pour plier, former et redresser des tôles, alors que seulement 8,4 % d'entre elles offrent la possibilité de réaliser des poinçonnages et 0,9 %, des découpages.

3.6.5 Résumé

L'analyse des risques liés aux méthodes de travail actuelles nous a permis de démontrer que des outils mal conçus et des procédures de fabrication inadéquates comportent des risques à la sécurité du travail. Cependant, ces risques peuvent être diminués ou éliminés en réduisant l'écart entre les situations réelles et les exigences de la Norme. Voici, à cet égard, un rappel des éléments qui se dégagent de notre analyse.

- Il faut assurer la formation des opérateurs de façon à ce qu'ils soient bien informés des dangers.
- L'attention de l'opérateur ne constitue pas une mesure de prévention.
- Il faut équiper les presses-plieres des accessoires et outils adéquats de façon à ce que l'exécution des tâches soit toujours sécuritaire et optimale.
- Les travaux qui nécessitent plusieurs opérateurs simultanément ne doivent être effectués que si la machine est équipée d'un dispositif de protection offrant le même degré de sécurité pour chacun des travailleurs.
- Les méthodes actuelles de fabrication des boîtes de faibles dimensions, des tuyaux et des cônes sont dangereuses. Les moyens de protection des opérateurs sont à développer. La fabrication de ces pièces devrait s'effectuer seulement lorsque la protection des opérateurs est assurée.
- Même lorsque les méthodes de travail sont adéquates, elles ne doivent pas exclure l'usage d'un dispositif de sécurité adapté.

Afin d'assurer une prévention efficace des accidents, il faut évidemment intégrer la préoccupation de la sécurité de l'opérateur aux travaux de toutes les phases du cycle de vie d'un produit, à partir du développement préliminaire jusqu'à la distribution, en passant par la conception de l'outillage et la planification des systèmes de production. Ce nouveau mode de prévention, l'ingénierie simultanée, est traité plus en détail à la prochaine section.

3.7 L'ingénierie simultanée comme moyen de prévention des accidents du travail

Les sections précédentes montrent différentes sources de danger auxquelles sont confrontés quotidiennement les opérateurs de presses-plieres dans leur travail. D'une part, les machines ne sont pas toujours munies des dispositifs de sécurité élémentaires, tels que le bouton d'arrêt d'urgence et le mécanisme d'antirépétition, et, d'autre part, les moyens et les dispositifs de protection sont parfois mal adaptés aux exigences concrètes du travail. À maintes reprises, nous avons pu constater que la présence d'un dispositif de sécurité sur une presse-plierie ne garantit pas une protection efficace de l'opérateur, que ce soit à cause des limites de l'utilisateur ou d'une mauvaise utilisation du dispositif. Par ailleurs, les méthodes de travail sont trop souvent laissées à la discrétion des opérateurs, tant et aussi longtemps que le rendement de la production est jugé satisfaisant.

Face à ces constats alarmants, il importe d'examiner la structure organisationnelle des entreprises ainsi que les stratégies habituelles de prévention des accidents afin de trouver des solutions pratiques et efficaces, c'est-à-dire capables de prévenir les accidents du travail tout en respectant le rendement de la production de l'entreprise.

Sur le plan de la structure organisationnelle de la production, il est connu que la majorité des entreprises industrielles pratiquent l'ingénierie séquentielle. La figure 44 représente la structure séquentielle habituelle d'un établissement industriel.

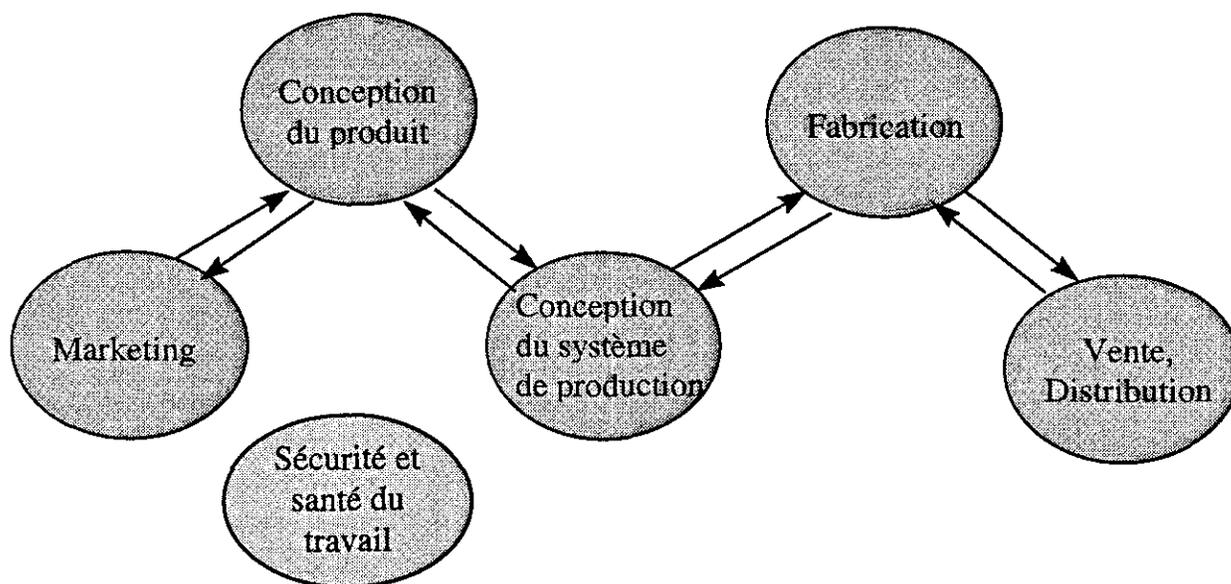


Figure 44 : Structure organisationnelle de l'ingénierie séquentielle

Cette structure regroupe les ressources de l'entreprise en fonction de leur domaine d'expertise et établit, par conséquent, un cloisonnement des différents services. Chaque groupe exécute sa tâche dans un ordre préétabli, suivant la séquence habituelle du développement d'un produit : le marketing, la conception, la planification, la production, la distribution. Ce mode de fonctionnement comporte plusieurs lacunes, dont les plus importantes sont les suivantes :

- Personne n'est responsable de l'ensemble du processus de développement du produit;
- Aucune étape ne peut débuter avant la fin de l'étape précédente;
- Le concepteur n'a pas l'occasion de tenir compte, dès l'étape initiale du projet, de la capacité du personnel de production ainsi que des problèmes de sécurité de l'équipement. À cause du

cloisonnement, la communication entre les services est très difficile. Par ailleurs, la séquence du travail ne permet pas d'intervenir en temps opportun afin d'éviter des erreurs.

Sur le plan de la prévention des lésions professionnelles, il existe une panoplie de techniques visant à identifier et à évaluer les risques présents au sein de l'usine : il s'agit notamment de l'analyse de la sécurité des tâches, de l'analyse *a priori* des risques, des systèmes, des opérations et des postes de travail, de l'analyse des accidents et des incidents (arbre des causes, arbre des défaillances), etc. L'application de ces techniques permet aux responsables de la SST d'élaborer le programme de prévention de l'établissement et de déterminer les priorités d'intervention.

Cependant, il faut reconnaître qu'en dépit des efforts de prévention faits par les établissements que nous avons visités, de l'existence d'une législation sur la santé et la sécurité ainsi que de normes relatives à ces machines, les opérateurs sont encore exposés à des risques lors de l'utilisation des presses-plieres. L'examen de la structure organisationnelle et des mécanismes de prévention des accidents dans un établissement type nous permet de trouver des éléments d'explication à cette situation. Les points suivants sont particulièrement importants :

- Les techniques d'analyse systémique *a priori*, visant à évaluer le risque de mauvais fonctionnement d'un système, sont normalement utilisées par les responsables de la SST des établissements pour identifier les dangers et évaluer les risques présentés par les bâtiments, les ateliers, l'équipement ou même des opérations spécifiques. Cette démarche, nécessaire pour l'élaboration du programme de prévention de l'établissement, n'est cependant pas appliquée de façon systématique à toutes les opérations de fabrication — alors qu'on le fait pour les méthodes de fabrication du produit et la productivité de l'établissement. Les services de planification de la production et de SST occupent des positions différentes dans l'organigramme de la majorité des établissements industriels. Le groupe responsable de la planification de la production se situe au cœur de l'organisation de production. Quant au groupe responsable de la sécurité du travail, il se trouve cantonné, à toutes fins utiles, à un rôle de soutien : il demeure le plus souvent à l'extérieur de la chaîne de la production.
- Les techniques *a posteriori*, utilisées par les responsables de la SST de l'entreprise afin d'enquêter sur les accidents et de déterminer les priorités d'intervention de prévention, ne peuvent pas non plus déceler toutes les situations dangereuses susceptibles de survenir lors de la fabrication de pièces au moyen des presses-plieres. Il est bien connu que les méthodes de travail dangereuses ne sont souvent identifiées que lorsqu'un accident survient dans l'établissement. Par conséquent, avant un accident impliquant un outil inapproprié, le concepteur d'outillage ne reçoit pas les avis des spécialistes en SST qui l'aideraient à concevoir des outils appropriés. Il en résulte que le planificateur de la production continue à prescrire des méthodes de travail dangereuses à cause d'outils mal conçus.
- L'analyse de la sécurité des tâches («*job safety analysis*»), qui vise à identifier les risques présentés par les opérations et à trouver des moyens de prévention appropriés, est une méthode systématique applicable à toutes les méthodes de production.

Toutefois, elle est actuellement utilisée par les responsables de la SST comme une technique *a posteriori* pour traiter les méthodes de travail existantes. Elle n'est pas appliquée dès la conception d'un nouveau produit, afin d'identifier les dangers d'une nouvelle méthode de fabrication.

Personne ne conteste que les processus de fabrication doivent être planifiés et contrôlés efficacement afin d'obtenir le rendement nécessaire à la réussite économique de l'entreprise. Cependant, les méthodes de travail, qui sont bien souvent établies en respectant la capacité physique des équipements et des ressources humaines, ignorent presque toujours les risques d'accident encourus par les travailleurs pendant la production.

Notre analyse démontre que la prévention des accidents du travail doit être intégrée aux travaux de toutes les phases du cycle de vie d'un projet ou d'un produit. La protection des travailleurs doit faire partie du mandat des services de conception, de planification des systèmes de fabrication et de production du produit.

Si l'on considère que le coût des accidents du travail est un des coûts de production, il est évident que le concepteur et le planificateur des méthodes de travail doivent en tenir compte. En fait, la protection des opérateurs devrait constituer un critère primordial lors de la conception du produit et de la planification des systèmes et méthodes de fabrication de ce même produit. Afin d'évaluer de façon systématique les risques présents lors des opérations, l'analyse de la sécurité des tâches doit être conduite par le service responsable de la conception des systèmes de fabrication et de planification des méthodes de travail, avec l'aide des spécialistes en SST. Cette tâche s'intègre facilement à l'analyse des moyens de fabrication que l'on effectue obligatoirement afin de planifier la production du produit.

Les formes dangereuses doivent être évitées lors de la conception du produit, et leur fabrication devrait être permise seulement lorsque les opérateurs sont bien protégés. À titre d'exemple, nos observations permettent de savoir dès la phase de conception d'un produit que les dimensions des boîtes ont un effet sur la sécurité de l'opérateur de presse-plier, et que la fabrication des tuyaux et des cônes nécessite des opérations dangereuses. Des outils et des méthodes de travail appropriés permettront de réaliser ces opérations de manière sécuritaire.

Bien entendu, cette nouvelle façon de faire demande une communication accrue entre les divers intervenants. La structure organisationnelle courante ne permet manifestement pas les échanges nécessaires au succès de cette approche. C'est pourquoi nous nous intéressons à l'ingénierie simultanée, dont la structure organisationnelle est illustrée à la figure 45.

La tendance actuelle est de réduire les coûts de production afin d'être en mesure de se mesurer à une concurrence de plus en plus vive. Il importe de souligner que, particulièrement dans ce contexte, la stratégie de l'ingénierie simultanée présente des avantages considérables par rapport à l'ingénierie séquentielle traditionnelle, et ce, pour deux raisons principales.

Premièrement, l'ingénierie séquentielle suppose l'existence d'une structure permanente, entraînant des frais considérables à tout moment du cycle de vie des produits. Dans le cas de l'ingénierie simultanée, une organisation temporaire est créée afin de concevoir et réaliser le produit. L'activité se trouve ainsi plus facilement optimisée.

Deuxièmement, la structure organisationnelle de l'ingénierie simultanée (fig. 45) élimine le cloisonnement entre les services. Elle permet ainsi à l'équipe responsable du produit de tenir compte des renseignements fournis par les représentants des fonctions tout au long du cycle de vie du produit. Des erreurs potentiellement coûteuses peuvent ainsi être évitées dès le début du développement. Par conséquent, les coûts du produit, incluant le coût de la réparation des accidents du travail, s'en trouvent réduits.

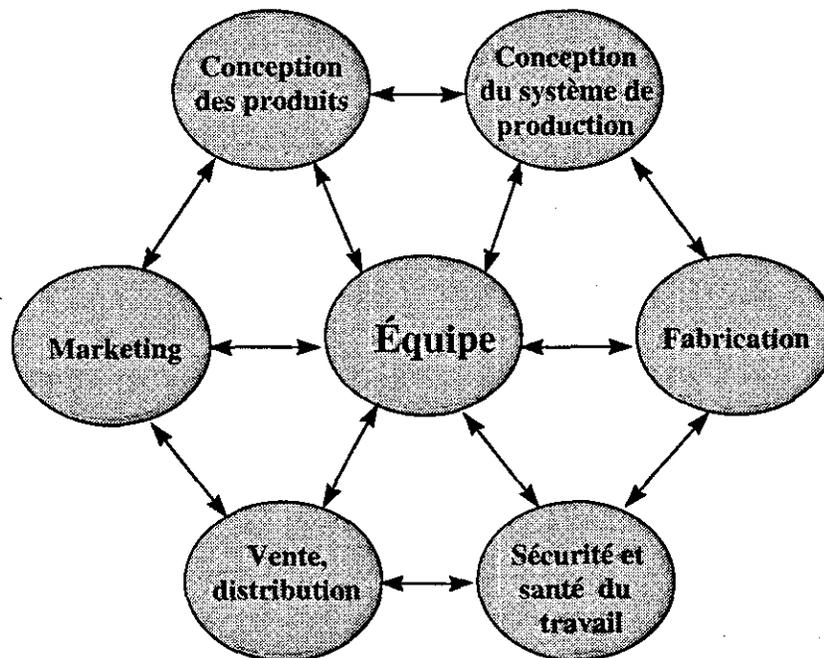


Figure 45 : Structure organisationnelle de l'ingénierie simultanée

4. CONCLUSION

L'objet de cette étude était de fournir une analyse détaillée de la sécurité des opérateurs de presses-plieres utilisées dans le secteur de la fabrication d'équipement de transport et de machines, afin d'identifier clairement les facteurs de risque et de proposer, sinon des solutions définitives, du moins des recommandations immédiates visant à réduire le risque d'accidents.

Comme dans toute analyse qui se veut substantielle, nous nous sommes interrogés sur la cohérence et la fiabilité des données recueillies. Il est rapidement devenu évident que la technique du sondage ne fournissait pas une information parfaitement fiable. C'est pourquoi notre travail porte essentiellement sur l'analyse de la sécurité des opérateurs de presses-plieres *dans les usines visitées*, où nous avons pu vérifier, compléter et valider les données obtenues au moyen du sondage. Les données sur lesquelles repose l'analyse sont ainsi cohérentes et fiables. Malgré les écarts constatés entre les résultats du sondage et nos observations, mentionnons que le sondage demeure tout de même une étape nécessaire dans ce genre d'étude, car il permet d'identifier les variables, d'établir des contacts avec les entreprises à étudier et de planifier efficacement les visites.

Cette étude nous a permis de quantifier le degré de respect de la réglementation et de la norme CSA-Z142-M90 à l'égard de la sécurité des opérateurs. Les résultats des analyses nous démontrent que la réglementation et la Norme ne sont ni respectées ni suivies dans la majorité des cas recensés. Il est donc urgent de rechercher les causes de cette déviation entre la réglementation en vigueur et la réalité des faits. C'est pourquoi nous avons dirigé nos analyses de manière à identifier les incohérences entre les exigences du Règlement et de la Norme, et celles de la production.

Nous avons fait plusieurs constats inquiétants. Tout d'abord, 84,1 % des presses-plieres utilisées ne sont équipées d'aucun dispositif de sécurité. Ce bilan est encore alourdi du fait que les dispositifs de sécurité existants sont souvent contournés ou désactivés, lorsqu'ils sont jugés incompatibles avec les besoins de la production. Notons aussi que, dans 80 % des cas, les aides-opérateurs ne sont pas protégés, et leur sécurité dépend alors entièrement de la vigilance de l'opérateur principal.

Nous avons observé que plus de 50 % des presses-plieres mécaniques sont encore dotées d'une pédale mécanique, parmi lesquelles 33 % ne sont pas protégées contre la mise en marche accidentelle d'un cycle de la machine.

Pour ce qui est des éléments de sécurité, nous avons constaté que 38,3 % des presses-plieres recensées ne disposent pas d'un bouton d'arrêt d'urgence. De plus, la disposition de ce bouton n'est pas toujours optimale du point de vue de la sécurité. Nous avons également remarqué que 11,5 % des presses sont dépourvues d'un mécanisme d'antirépétition (et ce mécanisme ne concerne que les presses mécaniques). 72,7 % des presses-plieres à embrayage à friction et 100 % des presses-plieres mécaniques à embrayage positif sont dépourvues d'un mécanisme d'antirépétition.

Le tableau suivant résume les résultats de nos analyses en ce qui a trait aux dispositifs de sécurité des presses-plieres et il présente les articles du Règlement ou de la Norme auxquels contreviennent les situations recensées.

Résultats des analyses	Règlement et Norme
84,1 % des presses-plieres ne sont pas équipées d'un dispositif de sécurité.	<i>Règlement :</i> articles : 6.1.3, 6.2.1 et 6.2.4 <i>Norme :</i> article 9
21,5 % des pédales ne sont pas protégées entièrement contre les chutes d'objet ou les fausses manoeuvres de l'opérateur.	<i>Règlement :</i> articles : 6.1.3, 6.2.1 et 6.2.6 <i>Norme :</i> article 5.1.12
Dans 80 % des cas, les aides-opérateurs ne sont pas protégés.	<i>Règlement :</i> articles : 6.1.3, 6.2.1 et 6.2.6 <i>Norme :</i> article 9.1.2
38,3 % des presses-plieres sont dépourvues d'un bouton d'arrêt d'urgence.	<i>Règlement :</i> articles : 6.1.3, 6.2.1 et 6.2.6 <i>Norme :</i> article 6.4
11,5 % des presses-plieres ne possèdent pas de mécanisme d'antirépétition. 100 % des presses-plieres mécaniques à embrayage positif et 72,7 % des presses-plieres mécaniques à embrayage à friction sont dépourvues de ce mécanisme de sécurité.	<i>Règlement :</i> articles : 6.1.2, 6.2.1 et 6.2.6 <i>Norme :</i> article 9.5.3

Cette recherche nous a permis de démontrer clairement que les méthodes actuelles de travail avec les presses-plieres comportent des risques pour les opérateurs. Cependant, ces risques peuvent être réduits ou éliminés en établissant des procédures de travail adéquates et en réduisant les écarts entre les situations réelles et les méthodes préconisées par la littérature.

Quant aux accessoires, il est à noter que, bien qu'ils ne constituent pas, en eux-mêmes, des dispositifs de sécurité, nous avons néanmoins observé qu'ils contribuent efficacement à réduire les risques d'accident.

Enfin, à la lumière de cette étude, nous pouvons conclure qu'une protection complète est le résultat d'un ensemble de facteurs, dont le dispositif de sécurité lui-même, le type de presse utilisée (avec ses accessoires) et les méthodes de travail.

5. RECOMMANDATIONS

Les recommandations suivantes se divisent en trois catégories. La première concerne la presse-pleieuse, ses caractéristiques ainsi que les améliorations de l'équipement et des accessoires visant à favoriser une qualité de travail accrue tout en réduisant le risque d'accidents. La seconde concerne directement l'applicabilité et l'efficacité des dispositifs de protection existants, mais aussi la recherche et le développement visant la conception et la réalisation de nouveaux dispositifs de sécurité. La troisième traite de l'amélioration des méthodes de travail employées et de l'établissement de procédures de travail adéquates afin de diminuer ou éliminer les risques inhérents à l'utilisation des presses-pleieuses. Ce dernier volet doit constituer une priorité d'action, étant donné que les presses-pleieuses demeurent des machines dangereuses pour lesquelles il n'existe à l'heure actuelle aucun dispositif de protection universel.

Recommandations relatives aux presses-pleieuses

Il est nécessaire d'effectuer de la recherche et du développement afin d'améliorer le fonctionnement sécuritaire de la presse-pleieuse, quel que soit le type de production. Cette recommandation concerne aussi l'usage, l'amélioration ou la conception d'accessoires qui contribuent d'une façon indirecte à la sécurité des opérateurs. Pour ce faire, les critères suivants devront être considérés :

En ce qui a trait aux commandes de fonctionnement :

- Remplacer les commande de fonctionnement archaïques, telles les pédales mécaniques fixes, par des pédales mobiles ou des commandes à deux mains.
- Protéger efficacement chaque commande de fonctionnement afin qu'une fausse manoeuvre d'un opérateur ne puisse pas engager un cycle de la machine.
- Développer des programmes d'identification des risques associés aux presses-pleieuses afin d'assurer la fiabilité et la maintenabilité des machines.

En ce qui a trait aux éléments de sécurité :

- Afin d'intervenir rapidement en cas de risque d'accident, les presses-pleieuses doivent être équipées de boutons d'arrêt d'urgence.
- La localisation des boutons d'arrêt d'urgence doit être standardisée et doit répondre à des critères d'accessibilité très stricts.

En ce qui a trait aux presses-plieruses mécaniques à embrayage à friction et à embrayage positif :

- Le dispositif d'antirépétition doit être obligatoire.
- La fiabilité de l'antirépétition de la commande doit être améliorée.
- La fiabilité de l'antirépétition du cycle doit être améliorée.
- La fiabilité du maintien à l'arrêt de la machine doit être améliorée.
- La fiabilité globale de l'antirépétition et du maintien à l'arrêt doit être améliorée par l'ajout de dispositifs redondants.

En ce qui a trait aux accessoires :

- Les consoles support de tôle contribuent efficacement à la sécurité des opérateurs et doivent être utilisées, quel que soit le mode de production.
- Effectuer de la recherche et du développement pour concevoir de nouveaux dispositifs de console support de tôle dont la taille et la structure pourraient être modifiées rapidement afin de s'adapter aux exigences de la production.
- Effectuer de la recherche et du développement pour concevoir de nouveaux dispositifs de maintien de la tôle sur le support afin que l'opérateur puisse actionner la presse dans une zone parfaitement sécuritaire.
- Les butées arrière contribuent efficacement à la sécurité des opérateurs et doivent être utilisées dans tous les cas, quel que soit le mode de production engagé.
- Les accessoires doivent faire partie intégrante de la machine.
- Au moment de la conception des machines, il est nécessaire d'intégrer la dimension de prévention des accidents et de s'assurer de prévoir que les tâches critiques (telles que le réglage, le déblocage de la machine, le dégagement de matériel, etc.) puissent être accomplies, autant que possible, hors de la zone de danger.

Recommandations relatives aux dispositifs de sécurité

Effectuer de la recherche et du développement visant à améliorer l'applicabilité et l'efficacité des dispositifs de protection existants, mais également rechercher et développer de nouveaux concepts de sécurité. Afin d'améliorer la sécurité des opérateurs, il faudra tenir compte des recommandations suivantes :

- L'installation d'une commande à deux mains ou d'un barrage photoélectrique doit impérativement tenir compte des caractéristiques de la presse utilisée (temps d'arrêt) ainsi que de la vitesse maximale de la main à l'entrée de la zone de danger.
- Les opérateurs doivent être parfaitement conscients de ces exigences de la sécurité lors de l'installation d'un des dispositifs précité.
- La disposition de la commande doit être standardisée et être parfaitement ergonomique.
- Effectuer de la recherche et du développement visant à concevoir de nouveaux concepts de protection, tels qu'un dispositif de sécurité basé sur la vision artificielle permettant de détecter, de localiser et de suivre, en temps réel, les membres supérieurs d'un opérateur dans l'exécution de la séquence de travail. Ce dispositif sera muni d'un bloc décisionnel intelligent ayant pour fonction d'inhiber le fonctionnement de la presse-plieuse dès qu'un risque majeur à la sécurité de l'opérateur sera détecté.
- Lorsque cela est possible, les dispositifs de sécurité doivent être solidement fixés à la machine et faire partie intégrante de celle-ci.
- Les dispositifs de sécurité doivent être conçus de telle manière qu'il ne soit pas nécessaire de les retirer lors du réglage et de l'entretien de la machine.
- Une bonne conception des dispositifs de sécurité est nécessaire mais insuffisante. Les dispositifs doivent aussi répondre à des objectifs de sécurité et de production.

Recommandations relatives aux méthodes de travail

La protection des opérateurs doit être considérée dans toutes les phases du cycle de la vie d'un produit. Plus spécifiquement :

- La stratégie d'ingénierie simultanée doit être favorisée par rapport à celle de l'ingénierie séquentielle traditionnelle, afin de permettre une communication efficace de l'information pertinente à la sécurité des opérateurs.
- L'analyse de la sécurité des tâches doit être effectuée par le service de conception des systèmes de production et de planification des méthodes de travail, pour toutes les opérations de fabrication du produit, au même titre que les analyses de fabrication et de productivité.

- Établir les critères relatifs à la sécurité des opérateurs permettant au concepteur du produit de les considérer dès le début du développement du produit.
- Informer les opérateurs du fonctionnement des presses-plieres et des dangers de l'utilisation de ces machines, et les former à des pratiques de travail sécuritaires.
- Les méthodes de travail ne doivent pas être improvisées. Elles doivent toujours être conformes aux exigences de la sécurité et à la standardisation proposée par la littérature.
- Effectuer de la recherche et du développement pour assurer la sécurité des opérateurs dans le cas d'opérateurs multiples, du travail en bout, de la fabrication des tuyaux et des boîtes de petites dimensions.
- La vigilance des opérateurs ne constitue aucunement un moyen de prévention des accidents du travail impliquant des presses-plieres.
- Effectuer de la recherche et du développement pour développer des moyens de protection de l'opérateur et des nouvelles méthodes de travail sécuritaires, notamment pour éliminer le travail en bout comme c'est le cas actuellement pour la formation des cônes, pour la fabrication des tuyaux et des boîtes de petites dimensions.
- Enfin, il faudrait voir à standardiser la terminologie des méthodes de travail de manière à créer un langage commun entre les divers intervenants.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, R. et Mougeot, B. (1990) : *Presses à clavette*. INRS, Fiche technique - ED 735.
- Allsteel (1987) : *Hydro Mechanical Press Brakes*. Catalogue.
- American National Standards Institute (1988) : *Mechanical Power Presses — Safety Requirements for Construction, Care, and Use*. ANSI B11.1-1988.
- American Society for Metals (1969) : *Metal Handbook — Forming*, Vol. 4.
- Anonyme (1985) : *Foreseeable Errors in the Use of Foot Controls on Industrial Machines*. *Applied Ergonomics*, June, pp. 103-111.
- Anonyme (1984) : «Le laser au service de la sécurité». *Travail et sécurité*, n° 3, pp. 171-177.
- Anonyme (1974) : *Presses hydrauliques et pneumatiques, prescriptions relatives aux mesures de protection*. Stockholm, Arbetarskyddsstyrelsen, traduction INRS.
- Association Canadienne de Normalisation (1977) : *Code des systèmes de protection des presses au poste de travail*. Norme ACNOR Z-142-1976.
- Beauchemin, F. et Guertin, S. (1989) : *Presses, cisailles, plieuses, étude des accidents dans cinq usines de fabrication de produits en métal*. Ergo Norme Inc.
- 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.
- Bélanger, R., Massé, S., Tellier, C., Bourbonnière, R., Sirard, C. (1994) : *Évaluation des risques associés à l'utilisation des presses à métal dans l'industrie québécoise*. IRSST, Guide technique.
- Canadian Standards Association (1990) : *Code for Punch Press and Brake Press Operation: Health, Safety and Guarding Requirements*. CAN/CSA-Z142-M90.
- CSST (1985) : *Dispositifs de protection sur les machines*.
- Gouvernement du Québec (1990) : *Règlement sur les établissements industriels et commerciaux*, S-2.1, r.9.
- Gunnar, G., (1975) : «Increased Safety at Mechanical Presses in Sweden». *Professional Safety*, Vol. 20, No.2, Vol. 3, 20, No. 3, p. 33-37,

- Health and Safety Executive (1984) : *Press Brakes*. London.
- Health and Safety Executive (1981) : *Power Press Safety - Press Tool Design Part 1: Safety in Manipulation*. London.
- Health and Safety Executive (1979) : *Power Press Safety- General Matters-Arrestor Brakes*. London.
- Henry, J. (1987) : *Pliage et cintrage - Soudage - Montage*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Éducation, Note technologique 33.
- Industrial Safety (1974) : *Binary Function Monitoring - A New Lightguard Technique for Break Presses*. Vol. 20. No. 9, pp. 13-18.
- INRS (1978) : *La sécurité dans l'emploi des machines-outils travaillant par formage ou cisailage*.
- INRS (1969) : *Protection des presses pour le travail à froid des métaux*. Note n° 657-56-69, Cahier de notes documentaires, n° 56, 3^e trimestre 1969.
- Leloup, S. (1987) : *Équipements en soudage - Soudage - Montage*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Éducation, Note technologique 34.
- Mougeot, B. (1988) : *Presses plieuses*. INRS, Fiche technique de sécurité - ED 714.
- Mougeot, B. et Pierson, G. (1984) : «Laser pour presses-pliesuses». *Travail et sécurité*, n° 3, pp. 130-132 et 169-170.
- National Safety Council (1991) : *Electrical Controls for Mechanical Power Presses*. Data Sheet I-624 Rev. 91.
- National Safety Council (1990) : *Kick (Foot) Presses*. Data Sheet I-363 Reaf. 90.
- National Safety Council (1990) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Two-Hand Control and Two-Hand Tripping Devices*. Data Sheet I-714 Reaf. 90.
- National Safety Council (1989) : *Power Press Safety Manual*.
- National Safety Council (1989) : *Removing Piece Parts from Dies in Mechanical Power Presses*. Data Sheet I-534 Rev. 89.
- National Safety Council (1988) : *Accident Prevention Manual for Industrial Operations — Engineering and Technology*. Ninth Edition.

- National Safety Council (1986) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Concepts*. Data Sheet I-710 86.
- National Safety Council (1986) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Movable Barrier Devices*. Data Sheet I-712-86.
- National Safety Council (1986) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Point-of-Operation Guards*. Data Sheet I-715-86.
- National Safety Council (1986) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Presence-Sensing Devices*. Data Sheet I-711-86.
- National Safety Council (1986) : *Power Press Point-of-Operation Safeguarding: Pullbacks and Restraint Devices*. Data Sheet I-713-86.
- National Safety Council (1985) : *Press Brakes*. Data Sheet I-419 Rev. 85.
- National Safety Council (1969) : *Automatic Tire-Curing Press Operations*. Data Sheet 625, Revision A (par. 8, 17, 24 et 31).
- NIOSH (1987) : «Injuries and Amputations Resulting from Work with Mechanical Power Presses». *Current Intelligence Bulletin* 49.
- Ryan, P.J. (1987) : «Power Press Safeguarding: A Human Factors Perspective». *Professional Safety*, 32 (8), pp. 23-26.
- Sund, A. (1970) : «Nouveau système pour presses-plier». *Vern og Velferd*, Norvège, vol. 20, n° 3, 1970, pp. 38-39, traduction I.N.R.S.
- Suokas, J. (1983) : «The Effect of Power-Press Regulations in Finland». *Journal of Occupational Accidents*, 5 (1983) pp. 1-8.
- Tobelem, M.W. (1977) : *Presses plieuses*. INRS, Fiche technique de sécurité n° 1068-88-77.
- Van Aerde (1984) : *Les presses à découper dans l'industrie du cartonnage : Risques et moyens de prévention, Amélioration des conditions de travail*. Travaux des CTR, pp. 14-18.
- Vautrin, J.P. et Dei-Svaldi, D. (1974) : *Logique des circuits de commande de presses*. I.N.R.S., Note n° 880-74-74.
- Verson Allsteel Press Company (1983) : *Version Die Manual*.