

**Chronomètre d'arrêt
et de fermeture
des presses mécaniques**

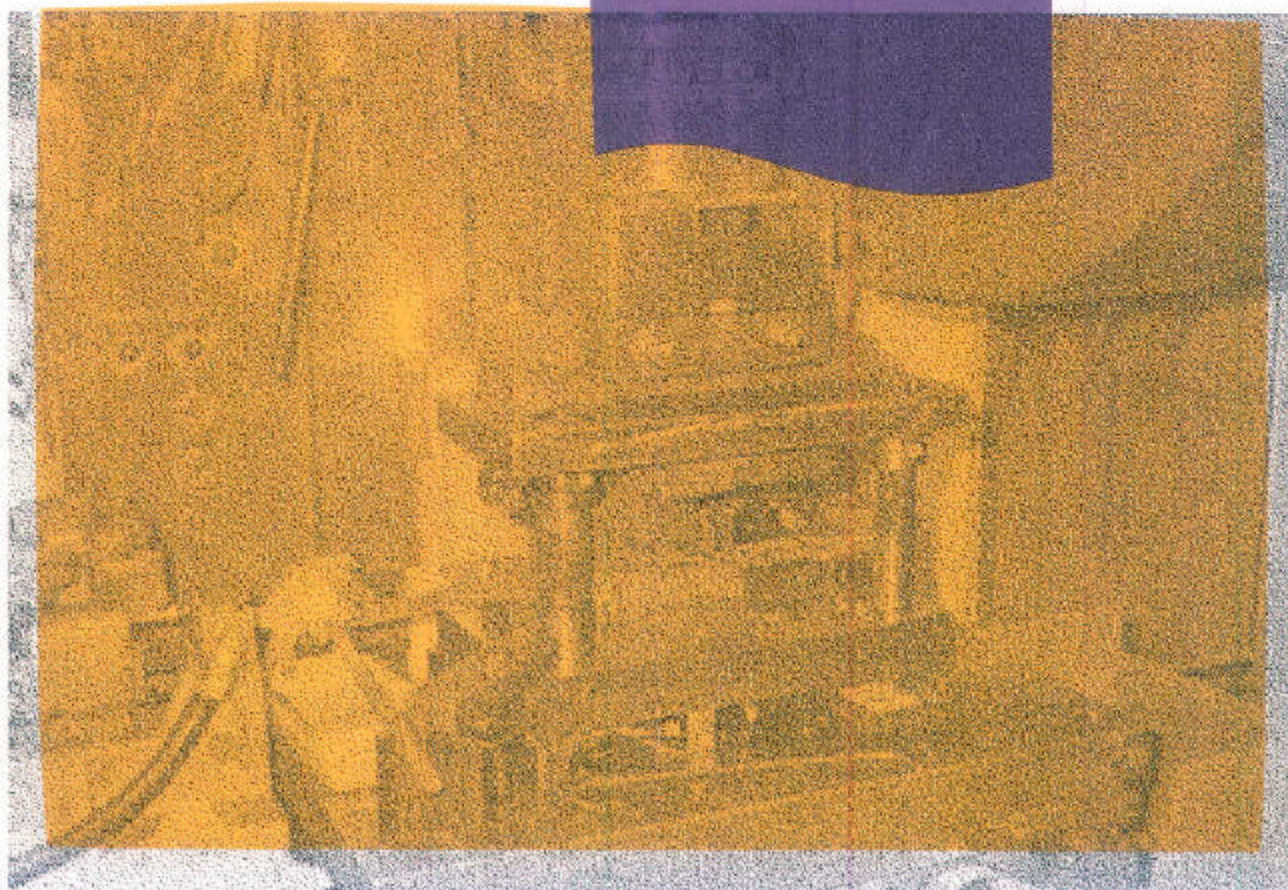
Denis Turcot
Jérôme Boutin
Serge Massé

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Mai 2001

R-265

RAPPORT



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

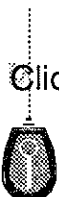
IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

Chronomètre d'arrêt et de fermeture des presses mécaniques

Denis Turcot, Jérôme Boutin, Serge Massé
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT



Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

RÉSUMÉ

Un appareil de mesure du temps d'arrêt du coulisseau des presses à embrayage à friction et de fermeture des matrices des presses à embrayage à friction et à tour complet a été développé, mis au point et validé. Il permet de faire des mesures ponctuelles et sans modifications sur les différentes presses existantes. Il est composé d'un système d'acquisition et de traitement de données, d'un capteur de déplacement et d'un boîtier de contrôle. Il mesure en continu le déplacement du coulisseau et garde en mémoire l'instant d'activation de la commande de départ, l'instant d'activation de la commande de freinage ainsi que l'instant d'atteinte du point mort-bas du coulisseau. Ces données permettent de déterminer le temps de fermeture des deux types de presses ainsi que le temps et la distance d'arrêt du coulisseau des presses à embrayage à friction.

Des séries d'essais réalisés en laboratoire sur une presse à embrayage à friction de même que des essais en usine sur différents types de presses ont permis de vérifier le comportement de l'appareil de mesure. Celui-ci permet d'évaluer le temps d'arrêt de la presse à différentes positions du coulisseau. Il est ainsi possible de réaliser des essais à la vitesse maximale du coulisseau, soit la position qui nécessiterait le plus d'énergie pour l'arrêter, donc qui occasionnerait le temps d'arrêt le plus long possible.

Une fois le temps d'arrêt mesuré, il est alors possible de déterminer une position des boutons de commandes bimanuelles favorisant une plus grande sécurité d'opération des presses mécaniques en éloignant les éléments de commande de la zone de façonnage du métal, laquelle constitue la zone dangereuse de la machine. Toutefois, ce mode de protection par éloignement des commandes de la zone dangereuse ne constitue pas à lui seul une garantie de sécurité pour l'opérateur puisque le système d'arrêt des presses peut défaillir en tous temps.

L'appareil de mesure peut être utile pour déterminer la dégradation du système de freinage d'une presse en évaluant à intervalle régulier son temps d'arrêt dans des conditions similaires d'opération. De plus, la mesure de la différence de temps entre la descente et la montée du coulisseau pourrait faciliter l'ajustement du système de contrepoids pneumatique de ces presses.

Mots clés : presse mécanique, temps d'arrêt, temps de fermeture, commande bimanuelle.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE.....	3
2.1 Description de l'appareil de mesure	3
2.2 Méthodologie	7
2.2.1 Essais en laboratoire	8
2.2.2 Essais en usine	8
3. ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION	9
3.1 Essais en laboratoire	9
3.2 Essais en usine	22
4. CONCLUSION.....	25
LISTE DES RÉFÉRENCES	27
ANNEXE 1 – Définitions	29
ANNEXE 2 – Caractéristiques des composantes de mesure et d'acquisition de données	31
ANNEXE 3 – Utilisation d'un déclencheur externe à pression.....	33

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 – Effet d'un filtre analogique (12 Hz).....	11
Tableau 2 – t_a moyen en fonction de la position du coulisseau au début du freinage	11
Tableau 3 – Effet de la pression d'embrayage, arrêt à V_{max}	12
Tableau 4 – Effet de la pression du contrepoids	13
Tableau 5 – Effet de la pression du contrepoids sur le temps d'arrêt	14
Tableau 6 – Ajustement du critère de détection du début du freinage.....	14
Tableau 7 – Ajustement du critère de détection de l'arrêt	15
Tableau 8 – Paramètres relatifs au freinage déterminés selon deux méthodes	18
Tableau 9 – Sélection des résultats et série de mesures consécutives	19
Tableau 10 – Résultats selon les essais réalisés sur un cycle ou sur plusieurs cycles	21
Tableau 11 – Nombre d'essais requis statistiquement.....	21
Tableau 12 – Mesure du T_F d'une presse à embrayage à tour complet	22
Tableau 13 – Évaluation de presses plieuses	23
Tableau 14 – Évaluation de presses à embrayage à friction de grande capacité	23
Tableau 15 – Presse à embrayage à friction, acquisition sur un seul cycle	24
Tableau 16 – Commande d'activation de la presse	33

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 - Appareil de mesure du temps d'arrêt des presses mécaniques.....	3
Figure 2 - Schéma du mouvement du coulisseau d'une presse.....	4
Figure 3 - Angle de la manivelle où la vitesse du coulisseau est maximum théoriquement.....	5
Figure 4 - Vitesse du coulisseau pour la presse utilisée en laboratoire.....	6
Figure 5 - Force de décélération du coulisseau.....	6
Figure 6a) - Enregistrement typique réalisé sur la presse à embrayage à friction.....	10
Figure 6b) - Agrandissement de la zone d'arrêt.....	10
Figure 7 - Vitesse du coulisseau.....	17
Figure 8 - Comparaison de séries de mesures consécutives et sélectionnées.....	20

1. INTRODUCTION

L'utilisation des presses mécaniques n'est pas sans risque. En effet, les fichiers d'accidents de la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST) du Québec, pour les années comprises entre 1996 et 1998, indiquent qu'il y a eu 233 lésions attribuées à l'utilisation des presses mécaniques. Ces accidents sont recensés dans les secteurs des produits métalliques, des machines, des équipements de transport et des produits électriques. Parmi les différents sièges de lésions, celui des mains et des doigts constituait 89 % de l'ensemble des lésions et résultait en une perte moyenne de travail de 83 jours. Sur l'ensemble de ces accidents, 14 ont eu comme conséquence l'amputation.

Pour les presses dont le cycle est enclenché par des commandes à deux mains, le risque de coincement des mains entre les pièces mobiles peut être minimisé, si les mains de l'opérateur sont suffisamment éloignées lorsque le coulisseau est en voie de descendre. Le problème de l'emplacement des commandes bimanuelles a donné lieu à la publication de deux guides techniques de l'IRSST : un pour les presses à embrayage à friction et l'autre pour les presses à embrayage à tour complet [1,2]. Ces guides expliquent comment déterminer l'emplacement des commandes bimanuelles pour l'opérateur d'une presse.

Cependant, pour mettre en application les recommandations dans ces guides, il faut déterminer, soit le temps d'arrêt du coulisseau, la pièce mobile pour les presses à embrayage à friction, soit le temps de fermeture pour les presses à embrayage à tour complet. Dans une étude antérieure, plusieurs appareils disponibles sur le marché (Suède, Allemagne et États-Unis) ont été évalués. Certains appareils permettent d'évaluer le temps de fermeture sur les presses à tour complet, mais ne peuvent le faire pour toutes les conditions de vitesse du coulisseau. Ces appareils ne permettent pas de faire des mesures dans des conditions d'opération sévères (vibrations) rencontrées sur les vieilles presses, surtout celles dont la vitesse du vilebrequin est réduite par des engrenages. De plus, aucun des appareils existants ne permet d'activer le frein de la presse à évaluer à la position de la manivelle où le coulisseau atteint sa vitesse maximum. Les appareils existants ne permettent donc pas d'obtenir l'ensemble des paramètres relatifs à l'arrêt de la presse suite à un freinage ou à une fermeture. La présente étude a pour but de développer et de valider l'appareil de mesure du temps d'arrêt des presses mécaniques.

Cet appareil de mesure du temps d'arrêt des presses mécaniques a été conçu pour que son utilisation soit simple et qu'elle ne nécessite aucune modification au circuit électrique ou mécanique des presses à évaluer. De plus, elle permet d'appliquer le frein de la presse lorsque le coulisseau atteint sa vitesse maximum, vitesse à laquelle le temps de freinage, et donc le temps d'arrêt, est à son maximum. La valeur maximum du temps d'arrêt nous assure que le calcul du positionnement des commandes bimanuelles, basé sur une valeur constante de la vitesse de la main et sur la distance de son trajet au point de pincement, atteint ainsi une valeur d'éloignement minimum prescrite.

Ce rapport explique le principe de fonctionnement de l'appareil de mesure, présente et analyse les résultats d'essais en laboratoire et en usine ainsi que les limites d'utilisation de l'appareil de mesure. Un guide technique [3] décrit le fonctionnement de l'appareil de mesure pour différentes conditions d'opération.

2. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Dans un premier temps, les caractéristiques de l'appareil de mesure sont présentées et le principe de mesure utilisé par l'appareil est expliqué. Par la suite, la méthodologie utilisée pour valider l'appareil de mesure est décrite.

2.1 Description de l'appareil de mesure

L'appareil de mesure des temps d'arrêt et de fermeture des presses mécaniques est une unité portable (figure 1) comprenant trois composantes :

1. Le boîtier de contrôle qui permet de détecter l'activation de la presse et d'envoyer la commande de freinage à la position d'arrêt désirée. L'appareil de mesure simule alors un relâchement d'un des boutons de commande par l'ouverture d'un circuit électrique placé en série avec les boutons de commande de la presse. Le branchement en série de cet interrupteur avec les boutons de commande n'a aucune influence sur les mesures des différentes variables;
2. Le capteur de déplacement. Il permet de mesurer en continu le déplacement du coulisseau;
3. Un ordinateur portable muni d'une carte d'acquisition et du logiciel de mesure pour le traitement, l'analyse et la sauvegarde des données.

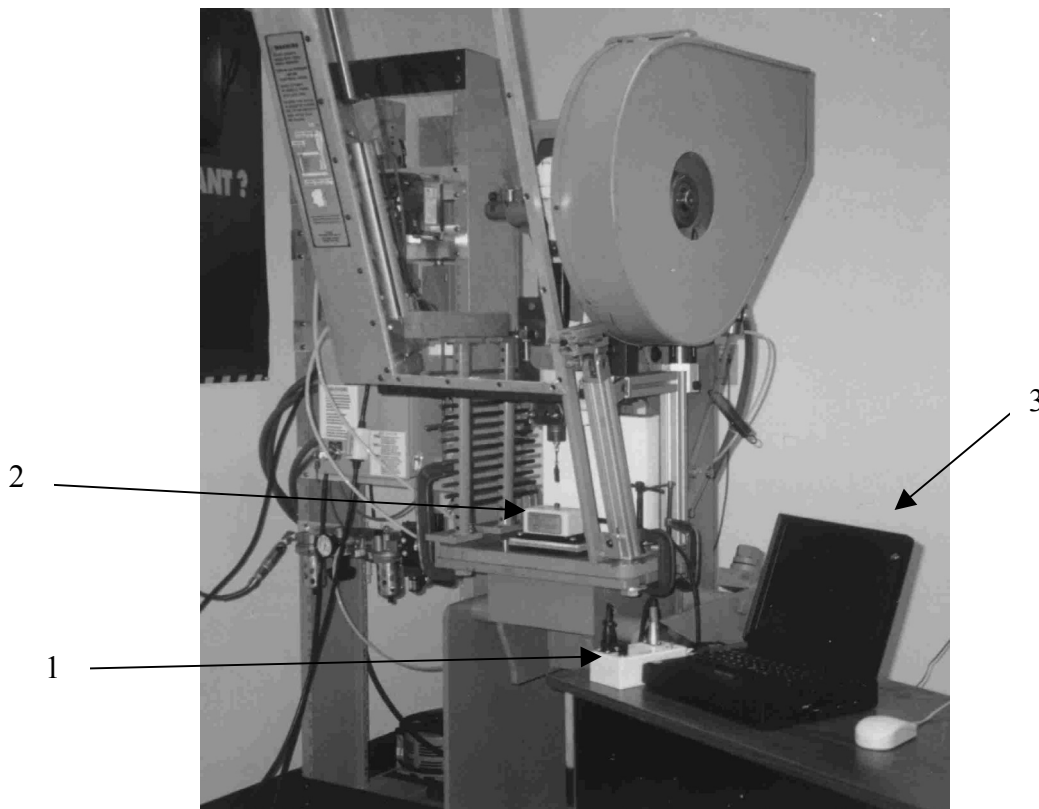


Figure 1 - Appareil de mesure du temps d'arrêt des presses mécaniques

De ces composantes, le capteur de déplacement est au centre du principe de mesure utilisé pour évaluer les différentes variables.

Principe de mesure

L'enregistrement du déplacement du coulisseau en continu, de même que l'instant de la commande d'activation de la presse, constituent les données de base à partir desquelles toutes les autres variables seront déterminées. Le coulisseau est entraîné selon un mécanisme de bielle et manivelle comme le montre le schéma de la figure 2.

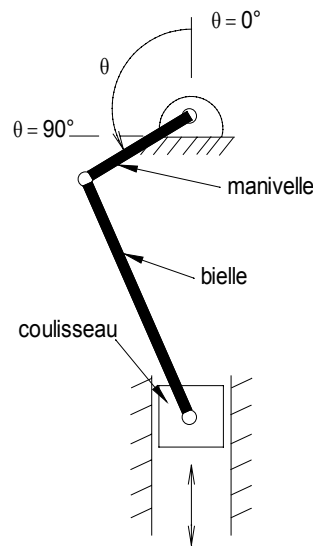


Figure 2 - Schéma du mouvement du coulisseau d'une presse

Ce type de mécanisme permet uniquement un mouvement vertical du coulisseau dont le déplacement total dépend de la longueur de la manivelle. La position du coulisseau au point le plus éloigné de la matrice dépend de la longueur de la bielle et de celle de la manivelle. Cette position est atteinte lorsque la manivelle est verticale, soit à 0° . L'équation qui décrit le déplacement du coulisseau, selon la verticale, le long de l'axe des y est la suivante :

Soit r : la longueur de la manivelle

l : la longueur de la bielle

$y = 0$ lorsque $\theta = 0^\circ$ (considère comme la position de départ du coulisseau)

$$y = (l^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta)^{1/2} - [(l - r) + r \cdot \cos \theta]$$

Comme la manivelle est entraînée à une vitesse angulaire constante, la vitesse linéaire du coulisseau varie en fonction de l'angle. Elle est nulle lorsque la manivelle est verticale, soit à $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 180^\circ$. L'équation de la vitesse du coulisseau (V_c), selon l'axe des y , est la suivante :

Soit ω : la vitesse de rotation de la manivelle

$$V_c = \omega \cdot r \cdot \sin \theta \cdot \left[\frac{-r \cdot \cos \theta}{(l^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta)^{1/2}} + 1 \right]$$

Cette équation permet de calculer la vitesse du coulisseau pour différents angles en fonction des dimensions de la bielle (l) et de la manivelle (r) et de la vitesse de rotation de la manivelle (ω). En dérivant l'équation de la vitesse du coulisseau et en la posant égale à zéro, il est possible de déterminer la vitesse maximum atteinte par le coulisseau. On obtient alors :

$$\cos(\theta) - \frac{1/4 \cdot \sin^2(2\theta)}{((r/l)^2 - \sin^2(\theta))^{2/3}} - \frac{(2 \cdot \cos^2(\theta) - 1)}{((r/l)^2 - \sin^2(\theta))^{1/2}} = 0$$

Il est possible de solutionner numériquement cette équation pour obtenir l'angle de la manivelle, en fonction du rapport (l/r), pour laquelle la vitesse est maximum (figure 3). Dans la pratique, le ratio l/r varie généralement de 3 à 11.

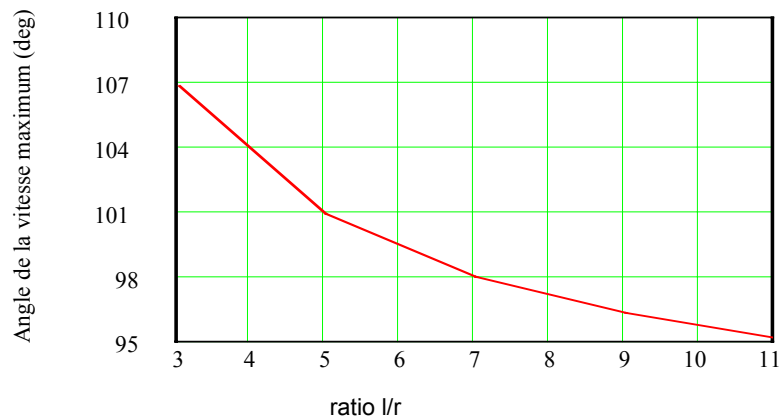


Figure 3 - Angle de la manivelle où la vitesse du coulisseau est maximum théoriquement

Ce graphique a permis de trouver l'angle auquel le coulisseau de la presse utilisée pour les essais en laboratoire atteignait sa vitesse maximum. Ainsi, pour un rapport de l/r de 7,3 (11po/1,5po), on obtient une valeur de $\theta_{\max} = 97,5^\circ$. Les mesures réalisées en laboratoire ont permis de calculer le profil de la vitesse du coulisseau à partir de son déplacement et d'obtenir expérimentalement l'angle pour lequel le coulisseau atteint sa vitesse maximum, soit 98° (figure 4). La figure 4 présente aussi le tracé de la vitesse du coulisseau obtenu avec le modèle théorique. Cette figure indique que l'angle de la bielle pour lequel la vitesse du coulisseau atteint sa valeur maximale est identique que ce soit pour le modèle théorique où pour les données expérimentales.

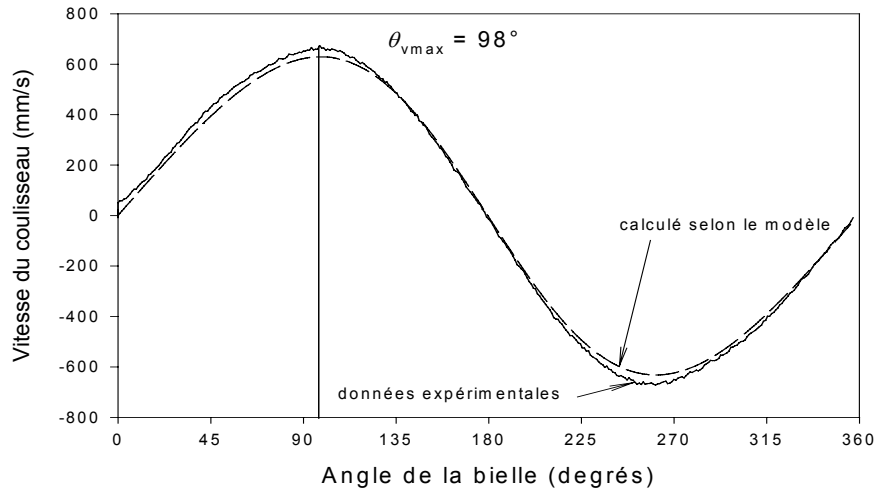


Figure 4 - Vitesse du coulisseau pour la presse utilisée en laboratoire

La position de la manivelle à laquelle le coulisseau atteint sa vitesse maximum est importante, car d'une part, c'est à cette vitesse qu'il possédera le plus d'énergie, et d'autre part, c'est à cette position de la manivelle que le frein a le moins de force pour décélérer le coulisseau. L'équation générale qui donne la force de décélération (F_d) est :

$$F_d = \frac{T_f}{(r \cdot \sin(\theta))} - \frac{1/2 \cdot \sin(2\theta)}{((l/r)^2 - \sin^2(\theta))^{1/2}}$$

où T_f est le couple de freinage appliqué pour arrêter le coulisseau.

Cette dernière équation permet d'obtenir la courbe de la force de décélération du coulisseau en fonction du rapport l/r , pour différents angles de la manivelle (figure 5).

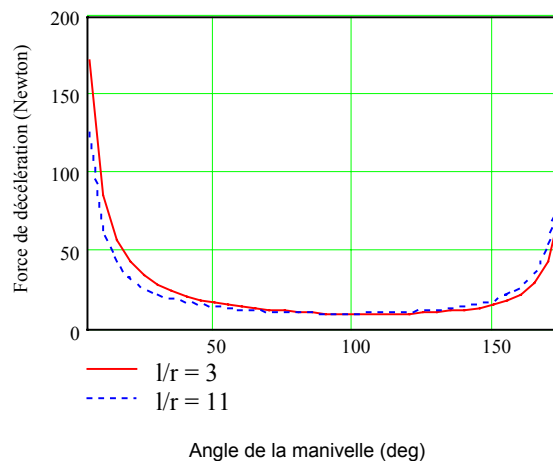


Figure 5 - Force de décélération du coulisseau

Le graphique de la figure 5 a été obtenu en appliquant un couple de freinage (T_f) unitaire de 1 N·m pour des rapports l/r de 3 et 11. Ce graphique nous montre que la force appliquée pour décélérer le coulisseau est à peu près constante pour la plage de 80° à 120° et qu'elle est à son minimum. Comme la force est minimum dans cette plage, qui correspond aussi à la plage de la vitesse maximum du coulisseau, le système de freinage prendra donc plus de temps pour arrêter complètement le mouvement du coulisseau. Afin de positionner les commandes bimanuelles à la distance minimum prescrite du point de pincement, il faut donc réaliser les essais à la vitesse maximum afin de mesurer les temps d'arrêt les plus longs.

Mais pour les mesures réalisées en usine, il n'est pas possible de calculer la position de la manivelle à laquelle la vitesse du coulisseau est maximum. Pour obtenir les dimensions de la bielle et de la manivelle, nécessaires pour le calcul, il faudrait alors démonter la presse.

L'appareil de mesure permet de déterminer la position de la manivelle à laquelle la vitesse du coulisseau est maximum en se basant sur la courbe des données obtenues lors de son déplacement dans le temps. Cependant, bien qu'il soit possible de déterminer cette position de la vitesse maximum, encore faut-il appliquer le frein à ce point. Lorsque l'appareil envoie la commande d'activation de l'arrêt (désengagement de l'embrayage et engagement du frein), qui se produit en relâchant un des boutons de la commande bimanuelle, le frein n'entre pas en fonction instantanément. En effet, il y a un délai entre l'instant d'activation de la commande d'arrêt et le début du freinage, dû aux composantes électriques, mécaniques ou pneumatiques de la presse. Parmi ces composantes qui créent des délais, mentionnons les relais électriques dans la console, les relais de la vanne double corps et le temps nécessaire à l'évacuation de l'air du système d'embrayage.

Pour réaliser des essais de freinage où le frein est appliqué à une position précise de la manivelle, il faut connaître auparavant le délai de la commande d'activation du frein, et par la suite, on peut anticiper ce délai afin d'envoyer la commande d'activation au bon moment pour que le frein soit appliqué à la position désirée de la manivelle.

2.2 Méthodologie

Des essais sur des presses mécaniques ont été réalisés dans les laboratoires de l'IRSST et dans les usines. Les essais en laboratoires ont été réalisés sur une presse à embrayage à friction ayant une capacité de 8 tonnes et une course de 76 mm (3 po.). Ces essais ont permis d'établir les différents réglages de l'appareil de mesure pour évaluer les variables suivantes : délai de commande de départ, temps de fermeture, délai de commande de freinage, freinage effectif et temps d'arrêt. Les essais en usine ont permis de mieux adapter l'appareil à un grand nombre de situations de mesures diverses qui se retrouvent en milieu de travail. De plus, le comportement dans un environnement difficile (vibrations, champs électriques, etc.), la robustesse, la facilité d'utilisation de même que la fiabilité de l'appareil de mesure ont pu être ainsi éprouvés.

2.2.1 Essais en laboratoire

Des séries de mesures ont été complétées en laboratoire, et ce, pour les conditions d'essais suivantes :

- influence d'un filtre analogique sur le signal de déplacement enregistré;
- application du frein à différentes positions du coulisseau;
- pression d'embrayage et pression du contrepoids;
- acquisition des données sur un cycle ou sur plusieurs cycles;
- déclencheur externe à pression.

En tout, plus de 1 000 tests ont été réalisés en laboratoire sur la presse à embrayage à friction.

2.2.2 Essais en usine

Différents modèles de presse ont été évalués dans différentes usines. Les différents modes opératoires de l'appareil de mesure ont été testés. Les types de presses mécaniques évalués sont :

- presse à embrayage à tour complet (30 tonnes);
- presses à embrayage à friction (33 et 200 tonnes);
- presses plieuses (2).

Le but des essais en usine n'est pas de tirer des conclusions sur le comportement de l'ensemble des presses mécaniques dans le secteur manufacturier québécois, mais de vérifier le fonctionnement et le comportement de l'appareil de mesure dans des conditions réelles d'utilisation.

3. Analyse des résultats et discussion

3.1 Essais en laboratoire

Pour chacun des essais réalisés en laboratoire, le déplacement du coulisseau ainsi que l'instant d'activation du cycle de la presse et de la commande de freinage, lorsqu'il y a lieu, ont été enregistrés. Les figures 6a et 6b présentent un exemple d'enregistrement typique réalisé sur la presse à embrayage à friction lors d'un essai de freinage à la vitesse maximum. Sur cette figure sont présentés les différents paramètres et variables évalués; le délai de commande de départ (C_d), le temps de fermeture (T_F), le délai de commande de freinage (C_f), le freinage effectif (f_e) et le temps d'arrêt (t_a).

Effet de l'ajout d'un filtre analogique

L'environnement en usine rend la prise de mesures plus difficile et afin d'éviter qu'elles ne soient affectées par le bruit électronique, on utilise parfois des filtres analogiques ou numériques, en amont du système d'acquisition de données. Parmi les causes de corruption de données rencontrées, il y a les champs électromagnétiques et le bruit parasite causé par le courant d'alimentation (60 cycles). Comme le déplacement du coulisseau a une fréquence qui sera inférieure à 5 Hz (300 tours/minute) dans la plupart des cas, un filtre de 12 Hz a été utilisé. Le tableau 1 présente les résultats obtenus pour des essais effectués avec et sans filtre analogique. Ce tableau présente les moyennes des variables évaluées. La première colonne de ce tableau indique la position du coulisseau à laquelle la commande d'activation du frein a été envoyée. Seules les valeurs comprises dans un intervalle de plus ou moins 5° pour chaque position d'activation de la commande de freinage ont été retenues.

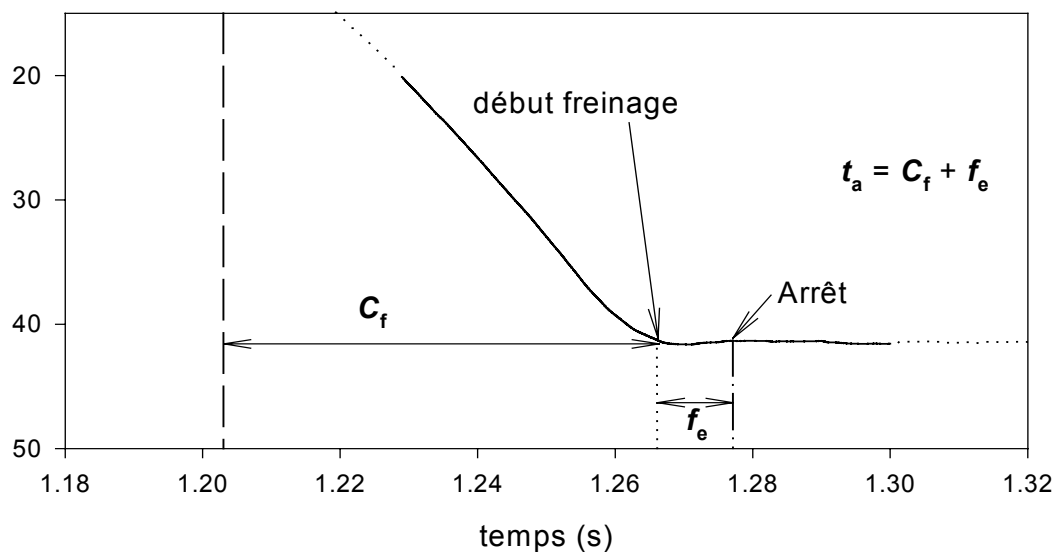
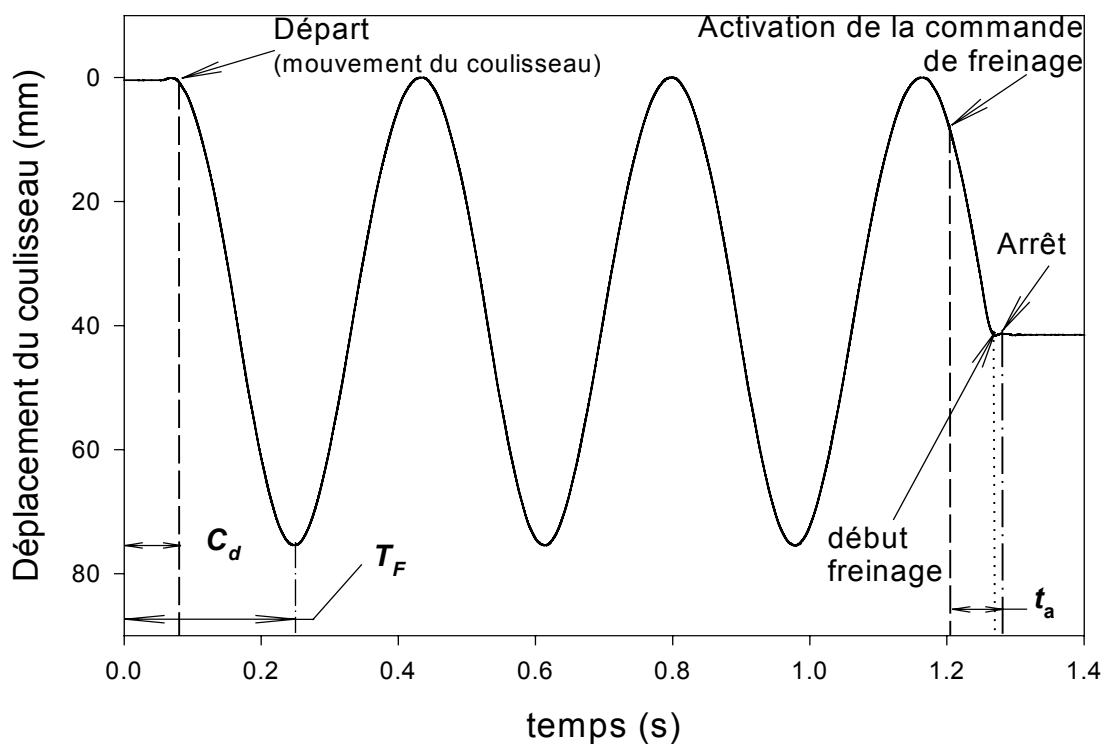


Figure 6a) - Enregistrement typique réalisé sur la presse à embrayage à friction

Figure 6b) - Agrandissement de la zone d'arrêt

Tableau 1 – Effet d'un filtre analogique (12 Hz)

Position d'activation commande de freinage	N ¹	<i>Avec filtre analogique</i>		<i>Sans filtre analogique</i>	
		C _D	t _a	C _D	t _a
80°±5°	30	0,0910	0,1001	0,0736	0,0682
[V _{max} ±5°] ²	30	0,0928	0,0993	0,0740	0,0681
120°±5°	30	0,0925	0,0984	0,0733	0,0683

N¹ : nombre d'essais identiques.

² : pour la presse évaluée dans nos laboratoires, environ 98°.

Les résultats du tableau 1 indiquent que l'ajout d'un filtre analogique de 12Hz a pour effet d'augmenter la mesure du temps d'arrêt d'environ 30 ms. Bien que les filtres permettent d'obtenir un signal avec moins de bruit, il est préférable d'utiliser ceux qui ont peu d'influence sur la mesure du temps d'arrêt. Il convient alors d'analyser les cas un à un et de choisir le type de filtre approprié. Le logiciel de l'appareil de mesure permet l'ajout de filtre numérique facilitant ainsi la recherche d'une combinaison appropriée sur les lieux mêmes de la mesure. Si un filtre doit être utilisé, il est préférable que la fréquence de coupure du filtre soit suffisamment élevée pour interférer le moins possible avec la mesure du temps d'arrêt. Plusieurs problèmes liés à l'acquisition de signaux étant dus à la fréquence d'alimentation électrique des moteurs (60 Hz), nous avons noté que dans certains cas, l'utilisation d'un filtre numérique, d'ordre 2, avec une fréquence de coupure de 60 Hz, peut s'avérer bénéfique et n'influençait pas ou peu le temps d'arrêt.

Application du frein pour différentes positions du coulisseau

Le tableau 2 présente les résultats obtenus avec la presse à embrayage à friction lors des essais avec freinage pour différentes positions du coulisseau. Une masse d'environ 30 kg a été fixée au coulisseau pour simuler la charge occasionnée par le poids d'une petite matrice utilisée sur des presses de faible capacité, et se rapprocher ainsi des conditions d'utilisation réelle.

Tableau 2 – t_a moyen en fonction de la position du coulisseau au début du freinage

Position d'activation commande de freinage	N ¹	C _f	f _e	t _a
		(commande de freinage)	(freinage effectif)	(temps d'arrêt) (μ ± σ)
80°±5°	30	0,0637	0,0045	0,0682 ± 0,0052
[V _{max} ±5°] ²	30	0,0625	0,0056	0,0681 ± 0,0047
120°±5°	30	0,0657	0,0026	0,0683 ± 0,0049

N¹ : nombre d'essais.

² : pour la presse évaluée dans nos laboratoires, environ 98°.

Les résultats du tableau 2 n'ont pas montré de différence significative dans les temps d'arrêt moyens calculés en fonction de la position du coulisseau au début du freinage. Le frein bloque rapidement le mouvement du coulisseau. La valeur maximale du freinage effectif observée lors des essais était de 18 ms.

Le fait qu'il n'y ait pas de différence significative dans le temps d'arrêt moyen correspond bien au comportement théorique de la force de décélération du coulisseau (figure 5). En effet, la force de décélération du coulisseau, qui est proportionnelle au couple de freinage, varie peu entre 80° et 120° et est minimum dans cette plage. Comme la force de décélération du coulisseau est constante et minimum dans cette plage, le temps d'arrêt sera alors maximum et devrait aussi être presque constant dans cette plage. L'absence ou le peu de variation du temps d'arrêt moyen présenté au tableau 2 semble confirmer cette théorie.

Il est donc recommandé d'effectuer les mesures de temps d'arrêt sur les presses à embrayage à friction avec consigne de freinage à la vitesse maximum du coulisseau. Car théoriquement, c'est à la vitesse maximum du coulisseau que le temps d'arrêt serait le plus long.

Effet de la pression d'embrayage et de la pression du contrepoids

Les presses à embrayage à friction nécessitent une ligne d'air qui alimente la presse. Le frein de la presse est en mode positif, c'est-à-dire qu'il empêche l'entraînement du coulisseau par le mécanisme bielle-manivelle tant qu'une pression minimum ne lui est pas appliquée. Cette pression minimum est requise pour désengager le frein et par la suite, engager l'arbre d'entraînement du coulisseau avec le volant d'inertie de la presse (embrayage) pour permettre le mouvement du coulisseau. Une pression d'embrayage faible a un effet sur le temps de commande de départ et le temps d'arrêt. Le tableau 3 résume les essais réalisés pour différentes pressions d'embrayage. Les résultats indiquent que plus la pression d'embrayage est faible, plus le temps d'arrêt et le délai de commande de freinage sont courts, et ce, contrairement au délai de commande de départ qui lui augmente.

Tableau 3 – Effet de la pression d'embrayage, arrêt à V_{\max}

Pression d'embrayage (psi)	N ¹	C _D (commande de départ)	C _f (commande freinage)	t _a (temps d'arrêt)
33	10	0,3424	0,0416	0,0474
40	30	0,1014	0,0465	0,0516
60	30	0,0797	0,0544	0,0613
80 ¹	30	0,0740	0,0625	0,0681

Note : pour les essais réalisés avec la presse de laboratoire.

¹ : valeur par défaut.

La pression d'embrayage a donc un effet direct sur le délai de commande de freinage, comme en témoignent les valeurs du tableau 3. Comme le volume d'air dans le système est constant, une

pression d'air plus grande aura pour effet d'accumuler plus d'air dans l'embrayage et conséquemment requerra plus de temps pour chasser cet air lors de la commande de freinage, d'où le délai de commande de freinage plus long et par le fait même, un temps d'arrêt plus grand. Un rapport de l'INRS de France [4] confirme cette observation. Quant à l'embrayage de la presse, il prendra moins de temps si la pression est grande, car la pression de l'air vainc plus facilement la contrainte imposée par le système mécanique à ressort. Une fois la position des commandes bimanuelles déterminée, il faut donc s'assurer que la pression d'embrayage de la presse n'augmente pas, sinon il faudra refaire des mesures de temps d'arrêt.

Les presses mécaniques possèdent un système de contrepoids pneumatique qui permet de contrebalancer le poids du coulisseau en mouvement. Celui-ci est très important sur les presses ayant une certaine capacité (tonnage), car il minimise l'effet dynamique dû aux masses combinées du coulisseau et de la matrice qui sont en mouvement. L'étude du système mécanique de la presse permet de déduire que la pression du contrepoids a un effet sur la durée d'ouverture et de fermeture, mais pas sur le délai de commande de départ ou de freinage. Les résultats du tableau 4 indiquent que la pression du contrepoids n'a pas d'effet sur les valeurs moyennes de durée d'ouverture et de fermeture. La charge attachée au coulisseau (30kg) est sans doute trop petite pour avoir une influence sur le système de contrepoids. Des essais sur des presses à gros tonnage seraient nécessaires pour déterminer l'effet du système de contrepoids sur la durée de fermeture et d'ouverture.

Tableau 4 – Effet de la pression du contrepoids

Pression du contrepoids (psi)	N ¹	C_D (commande de départ) (s)	F (durée fermeture) (s)	O (durée ouverture) (s)
20	10	0,0744	0,1840	0,1839
30 ¹	10	0,0800	0,1800	0,1800
40	10	0,0732	0,1802	0,1848
50	10	0,0700	0,1800	0,1800
60	10	0,0723	0,1813	0,1835
70	10	0,0800	0,1800	0,1800
80	10	0,0708	0,1825	0,1830

Note : pression d'embrayage constante (80 psi).

¹ : valeur par défaut.

Le tableau 5 présente les résultats obtenus sur le temps d'arrêt lorsqu'il y a variation de la pression exercée par le système de contrepoids. Comme il a été vu précédemment, la pression d'embrayage a un effet sur le temps d'arrêt. Les résultats d'essais réalisés en laboratoire et présentés au tableau 5 montrent que la variation de la pression du contrepoids a peu ou pas d'effet sur le temps d'arrêt. La dernière colonne de ce tableau indique des variations de l'ordre de 1 à 3 ms du temps d'arrêt par rapport à la valeur correspondante obtenue à la pression de contrepoids par défaut (30 psi).

Tableau 5 – Effet de la pression du contrepoids sur le temps d'arrêt

Pression d'embrayage (psi)	Pression du contrepoids (psi)	t_a (temps d'arrêt) (s)	Δt_a (par rapport $P_c=30$ psi) (s)
40	30	0,0516	–
	50	0,0507	-0,001
	80	0,0505	-0,001
60	30	0,0612	–
	80	0,0586	-0,003
80 ¹	30 ¹	0,0682	–

Note : commande d'activation du frein à la vitesse maximale.

¹ : valeur par défaut.

Choix des paramètres pour caractériser la course du coulisseau

Deux paramètres sont utilisés pour caractériser le freinage du coulisseau dans sa course; un paramètre pour déterminer le début du freinage et un autre pour marquer l'arrêt du coulisseau. Le premier paramètre estime le début du freinage lorsque la position du coulisseau à l'instant considéré, dévie d'un certain pourcentage par rapport à sa position dans le cycle précédent. Cependant, si l'enregistrement de l'essai s'effectue sur un seul cycle, une mesure sans freinage précédant l'essai est utilisée comme courbe de référence. Le tableau 6 présente l'effet de ce paramètre sur les variables évaluées. Dans ce tableau, les résultats sont obtenus en analysant les 30 mêmes essais préenregistrés avec un nouveau critère marquant le début du freinage chaque fois.

Tableau 6 – Ajustement du critère de détection du début du freinage

Critère début frein (% de la course max)	C_f	f_e	t_a
10	0,0696	0,0023	0,0719
6	0,0651	0,0035	0,0687
4 ¹	0,0623	0,0061	0,0684
2	0,0547	0,0115	0,0684
1	0,0444	0,0151	0,0684
0,5	0,0566	0,0093	0,0683

Note : commande d'activation du frein à la vitesse maximale.

¹ : valeur par défaut.

Comme l'indiquent les résultats du tableau 6, le temps d'arrêt moyen est constant lorsque le critère qui indique le début du freinage est compris entre 1 % et 4 %. Plus ce critère est petit et plus la durée effective de freinage est grande. Pour déterminer avec précision la durée effective

Rapport de recherche

de freinage, il faudrait ajouter des capteurs au système de freinage. La différence maximum observée et occasionnée par le critère de détection du début du freinage est de 13 ms.

Dans ce cas ci, les résultats montrent que la somme du délai d'activation de la commande de freinage (C_f) et du freinage effectif (f_e) n'est plus égale au temps d'arrêt (t_a) lorsque le critère est inférieur à 4%. La valeur par défaut de ce paramètre a donc été fixée à 4 %.

Un deuxième paramètre utilisé pour la détection de l'arrêt détermine l'instant pour lequel le coulisseau est considéré sans mouvement. Le système de mesure permet d'estimer l'arrêt du coulisseau en fonction d'une valeur seuil de sa vitesse. Lorsque celle-ci atteint la valeur choisie, la presse est considérée en arrêt. La vitesse a été retenue pour détecter l'arrêt du coulisseau, car les variations de vitesse, juste avant l'arrêt complet, sont plus grandes que les variations observées pour le déplacement. Celui-ci varie d'environ 0,2 mm juste avant que le coulisseau ne soit complètement freiné. Cette faible variation, présente dans les mesures, rend difficile la détection précise de l'arrêt avec comme critère le déplacement. Pour ce qui est de la vitesse du coulisseau, nous avons déterminé dans les essais en laboratoire, par exemple, le profil de vitesse suivant juste avant l'arrêt ; 67 mm/s suivit de 29 mm/s et de 11 mm/s puis de 3 mm/s, -32 mm/s, -65 mm/s, -43 mm/s, -25 mm/s, -3 mm/s, et ainsi de suite, pour quelques millisecondes. Les valeurs négatives de vitesse sont dues à la rétroaction du système suite à un arrêt brusque (élasticité des composantes de la presse). Les valeurs calculées pour la vitesse du coulisseau montrent donc de grandes variations et il est alors plus simple d'élaborer un algorithme permettant d'évaluer l'instant où la vitesse est inférieure à une valeur seuil (10 mm/s étant la valeur par défaut).

Le tableau 7 présente les résultats obtenus en analysant les 30 mêmes essais préenregistrés avec un nouveau critère marquant l'arrêt chaque fois. Le délai de commande de freinage est identique d'une fois à l'autre, car le critère intervient seulement pour l'évaluation de la position d'arrêt. Plus le critère de vitesse du coulisseau est élevé, et plus le temps d'arrêt est court.

Tableau 7 – Ajustement du critère de détection de l'arrêt

Critère d'arrêt (vitesse du coulisseau mm/s)	C_f	f_e	t_a
2	0,0623	0,0178	0,0801
5	0,0623	0,0093	0,0716
10 ¹	0,0623	0,0061	0,0684
25	0,0623	0,0034	0,0657
50	0,0623	0,0026	0,0649

¹ : valeur par défaut.

En analysant les courbes du déplacement du coulisseau enregistrées lors des essais, il a été observé qu'à la fin du freinage, la vitesse du coulisseau diminuait rapidement (40 mm/s à toutes les millisecondes). Donc, en deçà d'une certaine valeur du critère d'arrêt, le système ne fera

qu'interpoler entre deux points de mesure consécutifs. Ces raisons ont favorisé le choix d'une vitesse 10 mm/s comme critère de détection d'arrêt du coulisseau.

Toutefois, si une presse était très lente, il serait possible, voire même souhaitable, de diminuer le paramètre de détection de l'arrêt en conséquence.

Caractéristiques au freinage et critères d'évaluation

Une fois la commande d'activation du frein appliquée, il est intéressant d'évaluer le délai des commandes, dû aux composantes mécaniques, le temps effectif de freinage et principalement le temps d'arrêt. Comme il a été expliqué, l'appareil de mesure évalue les différentes variables à partir de l'enregistrement du déplacement du coulisseau. À partir de ces données, il est possible d'obtenir la courbe de la vitesse du coulisseau pour chacun des points enregistrés. Cette courbe est obtenue en évaluant la différence entre le déplacement au point considéré et le déplacement à l'instant précédent, divisée par l'intervalle de temps entre les deux déplacements consécutifs. La figure 7 montre la courbe de vitesse du coulisseau ainsi que l'instant d'activation du frein. Cependant, pour obtenir une courbe comme celle de la figure 7, il faut auparavant lisser la courbe de déplacement afin de minimiser les changements brusques qui se répercuteraient avec plus d'emphase dans la courbe de vitesse. Le signal du déplacement est lissé en effectuant une moyenne pondérée de trois coordonnées adjacentes. Ce type de lissage est obtenu suivant l'équation suivante :

$$y[t] = (0.85/3) * u[t-1] + (1.3/3) * u[t] + (0.85/3) * u[t+1]$$

où t correspond à l'indice du déplacement évalué au temps considéré; u est la valeur du déplacement à l'instant considéré et y le résultat du signal de déplacement lissé. Ce lissage ne change pas la position des pentes de la courbe évaluée, car il n'introduit pas de déphasage [5].

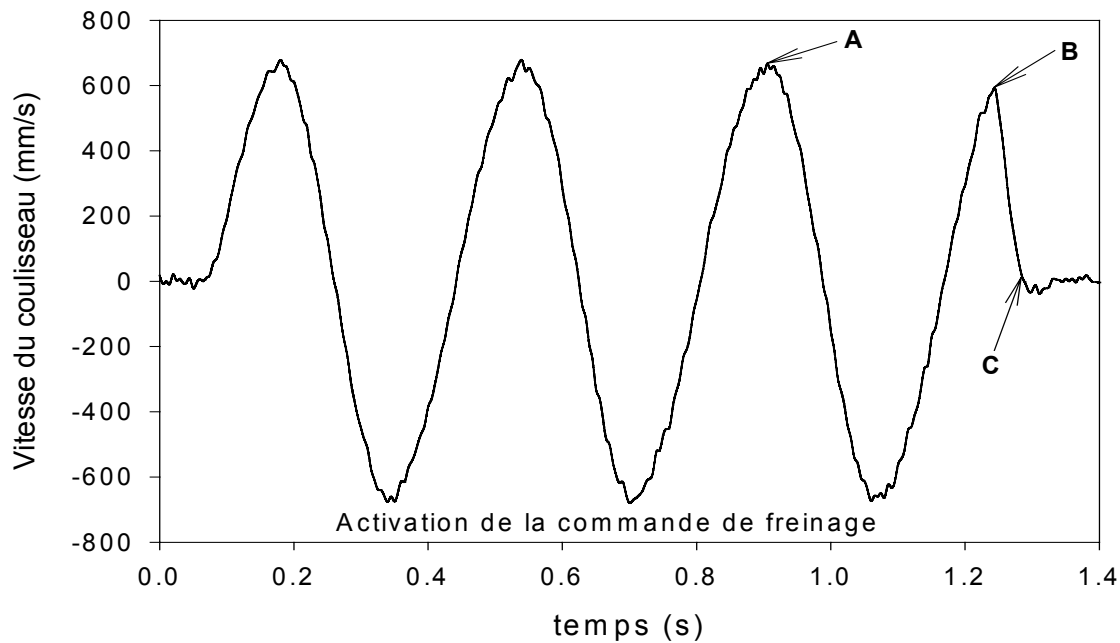


Figure 7 - Vitesse du coulisseau

En comparant la vitesse après l'activation du frein avec celle calculée au cycle précédent, on constate que le coulisseau commence à ralentir au point B (figure 7), alors qu'au cycle précédent la vitesse continuait d'augmenter, et ce, jusqu'au point A. Ce changement dans le profil de la courbe de vitesse indique que le frein agit et cherche à arrêter la presse.

À partir de données enregistrées, une série de mesures a été réévaluée en utilisant une méthode basée sur l'inspection des courbes de vitesse du coulisseau telle que décrite précédemment. L'évaluation de la position d'arrêt sur les courbes de vitesse est déterminée à partir du point où la vitesse change de signe (point C, figure 7) due à un changement de direction dans le déplacement causé par la rétroaction du système avant son immobilisation. Le tableau 8 compare les résultats obtenus avec les deux méthodes, déplacement et vitesse du coulisseau, pour une série de 30 mesures avec freinage à la vitesse maximum.

Tableau 8 – Paramètres relatifs au freinage déterminés selon deux méthodes

	Critère basé sur le déplacement du coulisseau			Critère basé sur la vitesse du coulisseau		
	C_f	f_e	t_a	C_f	f_e	t_a
μ	0,0613	0,0065	0,0678	0,0484	0,0177	0,0661
σ	0,0049	0,0051	0,0043	0,0039	0,0005	0,0039

Note : consigne de freinage à V_{max} , valeurs retenues à $\pm 5^\circ$.

Le temps d'arrêt diffère de 0,002 s selon la méthode utilisée. Des différences sont observées pour le délai de commande de freinage (C_f) et la durée du freinage effectif (f_e). Ces différences sont de 13 ms et 11 ms respectivement.

D'un premier abord, il semblerait que la méthode basée sur la vitesse du coulisseau, permette de déterminer la position d'application du frein avec beaucoup plus d'exactitude que la méthode basée sur le déplacement. Mais pour obtenir une courbe de vitesse comme celle présentée à la figure 7, il faut traiter les données du déplacement, car de légères variations dans cette courbe entraînent des sauts brusques dans la courbe de vitesse. Et l'acquisition d'un signal réel comme le déplacement, comprend toujours des variations dues principalement aux conditions environnantes. Le calcul de la courbe de vitesse présente alors des sauts brusques.

De plus, si le freinage débute après que le coulisseau a atteint sa vitesse maximale, il faudrait alors évaluer la variation de la vitesse du coulisseau (décélération) et comparer avec les valeurs obtenues à la même position dans le cycle précédent. Ce calcul est alors très affecté par les moindres variations dans la courbe de déplacement. L'utilisation de la vitesse calculée à partir du déplacement du coulisseau risquerait d'engendrer des imprécisions importantes. C'est pourquoi, le déplacement du coulisseau a été retenu comme moyen d'évaluer le temps d'arrêt ainsi que les autres variables.

De plus, des essais spécifiques pour caractériser le freinage de la presse de laboratoire ont été réalisés. Un encodeur optique (résolution de 1800 pulses/s ou $0,2^\circ$ /pulse) a été utilisé ; il était relié rigidement à l'arbre d'entraînement (manivelle). L'acquisition des signaux (déclenchement de la commande de freinage, position du coulisseau, pulses de l'encodeur optique), a été faite à une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz. Une série d'essais a été complétée avec la commande de freinage à la vitesse maximale du coulisseau. Ces données ont permis d'évaluer le freinage effectif pour la presse de laboratoire. Les valeurs obtenues pour le freinage effectif avec l'encodeur optique variaient de 9 à 13 ms. Ces valeurs sont comprises entre celles obtenues avec le critère basé sur le déplacement du coulisseau et les autres basées sur le critère de la vitesse du coulisseau (7 et 18 ms respectivement, tableau 8). La méthode utilisant l'encodeur optique permet de déterminer plus précisément le freinage effectif du coulisseau, car l'encodeur ne génère plus de pulse lorsqu'il n'y a plus de rotation de l'arbre, mais elle peut difficilement s'appliquer en usine, car l'encodeur optique doit être solidaire de l'arbre d'entraînement et cela nécessiterait des modifications plutôt laborieuses.

Cependant, peu importe la méthode utilisée, le calcul du temps d'arrêt moyen demeure le même et l'emplacement des boutons de commande bimanuelle est basé sur cette mesure.

Série de mesures consécutives ou sélection des résultats

Deux modes opérationnels ont été évalués pour la cueillette des données. Dans le premier mode, seules les mesures dont le début de l'application du frein était dans un intervalle donné étaient retenues et dans le deuxième mode, toutes les mesures d'une série consécutives étaient retenues. Dans les deux cas, la consigne d'activation de la commande de freinage était la même; les variations observées au moment de l'application du frein sont causées principalement par les variations du délai de commande de freinage du système.

Tableau 9 – Sélection des résultats et série de mesures consécutives

Position début du freinage (réglage)	N	t_a – temps d'arrêt (s)	
		Série de mesures consécutives ($\mu \pm \sigma$) ²	Position d'arrêt $\pm 5^\circ$ ($\mu \pm \sigma$)
80°	30	0,0662 \pm 0,0054	0,0682 \pm 0,0052
[V _{max}] ¹	30	0,0678 \pm 0,0043	0,0681 \pm 0,0047
120°	30	0,0664 \pm 0,0037	0,0683 \pm 0,0049

¹ : pour la presse évaluée dans nos laboratoires, environ 98°.

² : moyenne et écart type.

Les résultats du tableau 9 indiquent une différence d'environ 2 ms sur les temps d'arrêt moyen évalués avec ces deux méthodes. Comme il a été mentionné précédemment, la plage de mesure retenue (80° à 120°) présente peu de variation pour la force de décélération du coulisseau. Conséquemment, ces deux modes opérationnels présentent eux aussi peu de variation.

Pour illustrer la répartition des mesures, un tracé de type « boxplot » est présenté à la figure 8 et permet de comparer, pour trois positions d'arrêt (80°, V_{max} et 120°), les essais provenant de séries de mesures consécutives et les essais dont la position d'arrêt est comprise dans une plage de plus ou moins 5 degrés. Dans ce graphique, les extrémités de la boîte représentent le 25 et 75 quartiles, la ligne à l'intérieur de la boîte, la médiane, les barres qui excèdent la boîte les centiles 10 et 90 et finalement les cercles représentent les centiles 5 et 95. Le graphique permet de constater qu'il y a peu de différence entre les deux méthodes utilisées, peu importe la position d'arrêt. Un test statistique (« Mann-Withney Rank sum test») pour chacun des trois groupes révèle le même constat : la différence dans les valeurs médianes entre les deux groupes n'est pas assez grande pour exclure la probabilité que la différence soit due à la variabilité de l'échantillonnage, il n'y a donc pas de différence statistiquement significative.

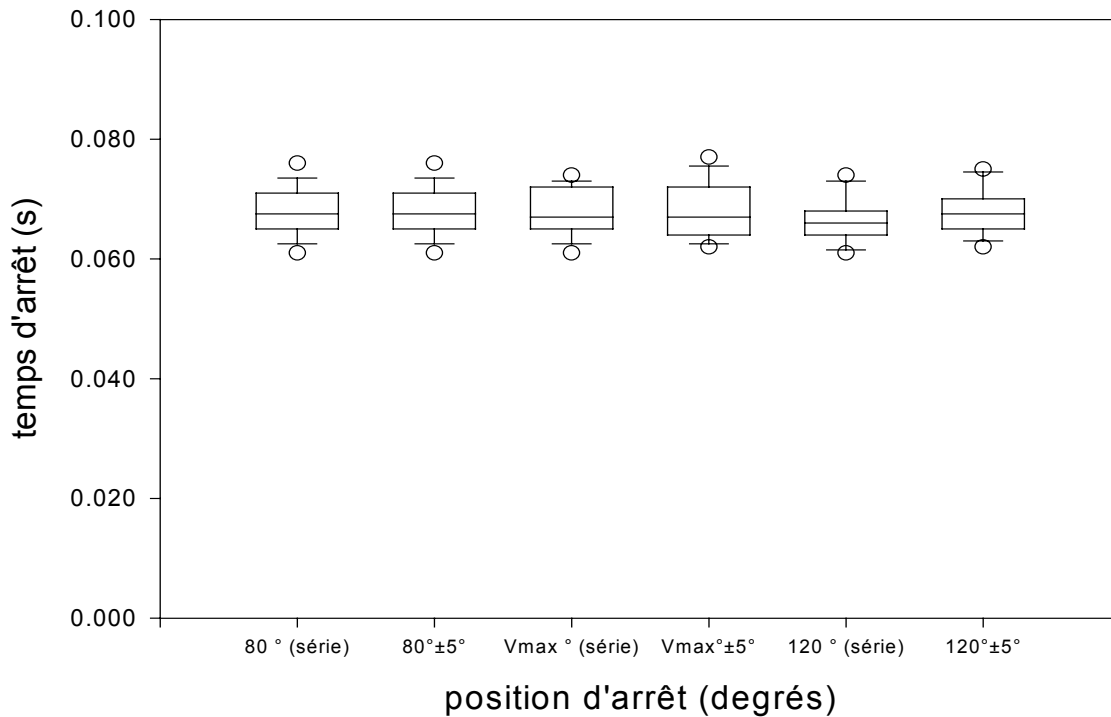


Figure 8 - Comparaison de séries de mesures consécutives et sélectionnées

La méthode avec une série de 30 mesures consécutives est plus simple à mettre en œuvre, elle est recommandée.

Acquisition des données sur un cycle ou sur plusieurs cycles

Tel qu'il a été mentionné auparavant, l'envoi de la commande de freinage pour que la presse freine à la vitesse maximale, nécessite d'anticiper le délai de commande de freinage et la position du coulisseau à cette même vitesse. Un essai préliminaire permet de déterminer le délai de commande et la position du coulisseau, à la vitesse d'essai désirée. Lorsque cela est possible, la presse effectue plusieurs cycles de façon continue (mode automatique) et l'appareil envoie la commande de freinage à la position désirée. Les essais en usine ont démontré qu'il était quelques fois impossible de régler la presse pour un fonctionnement automatique. À ce moment, l'utilisateur doit donc régler l'appareil pour effectuer les mesures sur un seul cycle, soit en mode tour unique. Dans ce mode, il faut réaliser en premier, un essai sans freinage pour obtenir la courbe caractéristique du déplacement du coulisseau de la presse évaluée. C'est lors de cet essai sans freinage que l'appareil acquiert les données pour déterminer la position du coulisseau à la vitesse désirée. Par la suite, un premier essai avec freinage permet d'obtenir le délai de commande de freinage qui sera utilisé dans les essais subséquents pour déterminer le temps d'arrêt moyen. Le tableau 10 présente les résultats obtenus pour une série de mesures effectuée sur la presse de laboratoire.

Tableau 10 – Résultats selon les essais réalisés sur un cycle ou sur plusieurs cycles

Mode opératoire	C_f	f_e	t_a
Trois cycles (tour multiple)	0,0623	0,0061	0,0684
Un cycle (tour unique)	0,0573	0,0047	0,0620

Le tableau 10 montre une différence de 6 ms entre les temps d'arrêt moyens pour les deux modes opératoires évalués.

Nombre d'essais et type de série de mesures pour évaluer le temps d'arrêt

L'appareil mis au point permet de réaliser toute une série de mesures dans des conditions d'essais identiques et de présenter les paramètres statistiques (moyenne et écart type) des variables mesurées. Le nombre d'essais nécessaires pour déterminer le temps d'arrêt moyen dépend de quelques facteurs. Premièrement, il faut faire l'hypothèse que l'échantillonnage de la série de mesures provienne d'une population normale. Ensuite, il faut déterminer quelles différences dans les moyennes et les écarts types sont acceptables, pour qu'à un niveau de confiance donné, ces différences ne soient pas suffisamment grandes pour exclure la possibilité qu'elles soient dues à la variation aléatoire de l'échantillonnage. Le tableau suivant présente différentes possibilités et le nombre d'essais nécessaires pour rencontrer ces exigences. La puissance (0,80) représente la probabilité de détecter une différence avec un niveau de confiance de $\alpha = 0,05$, autrement dit, il y a 80 % de chance de détecter une variation dans les moyennes qui ne soit pas due au hasard, et ce, à un niveau de confiance de 95 % (5 % de risque de conclure faussement qu'il y a une variation qui n'est pas due au hasard).

Tableau 11 – Nombre d'essais requis statistiquement

$\Delta\mu$	Δs	Puissance	Alpha	N
0,005	0,005	0,80	0,05	17
0,005	0,004	0,80	0,05	12
0,005	0,003	0,80	0,05	7
0,010	0,005	0,80	0,05	6

Les tests que nous avons réalisés en laboratoire et en usine montrent que les valeurs de la première rangée sont très plausibles. En tout, 17 essais seraient suffisants pour comparer les temps d'arrêt moyens de deux séries de mesures, dans des conditions d'essais identiques, pour déterminer si les différences sont statistiquement significatives (suivant les énoncés précédents).

3.2 Essais en usine

Les essais en usine ont mis en évidence certaines lacunes de l'appareil de mesure qui ont permis de l'améliorer. Le but de ces essais était de vérifier le comportement de l'appareil de mesure dans un environnement de production et dans diverses conditions d'opération. Différents types de presses ont été évalués; des presses à embrayage à tour complet, des presses plieuse et des presses à embrayage à friction de petite et grande capacité. De plus, l'évaluation du temps d'arrêt basé sur un cycle a été prise en considération. Pour chaque cas, plusieurs essais dans des conditions identiques ont été réalisés. Les résultats présentés dans cette section sont propres aux presses évaluées et ne peuvent être généralisés à l'ensemble des presses.

Temps de fermeture de presses à embrayage à tour complet

Ce type de presse étant encore assez répandu dans l'industrie, des mesures du temps de fermeture ont été réalisées. Le tableau 12 présente les résultats obtenus pour une même presse. Deux modes différents d'activation de la presse ont été employés. Un premier mode utilise un capteur à pression comme système d'activation (voir annexe 3) et l'autre mode, la détection électrique, consiste à déterminer l'instant où il y a fermeture du circuit électrique des boutons de commande bimanuelle. Le tableau 12 indique que le mode utilisant le capteur à pression a un délai de commande de départ et un temps de fermeture inférieur de 10 ms par rapport à l'autre méthode. Dans ce cas, la sensibilité du capteur de pression est donc très près de celle des boutons de commande bimanuelle.

Tableau 12 – Mesure du T_F d'une presse à embrayage à tour complet

Détection de la commande d'activation	N	Délai de commande de départ (C_d)	Temps de fermeture (T_F)
Capteur à pression	30	0,104	0,309
	30	0,104	0,310
Détection électrique (directe)	30	0,113	0,322
	30	0,114	0,322

Note : capacité de la presse 30 tonnes, clé à 4 positions d'encoche.

Le temps de fermeture moyen mesuré avec le capteur à pression étant plus faible que celui enregistré par détection électrique, il conviendrait d'ajuster le temps de fermeture (T_F) en conséquence (exemple : + 10 ms). Lorsque cela est possible, il est recommandé d'utiliser le mode de détection électrique pour déterminer l'instant d'activation de la presse.

Mesure du temps d'arrêt de presses plieuses

Les presses plieuses évaluées sont mues par des moteurs hydrauliques, elles sont lentes et la vitesse de descente du coulisseau est presque constante sur tout le cycle (environ 40 mm/s). Les mécanismes de contrôle de chacune des deux presses évaluées étaient différents et avaient déjà été modifiés auparavant. Le tableau 13 montre les résultats obtenus pour chacune des presses. La quatrième colonne du tableau représente la distance parcourue par le coulisseau entre l'instant d'activation de la commande de freinage et l'arrêt du coulisseau. Le temps d'arrêt pour la presse n° 2 est inférieur à celui obtenu pour la presse n° 1 et cela indique que les mécanismes de contrôle de la presse n° 2 réagissent plus rapidement.

Tableau 13 – Évaluation de presses plieuses

Presse	N	C_D (délai commande de départ)	d_f^1 (mm)	t_a (temps d'arrêt)
N° 1 : moteur hydraulique, cycles alternatifs	12	0,102	9,2	0,195
N° 2 : moteur hydraulique, cycles alternatifs inégaux	10	0,129	3,4	0,089

¹ Distance parcourue entre l'activation du frein et l'arrêt.

Évaluation de presses de grande capacité

Deux presses à embrayage à friction d'une capacité de 200 tonnes chacune ont été évaluées. Dans chaque cas, le coulisseau effectuait trois cycles complets avant que l'appareil de mesure n'envoie la commande d'activation du frein. Le tableau 14 présente les résultats obtenus pour chaque presse. Le délai d'activation de la commande de freinage (C_f) et le freinage effectif (f_e) ont été évalués selon deux critères; un basé sur le déplacement du coulisseau et l'autre basé sur la vitesse du coulisseau calculée à partir du déplacement.

Tableau 14 – Évaluation de presses à embrayage à friction de grande capacité

Presse	N ¹	Selon déplacement		Selon vitesse		t_a
		C_f	f_e	C_f	f_e	
200 tonnes matrice 600 kg vitesse ang. : 35 RPM	5	0,247	0,009	0,192	0,064	0,256
200 tonnes matrice < 200 kg vitesse ang. : 40 RPM	6	0,293	0,033	0,226	0,100	0,326

Note : consigne de freinage à la vitesse maximum.

Les résultats du tableau 14 indiquent que le délai de commande de freinage (C_f) constitue la majeure partie du temps d'arrêt, et ce, pour les deux presses évaluées. Le temps de freinage effectif et le délai d'activation de la commande de freinage varient selon la méthode utilisée, mais le temps d'arrêt est le même. La vitesse étant calculée à partir du déplacement, la précision est plus faible pour les valeurs calculées selon la vitesse du coulisseau. Le freinage effectif réel doit donc se situer entre les valeurs calculées selon les deux méthodes.

Mesure du temps d'arrêt sur un cycle (mode tour unique)

Le mode d'opération qui consiste à faire l'acquisition des données sur un seul cycle du coulisseau a été utilisé pour une presse à embrayage à friction de 33 tonnes. Cette presse avait une vitesse angulaire de 86,5 RPM et la vitesse maximum du coulisseau était de 300 mm/s. Le coulisseau atteignait cette vitesse à une position de 105°. Le tableau suivant résume l'ensemble des résultats obtenus pour différentes consignes d'activation de la commande de freinage.

Tableau 15 – Presse à embrayage à friction, acquisition sur un seul cycle

Consigne d'activation de la commande de freinage	Activation commande de freinage	N	C_f Commande de freinage	t_a	
				μ	s
V_{\max}	$108 \pm 3^\circ$	15	0,124	0,128	0,005
120°	$115 \pm 5^\circ$	8	0,130	0,131	0,006
125°	$121 \pm 3^\circ$	6	0,131	0,132	0,002

L'analyse des paramètres statistiques du temps d'arrêt permet de déterminer si les différences entre les moyennes obtenues sont dues à une variation aléatoire. Dans ce cas-ci, l'analyse de la variance (avec $\alpha = 0,05$) ne permet pas de conclure qu'il y a une différence statistiquement significative. Les différences entre les moyennes des trois groupes ne sont pas suffisantes pour exclure la possibilité que la différence soit due à la variation aléatoire de l'échantillonnage. Comme pour les tests effectués en laboratoire, la plage d'activation du frein est dans la zone où la force de décélération du coulisseau est minimum, donc où le temps d'arrêt serait maximum théoriquement.

Ces résultats, tout comme ceux réalisés en laboratoire, confirment qu'il y a peu de variation du temps d'arrêt moyen pour la plage d'activation du frein considérée.

4. Conclusion

L'emplacement des boutons de commande bimanuelle des presses mécaniques nécessite la mesure du temps d'arrêt ou de fermeture pour chacune des presses évaluées. Cette mesure combinée avec la distance du trajet de la main au point de pincement ainsi que la vitesse de la main, permettent de déterminer la position des boutons de commande pour réduire le nombre d'accidents dus au coincement des doigts ou des mains entre les pièces fixes et mobiles des presses.

L'appareil de mesure du temps d'arrêt et du temps de fermeture des presses mécaniques permet d'évaluer de façon ponctuelle chacune des presses. Il n'entraîne aucune modification des presses existantes et sa mise en place est simple. Il enregistre en continu le déplacement du coulisseau, l'instant d'activation de la commande de départ et l'instant d'activation de la commande d'arrêt. Ces données sont traitées en même temps qu'elles sont enregistrées permettant ainsi à l'appareil de mesure d'afficher les différentes variables reliées à la presse évaluée. Les principales variables sont : le délai de commande de départ, le temps de fermeture, le délai d'activation de la commande de freinage, le freinage effectif et le temps d'arrêt.

Des essais réalisés en laboratoire et en usine ont permis de valider le fonctionnement de l'appareil de mesure. Les résultats obtenus sont répétitifs et la faible dispersion des valeurs autour de la moyenne indique le caractère précis de l'appareil.

Les essais réalisés sur quelques presses n'ont pas montré de relation entre le temps d'arrêt moyen et la position du coulisseau. Toutefois, nous recommandons d'effectuer les mesures de temps d'arrêt lorsque le freinage débute au moment où le coulisseau atteint sa vitesse maximum. La pression d'embrayage de la presse a un effet sur le temps d'arrêt. Il faut donc s'assurer que la pression d'embrayage ne change pas une fois l'emplacement des commandes bimanuelles déterminées à partir du temps d'arrêt moyen.

Les mesures en usine ont montré qu'il est parfois nécessaire d'utiliser des filtres pour le traitement des signaux et qu'il convient alors d'évaluer, cas par cas, l'effet de l'ajout du filtre sur la mesure du temps d'arrêt.

La configuration de l'appareil de mesure, capteur de déplacement, système d'acquisition de données et logiciel de mesure, lui confèrent beaucoup de souplesse. L'utilisation de l'ordinateur permet de visualiser le déplacement de coulisseau, le délai de commande de départ et d'activation de la commande de freinage facilitant l'interprétation des données.

Finalement, l'appareil de mesure pourrait être utilisé à des fins de diagnostic. Il pourrait servir à déterminer s'il y a une dégradation du système de freinage d'une presse en évaluant à intervalle régulier le temps d'arrêt dans des conditions similaires d'opération. De plus, la mesure de l'ouverture et de la fermeture pourrait permettre d'ajuster le système de contrepoids.

Liste des références

1. Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R., Tellier, C. et Sirard, C., *Presse à embrayage à friction – Détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles*, Guide technique R-100, IRSST, Montréal, juin 1995.
2. Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R., Tellier, C. et Sirard, C., *Presse à embrayage à tour complet – Détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles*, Guide technique R-101, IRSST, Montréal, juin 1995.
3. Turcot, D., Boutin, J. et Massé, S., *Chronomètre d'arrêt et de fermeture des presses mécaniques - Guide d'utilisation*, Guide technique, IRSST, novembre 2000.
4. **INRS, France**, *Étude dynamique d'une presse à vilebrequin à embrayage électro-pneumatique*, Rapport n° 5/RE/C, janvier 1972.
5. Integrated measurement & control (imc), *Fast Analysis and Monitoring of Signals (FAMOS) – Users' manual*, Mess-Systeme GmbH, Voltastr.5, Berlin, 1993, p.6-197.

Annexe 1 – Définitions

Durée de la fermeture (F) : mesure du temps entre le passage du coulisseau à sa position la plus éloignée de la matrice, jusqu'à sa position la plus rapprochée de la matrice. Si la mesure est effectuée sur plus d'un cycle consécutif, la moyenne est affichée.

Unités de F : s

Durée de l'ouverture (O) : mesure du temps entre le point mort-bas (PMB) et le point mort-haut (PMH). Si la mesure est effectuée sur plus d'un cycle consécutif, la moyenne est affichée.

Unités de O : s

Course du coulisseau : mesure du déplacement du coulisseau entre sa position la plus éloignée de la matrice et sa position la plus rapprochée de la matrice.

Unités : mm

Délai de la commande de départ (C_d) : le temps compris entre l'activation de la commande départ de la presse et la détection du mouvement du coulisseau selon un paramètre fixé pour l'appareil de mesure. Le paramètre par défaut marque le début du mouvement du coulisseau lorsque son déplacement est supérieur à 1 % de la course.

Le temps de fermeture (T_F) : mesure du temps compris entre l'activation de la commande de départ et le passage du coulisseau à sa position la plus rapprochée de la matrice.

Délai de la commande de freinage (C_f) : le temps compris entre l'activation de la commande de freinage et le début du freinage.

Note : plus d'un cycle consécutif est nécessaire pour évaluer ce critère.

Début du freinage : le début du freinage est déterminé selon un paramètre basé sur la position du coulisseau. La valeur par défaut de ce paramètre indique le début du freinage lorsque la position du coulisseau, après l'activation de la commande de freinage, varie de plus de 4 % par rapport à la position qu'il occupait dans le cycle précédent (360° avant).

La durée du freinage effectif (f_e) : le temps compris entre le début du freinage et l'arrêt du coulisseau. L'arrêt du coulisseau est déterminé selon un paramètre basé sur la vitesse du coulisseau. La valeur par défaut de ce paramètre indique qu'il y a arrêt du coulisseau, après l'activation de la commande de freinage, lorsque sa vitesse est inférieure à 10 mm/s.

Le temps d'arrêt (t_a) : le temps compris entre l'activation de la commande d'arrêt et l'arrêt du coulisseau.

Note : $t_a = C_f + f_e$

Point mort-haut (PMH) : position la plus haute que peut prendre le coulisseau durant sa trajectoire (correspond à la fin de la course d'ouverture).

Point mort-bas (PMB) : position la plus basse que peut prendre le coulisseau durant sa trajectoire (correspond à la fin de la course de fermeture).

Annexe 2 – Caractéristiques des composantes de mesure et d'acquisition de données

CAPTEUR DE DÉPLACEMENT

Fabricant : Rayelco
Modèle : PG-2
Type : potentiomètre résistif
Plage : 50 cm
Excitation : DC
Précision : $\pm 0,1\%$ FS soit $\pm 0,5$ mm

CARTE D'ACQUISITION

Fabricant : National Instruments
Modèle :
Type : PCMCIA 12 bits 8 canaux
Échantillonnage max. : 20 kHz

RÉGLAGE DE L'APPAREIL DE MESURE

Taux d'échantillonnage : 6 000 données/s
Suréchantillonnage de 6 (il fait la moyenne de 6 lectures consécutives), ce qui correspond à l'enregistrement de 1 000 données/s.
La précision de l'horloge interne est de ± 1 μ s.

Annexe 3 – Utilisation d'un déclencheur externe à pression

Dans certaines conditions de mesure, il peut s'avérer impossible de relier le boîtier de contrôle aux boutons de commande bimanuelle, comme c'est le cas de boutons de commande pneumatiques pour une presse à embrayage à tour complet. Dans ces cas, il est possible d'utiliser un déclencheur externe. Il s'agit d'un système de contact à pression, soit un circuit électrique normalement ouvert. En appliquant une pression suffisante sur ce capteur, le circuit se ferme et on peut alors détecter un voltage aux bornes du capteur.

Le tableau suivant montre les résultats d'essais réalisés sur la presse à embrayage à friction du laboratoire.

Tableau 16 – Commande d'activation de la presse

Détection de la commande d'activation	Activation commande de freinage	N	C_f Commande de freinage	f_e Freinage effectif	t_a	
					μ	s
Capteur à pression	$93 \pm 9^\circ$	30	0,064	0,005	0,069	0,006
Détection électrique (directe)	$96 \pm 3^\circ$	30	0,062	0,006	0,068	0,005

Note : freinage à V_{max} .