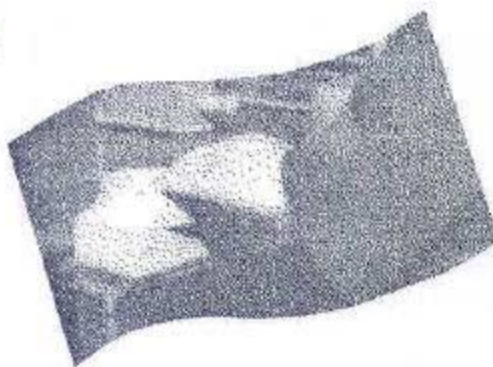


**Évaluation d'une entrave mobile
visant à améliorer
la protection des opérateurs
de presses à friction**



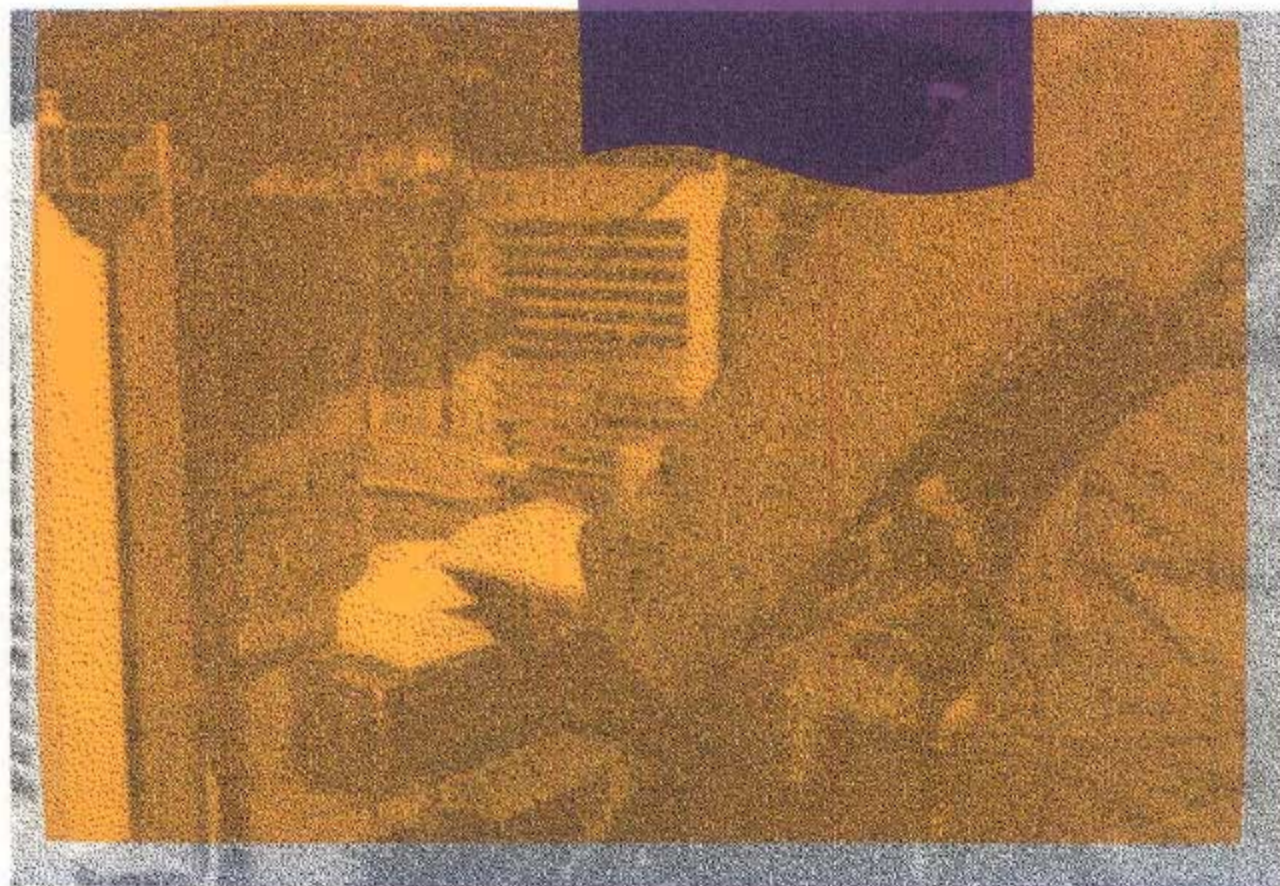
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Raymond Bélanger
Serge Massé
Réal Bourbonnière
Christian Sirard
Renaud Daigle

Janvier 2001

R-264

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,

Évaluation d'une entrave mobile visant à améliorer la protection des opérateurs de presses à friction

Raymond Bélanger, Serge Massé, Réal Bourbonnière, Christian Sirard et Renaud Daigle,
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT



Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible gratuitement
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.

Avant-propos

Le présent document fait suite à la publication de deux guides techniques de l'IRSST (références dans le document et en bibliographie) visant à déterminer l'emplacement sécuritaire des commandes bimanuelles sur les presses à métaux opérées en mode manuel ou *coup par coup*. Il fait également suite à une brève étude en usine qui a permis de démontrer que dans un cas sur deux cet emplacement était effectivement inadéquat.

Suite à ce constat et à l'identification des nombreuses contraintes rendant la modification de l'emplacement du module de commande bimanuelle difficile, voire impossible, une solution a été élaborée, qui fait l'objet du présent rapport.

Bien que les résultats des essais réalisés en laboratoire soient probants, il est important de noter que la solution proposée n'est pas immédiatement applicable : elle devra d'abord être validée par des essais à long terme en usine.

Mentionnons également que le document fait intervenir la notion de *zone dangereuse* : celle-ci est essentiellement constituée par les matrices et les points de pincement qu'elles déterminent. Cependant, bien que non explicitement mentionné, le coulisseau lui-même peut, dans certaines circonstances et au même titre que les matrices, présenter un risque de pincement.

Table des matières

AVANT-PROPOS.....	I
LISTE DES ANNEXES	III
INTRODUCTION.....	1
OBJECTIFS	1
PROBLÉMATIQUE	1
LES COMMANDES BIMANUELLES : FACTEUR DE RISQUES	1
PROTECTION D'UNE PRESSE À MÉTAUX PAR ÉLOIGNEMENT DES COMMANDES	2
<i>Commande bimanuelle à boutons.....</i>	2
<i>Opération de la presse à l'aide d'une commande bimanuelle à action synchrone</i>	3
<i>Fonctionnement de la commande bimanuelle à action synchrone</i>	3
<i>Distance des commandes bimanuelles : paramètres à prendre en compte.....</i>	4
<i>Mesure de la distance de sécurité.....</i>	7
INSUFFISANCE DE LA PROTECTION DES OPÉRATEURS PAR L'ÉLOIGNEMENT DES COMMANDES BIMANUELLES	8
HYPOTHÈSE DE SOLUTION POUR AMÉLIORER LA PROTECTION PAR ÉLOIGNEMENT	9
MÉTHODOLOGIE	10
RÉSULTATS.....	12
ESSAIS SIMULANT UNE SITUATION NORMALE D'OPÉRATION, SANS INCIDENT	12
<i>Presse sans came de reprise des commandes</i>	12
<i>Presse avec came de reprise des commandes</i>	12
ESSAIS SIMULANT UNE SITUATION D'OPÉRATION À RISQUE, AVEC INCIDENT	13
CONCLUSION	15
RETOMBÉES	16
RECOMMANDATIONS	17
BIBLIOGRAPHIE	18
ANNEXES	19

Liste des annexes

Annexe 1 : Protocole d'essai

Annexe 2 : Résultats détaillés – présentation et analyse

Condition normale, sans incident

Condition problématique, avec incident

Analyse des résultats

Annexe 3 : Tableaux des résultats

Annexe 4 : Tableaux et graphiques d'analyse et de synthèse des résultats

Introduction

Plusieurs accidents aux mains résultent de l'opération des presses à métaux. Pour les contrer, deux principaux modes de protection sont utilisés : 1° la protection par défense d'accès à la zone de danger, notamment par des gardes; 2° la protection par éloignement des dispositifs de détection (barrages immatériels) ou de commandes (commandes bimanuelles) de cette zone. Ce dernier moyen de protection, qui nécessite l'usage simultané des deux mains pour commander le départ du cycle de façonnage, consiste à placer le dispositif de commande suffisamment loin de la zone dangereuse pour empêcher l'opérateur d'y avoir accès pendant l'opération. Ce mode de protection dépend de la vitesse de la main de l'opérateur et du temps d'arrêt de la presse. À la suite d'une étude réalisée en usine sur le positionnement des commandes, il est apparu que celui-ci était inadéquat une fois sur deux (Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R., 1999). Afin d'améliorer ce moyen de protection, un dispositif, que nous avons appelé *entrave* a été ajouté à la commande bimanuelle de façon à allonger la trajectoire des mains et, en conséquence, de façon à accroître le temps d'accès à la zone de danger de la presse et à laisser le temps au coulisseau de s'arrêter. Le présent rapport porte sur les essais en laboratoire de ce nouveau moyen de protection et présente les résultats obtenus.

Objectifs

Les objectifs de cette étude technique consistent à concevoir un dispositif — une entrave mobile — visant à améliorer la protection des opérateurs de presses à métaux opérées en mode coup par coup à l'aide d'une commande bimanuelle; à fabriquer un prototype fonctionnel d'un tel dispositif; à effectuer sa mise au point et à en faire l'évaluation en laboratoire par des essais comparés avec un dispositif similaire non mobile (entrave fixe) ainsi qu'avec une commande bimanuelle utilisée seule, sans entrave.

Problématique

De nombreux accidents résultent de l'opération des presses à métaux. Les fichiers de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) révèlent que, pour la période de 1992 à 1994, quelque 208 accidents impliquant des blessures aux membres supérieurs sont reliés à l'utilisation des presses, ce qui représente, en moyenne, 69 accidents par année. Ces accidents ont alors entraîné plus de 15 000 jours perdus, représentant un coût total de quelque 1,35 million \$ versés en compensation. Ces blessures occasionnent ainsi une durée moyenne d'absence de 72 jours, deux fois plus longue que la moyenne générale pour le « secteur métal ».

Les commandes bimanuelles : facteur de risques

La protection des opérateurs de presses à métaux par l'éloignement des commandes bimanuelles fait, depuis quelques années déjà, l'objet de critiques. Ainsi, des chercheurs ont mis en doute la validité de ce moyen de protection. D'une part, une étude (Etherton, 1988) portant sur l'analyse de 2184 cas d'accidents survenus aux États-Unis sur des presses à métaux, démontre que parmi les huit différentes catégories de moyens de protection en usage lors de ces accidents, les commandes bimanuelles constituaient le principal facteur de risque (29 %), suivies par les gardes fixes (25 %). Etherton concluait qu'une étude devrait être entreprise pour déterminer les causes de cet état de fait. En particulier, il recommandait de procéder à des mesures de distances entre les boutons de commandes bimanuelles et les matrices lors d'enquêtes d'accidents afin d'évaluer l'efficacité de ce moyen de protection. D'autre part, une étude de l'IRSST (Bélanger et al., 1994), attirait l'attention sur les risques inhérents à l'usage de la protection au moyen de commandes bimanuelles. On y mentionnait, entre autres, que certains de ces dispositifs mettaient jusqu'à 80 millisecondes pour transmettre le signal de commande du

démarrage ou du freinage du coulisseau. Sous certaines conditions d'opération et considérant les délais additionnels dus aux temps de réaction des différents composants du processus de freinage, il devenait possible à l'opérateur, si les commandes bimanuelles étaient mal positionnées, de donner la commande et d'accéder à la zone dangereuse avant l'arrêt du coulisseau.

Compte tenu de ces circonstances et des nombreux accidents survenant sur des presses à métaux équipées d'une commande bimanuelle, l'inadéquation présumée du mode de protection par éloignement des commandes a été posée comme hypothèse. Cette hypothèse a alors été vérifiée dans le cadre de deux études de l'IRSST (Bélanger et al., 1995a; Bélanger et al., 1995b) portant respectivement sur la détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles sur une presse à embrayage à friction et sur une presse à embrayage à tour complet (ou embrayage rigide); elle a en outre été vérifiée au moyen de mesures quantitatives réalisées, *a posteriori*, sur le terrain. Ces mesures ont montré que la moitié des postes de travail analysés comportait une presse à métaux munie d'une commande bimanuelle mal positionnée, c'est-à-dire dont la distance séparant celle-ci de la zone de danger était insuffisante. Il a également été constaté lors de ces études, que la distance correcte sur plusieurs de ces presses aurait été trop grande pour être acceptable d'un point de vue ergonomique ou que la configuration de la machine ne permettait pas de placer les commandes bimanuelles à la distance adéquate.

Protection d'une presse à métaux par éloignement des commandes

Ce mode de protection consiste, d'une part, à occuper les deux mains de l'opérateur au moyen d'une commande bimanuelle et, d'autre part, à positionner celle-ci suffisamment loin de la zone dangereuse pour en défendre l'accès pendant la descente du coulisseau.

Commande bimanuelle à boutons

Les commandes bimanuelles à boutons pour presses à métaux (voir figure 1) sont essentiellement constituées des éléments suivants : i) deux boutons à action simultanée ou à action synchrone servant à donner la commande, ces derniers comportant un circuit de commutation avec relais de temporisation afin d'assurer un délai maximum de 500 ms entre les signaux électriques provenant de chaque bouton de la commande (prEN 574 : 1994); ii) un circuit d'annulation de la commande. Pour fins de simplification, seul le mode de fonctionnement à l'aide d'une commande bimanuelle à action *synchrone* sera traité ici. En outre, un bouton d'arrêt normal et un bouton d'arrêt d'urgence sont fréquemment intégrés au module de commande bimanuelle. Les commandes bimanuelles peuvent être de deux types : *déclencheur* ou *maintenu*.

Lorsqu'elle est du type *déclencheur*, la commande bimanuelle sert uniquement à déclencher le cycle : ce type de commande convient aux deux types de presses — à embrayage à friction et à embrayage rigide; lorsqu'elle est du type *maintenu* (uniquement utilisée sur des presses à embrayage à friction) la commande sert également à déclencher le cycle mais les deux boutons doivent être maintenus enfoncés durant l'opération : si un des boutons est

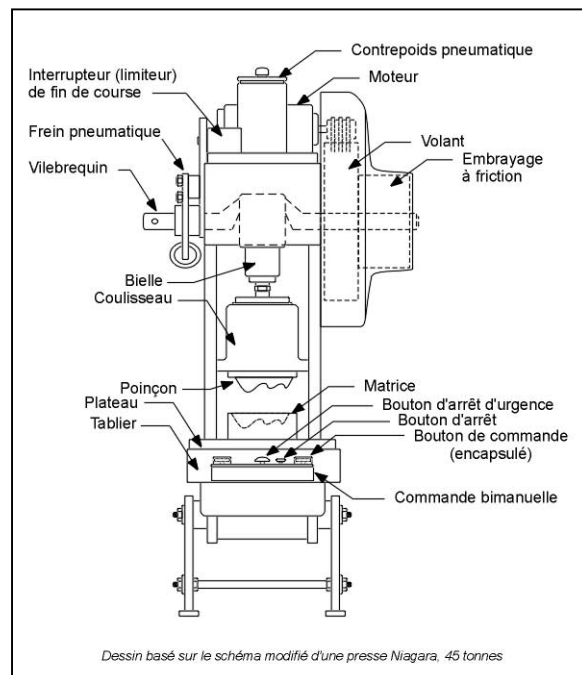


Figure 1 Schéma d'une presse à friction

relâché, l'ordre d'arrêt est transmis et le coulisseau s'arrête en cours de cycle. Deux cas se présentent : i) la presse est munie d'une came de reprise automatique de la commande, qui a pour fonction d'inhiber toute commande d'arrêt du cycle après le passage du coulisseau au point mort bas; il en résulte qu'il n'est pas nécessaire de maintenir l'appui sur les boutons après que le coulisseau ait atteint le bas de sa course; ii) la presse n'est pas pourvue d'une telle came; les boutons doivent alors être maintenus enfoncés jusqu'à la fin du cycle, c'est-à-dire tant que le coulisseau n'est pas retourné à son point mort haut sinon la commande d'arrêt est transmise.

Opération de la presse à l'aide d'une commande bimanuelle à action synchrone

La fabrication d'une pièce à l'aide d'une presse à métaux munie d'une commande bimanuelle à action synchrone comporte différentes phases, réalisées par l'opérateur et par la machine, qui peuvent se résumer ainsi (la presse à embrayage à friction munie d'une came de reprise de la commande est, ici, prise comme exemple) :

- Le coulisseau (et le poinçon) étant à l'arrêt au point mort haut, l'opérateur place la pièce de métal à façonner sur ou dans la matrice et la positionne correctement; cette tâche peut être effectuée à mains nues ou à l'aide d'un outil à main;
- l'opérateur appuie ses mains sur les deux boutons de la commande pendant que le circuit de temporisation détermine si le délai de synchronisme est respecté; le délai étant conforme au paramètre de contrôle (500 ms, maximum), la transmission de la commande s'effectue — en autant, s'il s'agit d'une commande bimanuelle de type maintenu, que les deux mains de l'opérateur maintiennent leur appui sur les boutons de la commande;
- les vannes d'activation du cycle sont actionnées : l'embrayage pneumatique à friction entre en action pendant que, simultanément, des ressorts de rappel du frein sont comprimés, ce qui libère son emprise et permet la transmission de l'énergie du volant au vilebrequin; si une commande bimanuelle de type déclencheur est utilisée, la machine ne peut être arrêtée et le cycle se complète;
- si une commande bimanuelle de type maintenu est utilisée, l'opérateur doit alors maintenir les boutons de la commande enfoncés jusqu'à l'arrivée du coulisseau en bas de sa course, au point mort bas (ou très près de ce point); si l'opérateur retire une main d'un des boutons de la commande pendant la descente du coulisseau, l'ordre de freinage — en réalité, l'ordre de désactivation de l'embrayage, qui entraîne l'application du frein par ses ressorts de rappel — est transmis et, après un délai plus ou moins long, le coulisseau s'arrête;
- en l'absence d'incident, (les deux boutons ayant été maintenus enfoncés jusqu'à l'arrivée en bas de course du coulisseau dans le cas d'une commande bimanuelle de type maintenu), le métal est façonné par le poinçon et la matrice, puis le coulisseau poursuit sa course ascendante vers son point mort haut;
- pendant la remontée du coulisseau, l'opérateur retire la pièce façonnée, la place avec les précédentes et prend une nouvelle pièce de métal pour commencer un nouveau cycle.

Fonctionnement de la commande bimanuelle à action synchrone

L'opérateur ayant appuyé *simultanément* sur les deux boutons de la commande bimanuelle, le circuit du relais de temporisation évalue le délai entre les signaux transmis par la fermeture des circuits électriques du premier et du second bouton. Si ce délai est supérieur à la valeur de référence, la commutation du signal vers le circuit de commande est annulée et le circuit de temporisation est remis à son état initial. Dans ce cas, l'opérateur doit relâcher les deux boutons avant de les activer de nouveau.

Si le délai est acceptable, le circuit de commutation transmet le signal vers le circuit de commande du solénoïde de la vanne pneumatique (SVP), laquelle actionne l'embrayage et désactive le frein. Le cycle de façonnage est alors enclenché et se poursuit tant que le SVP demeure alimenté en courant électrique. Si une commande bimanuelle de type déclencheur est utilisée, le SVP demeurera alimenté jusqu'à l'arrivée du coulisseau au point mort haut.

Si la commande bimanuelle est de type maintenu, l'alimentation électrique du SVP est conditionnelle au maintien des mains sur les boutons, le temps nécessaire selon que la presse soit, ou non, pourvue d'une came de reprise.

Dans le premier cas, si, pendant que le coulisseau descend, mais avant que le vilebrequin ait effectué une rotation de 170° — le coulisseau serait alors tout près de son point mort bas — l'opérateur retire sa main d'un des boutons de la commande bimanuelle, le circuit d'alimentation du SVP s'ouvre : l'embrayage est alors relâché et le frein s'applique pour arrêter la descente du coulisseau. Si le vilebrequin avait déjà effectué une rotation de 170° , un interrupteur, activé par la came de reprise, actionne un relais qui inhibe toute transmission de commande de freinage (provenant de la commande bimanuelle), assurant de cette façon le maintien de l'alimentation électrique du solénoïde; il n'est alors plus nécessaire que l'opérateur maintienne ses mains sur les boutons de la commande bimanuelle. Le coulisseau poursuit alors sa course jusqu'au point mort haut, où un interrupteur de fin de course provoque finalement l'ouverture du circuit, ce qui entraîne le relâchement de l'embrayage et l'engagement du frein et, ainsi, complète le cycle. Si la presse ne possède pas de came de reprise des commandes, l'opérateur devra maintenir son appui sur les boutons jusqu'au retour du coulisseau au point mort haut.

Distance des commandes bimanuelles : paramètres à prendre en compte

La distance à laquelle les commandes bimanuelles doivent être placées par rapport à la zone de façonnage d'une presse à friction dépend essentiellement de trois paramètres : la vitesse de la main de l'opérateur; le temps global d'arrêt du coulisseau de la presse; le temps global de fermeture de la zone dangereuse par le coulisseau. Ces deux derniers paramètres incluent les temps de réaction de la commande bimanuelle, le temps de transmission de la commande et les temps de réaction de la machine. La détermination de cette distance implique également une méthode adéquate pour la mesurer.

Vitesse de la main de l'opérateur

De nombreux auteurs ont mis en doute la validité de la vitesse des mains des opérateurs de presses à métaux retenue par les normes, dont la norme américaine ANSI B11.1-1988 et la norme canadienne CAN/CSA-Z142-M90. Cette vitesse, de 1,6 m/s, avait été déterminée en 1935 par une étude allemande (Löbl, 1935).

Entre autres études sur le sujet, une étude américaine (Pizatella & Moll, 1985) a porté sur l'évaluation de la vitesse de la main de 60 opérateurs de presses lors de la simulation d'un *repositionnement* de la pièce après déclenchement de la commande et avant le façonnage (after reach). Cette étude a été réalisée sur un simulateur de presse mis au point en 1982 par le NIOSH et qui a fait l'objet d'une publication en 1986 (Collins, Pizatella, Etherton et Trump, 1986). Pour cette étude, deux emplacements différents des commandes ont été considérés, soit au niveau des épaules, les boutons étant placés dans le plan vertical, soit au niveau de la taille, selon deux orientations des boutons : verticale ou horizontale. L'étude a montré que :

- Les sujets mâles atteignent une vitesse plus élevée que les sujets femelles : $1,56 \pm 0,71$ m/s contre $1,05 \pm 0,51$ m/s;
- les sujets jeunes (âge inférieur à 31 ans) sont plus rapides que les plus vieux : $1,72 \pm 0,77$ m/s contre $1,32 \pm 0,67$ m/s pour l'ensemble des sujets;
- globalement, 28 % des sujets (âge et sexe confondus) ont atteint une vitesse de main supérieure à la vitesse retenue par la norme ANSI (et par OSHA); lorsqu'on ne considère que les sujets mâles âgés de moins de 31 ans, cette proportion atteint 79 %;
- l'emplacement de la commande bimanuelle a une incidence significative sur la vitesse de la main de l'opérateur : la vitesse atteinte est plus rapide lorsque la commande bimanuelle est placée au niveau des épaules ($1,43 \pm 0,63$ m/s) comparée à l'emplacement au niveau de la taille ($1,21 \pm 0,69$ m/s);

- des vitesses élevées de la main pouvaient dépasser largement la vitesse normalisée de 1,6 m/s, soit de 4,91 m/s pour une commande bimanuelle placée au niveau des épaules et de 4,05 m/s pour une commande bimanuelle placée au niveau de la taille, avec boutons orientés horizontalement.

Bien que l'emplacement de la commande bimanuelle au niveau des épaules permette d'atteindre une vitesse de main plus grande, il est à noter que cette position des boutons entraîne une dépense énergétique 4,7 fois plus grande (Nemeth, Blache, Klaus, 1982) que lorsqu'elle est placée au niveau de la taille et, qu'en cela, d'un point de vue ergonomique, cette position des commandes est à éviter pour les presses qui opèrent en mode coup par coup.

D'autre part, une étude française (Lievin, D., Krawsky, G., Mougeot, B., Schouller, J.F. 1973) a relié la vitesse de la main à la direction de son mouvement vers la zone dangereuse. Une vitesse maximale de 6,0 m/s a alors été observée lorsque le sujet occupait une position latérale par rapport à la cible. Selon un mouvement de face (donc, suivant le plan sagittal du sujet), une vitesse maximale de 5,0 m/s a été atteinte.

En somme, la vitesse de la main d'un opérateur de presse dépend à la fois de ses caractéristiques propres (sexe, âge, habileté) et de son environnement de travail (emplacement de la commande bimanuelle sur la machine ou sur un support mobile, position de travail par rapport à la zone dangereuse).

Temps d'arrêt ou de fermeture du coulisseau

Rappelons que, si une commande bimanuelle de type *maintenu* est utilisée sur une presse à friction, l'arrêt du coulisseau est automatiquement commandé s'il y a relâchement prématuré d'un des boutons de la commande; entrent alors en action plusieurs composants qui créent des délais entre la commande de l'arrêt et l'arrêt effectif du coulisseau. Si une commande bimanuelle de type *déclencheur* est utilisée, c'est la fermeture de la zone de danger par le coulisseau qui est sensée assurer la protection cherchée. Le temps de fermeture du coulisseau est déterminé par le délai entre le moment où la commande de démarrage du cycle a été donnée par l'opérateur et le moment où la zone de danger est fermée par le coulisseau lorsqu'il atteint son point mort bas.

Ces temps de réaction, en regard de chaque mode de protection — par arrêt du coulisseau (*A*) ou par fermeture de la zone de danger par le coulisseau (*F*) — dépendent essentiellement du temps de réaction du module de commande bimanuelle, du temps de transmission de la commande à la presse et du temps de réaction des composants de la presse pour assurer l'arrêt du coulisseau. Ces paramètres et leurs facteurs explicatifs sont décrits, ci-après, dans le tableau 1. À chacun de ces *paramètres* (colonne 1) correspond un ou plusieurs *facteurs principaux* (colonne 2) et *facteurs secondaires* (colonne 3) expliquant le délai dû à l'arrêt (*A*) ou à la fermeture (*F*) du coulisseau. Les colonnes 4 et 5 indiquent à quel mode de protection (*A*) ou (*F*) se réfèrent chaque ensemble *Paramètre – Facteur principal – Facteur secondaire*. Par exemple, l'ensemble « Réaction des composants mécaniques et pneumatiques – Évacuation (*A*) de l'air de l'embrayage – Configuration, diamètre et longueur de la tuyauterie du circuit d'évacuation » décrit un des paramètres déterminant le délai imparti au mode de protection par arrêt (*A*) du coulisseau.

Tableau 1 Facteurs susceptibles d'influencer le temps d'arrêt (A) ou le temps de fermeture (F) du coulisseau

Paramètre	Facteurs principaux	Facteurs secondaires	Mode de protection*	
			A	F
Réaction de la commande	Réaction du ressort de rappel des boutons de la commande bimanuelle (jusqu'à l'ouverture des contacts électriques du circuit de commande)		√	
Transmission de la commande d'arrêt (A) / ou de démarrage (F) du coulisseau	Réaction des relais du circuit de commande		√	√
	Réaction de l'électrovanne simple corps ou double corps	Réaction des éléments (ressorts, bobines) de l'étage de pilotage qui commande la commutation de l'étage de puissance de l'électrovanne	√	√
		Réaction des éléments (ressorts, clapets, tiroirs), de l'étage de puissance de l'électrovanne, qui assurent l'évacuation (A) de l'air de l'embrayage	√	
		Réaction des éléments (ressorts, clapets, tiroirs), de l'étage de puissance de l'électrovanne, qui assurent l'admission (F) de l'air de l'embrayage		√
Réaction des composants mécaniques et pneumatiques	Évacuation (A) de l'air de l'embrayage / alimentation (F) en air de l'embrayage	Pression d'air	√	√
		Volume de l'embrayage	√	√
		Présence, ou non, d'une ou de plusieurs vannes d'évacuation rapide	√	
		Configuration, diamètre et longueur de la tuyauterie du circuit d'évacuation (A)	√	
		Configuration, diamètre et longueur de la tuyauterie d'alimentation (F)		√
		Diamètre des orifices d'échappement	√	
		État (colmatage) des silencieux d'échappement	√	
	Décompression des ressorts de rappel au moment de l'application du frein		√	
	Usure des garnitures du frein (A) ou de l'embrayage (F)		√	√
	Patinage des disques du frein (A) ou de l'embrayage (F)	Présence d'un corps étranger entre les disques	√	√
		Présence d'huile sur les disques	√	√
	Grandeur des masses en mouvement	Vilebrequin	√	√
		Bielle	√	√
		Coulisseau	√	√
		Outil	√	√
	Réglage du contrepoids pneumatique		√	√
Cadence de la presse			√	√

- Les symboles A et F réfèrent, respectivement, aux modes de protection par *Arrêt* du coulisseau et par *Fermeture* de la zone de danger par le coulisseau, lorsqu'il atteint son point mort bas.

Mesure de la distance de sécurité

À notre connaissance, il n'existait pas, au moment où l'étude a été entreprise, de méthodes normalisées permettant de positionner adéquatement les commandes bimanuelles à partir des valeurs de distance de sécurité, obtenues par calcul ou par mesure. La norme canadienne CAN/CSA-Z142-M90 est d'ailleurs totalement silencieuse sur ce point. Deux approches pouvant permettre d'évaluer cette distance de positionnement des commandes ont toutefois été identifiées et examinées.

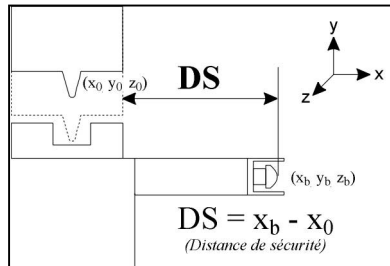


Figure 2 Mesure de la distance de sécurité (Roozbazar)

La première approche est issue d'un article (Roozbazar, 1977) paru dans la revue *National Safety News*. On y proposait la méthode illustrée à la figure 2. Bien qu'elle soit simple et pratique, cette méthode de mesure nous est toutefois apparue incomplète, puisqu'elle ne tenait pas compte de la position verticale et latérale de la commande par rapport au point de pincement. La seconde approche nous a été inspirée par une figure illustrée dans une étude du NIOSH (Jensen and Pizatella, 1986), où les auteurs ont constitué un système de coordonnées spatiales afin de comparer les résultats de différentes études visant à déterminer la vitesse de la main des opérateurs de presses à métaux. Cette méthode de mesure, en apparence fort précise, est difficile d'application pour les mécaniciens d'usine responsables du positionnement des commandes bimanuelles sur les presses, en ce qu'elle requiert des connaissances minimales de calcul vectoriel. Il est à noter que la méthode illustrée par le schéma de la figure 3, est une simplification de la méthode originale, non illustrée, dont la terminaison du vecteur DS pointait au centre de la face supérieure de la matrice.

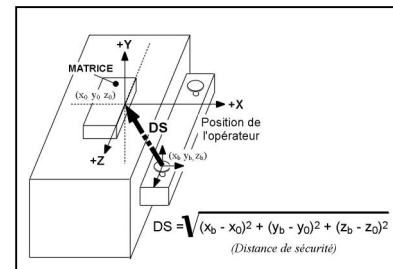


Figure 3 Mesure de la distance de sécurité (NIOSH)

Aucune de ces méthodes ne nous ayant semblé pratique, nous avons développé une méthode plus directe (Bélanger et al., 1995a; Bélanger et al., 1995b), qui consiste à tenir compte du point de pincement le plus proche auquel l'opérateur pouvait accéder à partir de sa position normale d'opération. La distance devait donc, d'une part, être mesurée entre le centre du bouton placé à proximité du point de pincement le plus facilement accessible et ce point de pincement lui-même. Elle devait, d'autre part, se rapprocher le plus possible de la trajectoire effectivement suivie par la main pour atteindre ce point tout en étant facile à mesurer. La figure 4 illustre cette méthode. On y remarque que la distance de sécurité est mesurée à l'aide d'un ruban de mesure souple. Tel qu'il est illustré, la mesure est effectuée à partir du centre du bouton de commande p_0 , qui est placé le plus près du premier point de pincement accessible par la main de l'opérateur; le ruban se dirige alors vers le point de pincement p_n en épousant les éléments qu'il contourne — ici, le plateau du tablier p_1 et la matrice p_2 . La distance de sécurité ou de positionnement de la commande, est alors égale à la somme des segments de droites déterminés par les obstacles rencontrés.

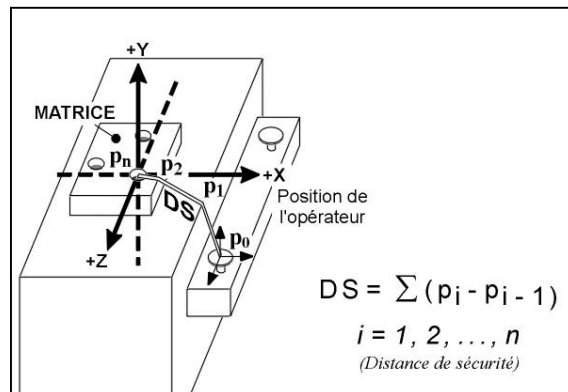


Figure 4 Mesure de la distance de sécurité (IRSST)

Pour que le positionnement de la commande sur la presse soit adéquat — et qu'il convienne alors d'employer l'expression *distance de sécurité* — la distance mesurée doit être égale ou supérieure au produit de la vitesse de la main de l'opérateur par le temps d'arrêt du coulisseau de la presse.

Insuffisance de la protection des opérateurs par l'éloignement des commandes bimanuelles

Compte tenu des difficultés d'application du mode de protection des opérateurs de presses à métaux par l'éloignement des commandes bimanuelles de la zone dangereuse, et dans le but de bien cerner la problématique de ce mode de protection, des mesures quantitatives ont été effectuées dans le cadre d'un programme d'essais échelonnés sur une période de plusieurs mois. Des mesures préliminaires de temps d'arrêt du coulisseau et de positionnement de commandes bimanuelles sur les presses à friction ont été réalisées dans les laboratoires de l'IRSST et dans différentes usines. Après une période de rodage des appareils et la mise au point des méthodes, des mesures ont été effectuées sur le terrain.

Une collecte de données quantitatives a été effectuée dans une usine du Québec sur 18 presses à friction. Ces machines étaient toutes opérées manuellement, en mode coup par coup, à l'aide d'une commande bimanuelle placée au niveau du tablier.

Afin de vérifier si le positionnement des commandes bimanuelles sur ces presses était adéquat pour assurer la sécurité des opérateurs, nous avons réalisé des mesures de temps d'arrêt du coulisseau de la presse et de distance des commandes par rapport au point de pincement le plus proche. Toutes les presses soumises aux essais étaient en opération normale : le poinçon et la matrice alors en usage sont demeurées en place au moment de la prise de données; la pression du contrepoids n'a pas été modifiée; aucune presse n'a fait l'objet d'entretien ou de réglages particuliers en vue des essais.

Les mesures du temps d'arrêt du coulisseau ont d'abord été réalisées sur les 18 presses à l'aide d'un appareil de mesure conçu à cet effet. Nous avons ensuite calculé le temps d'accès à la zone de danger et la distance théorique de positionnement des commandes (distance de sécurité) obtenue en faisant le produit de la vitesse de la main par le temps d'arrêt du coulisseau. Pour ces calculs, dans l'évaluation des résultats, nous avons considéré le temps d'arrêt moyen des 10 essais effectués sur chaque presse; nous avons également adopté la vitesse de main normalisée — et toujours retenue par la norme — de 1,6 m/s, et ce, rappelons-le, bien qu'il ait été démontré par plusieurs auteurs que la vitesse de main d'un opérateur de presse à métaux peut largement dépasser 1,6 m/s.

En comparant les valeurs mesurées et les valeurs calculées, nous avons évalué s'il y avait un risque d'accès à la zone de danger. Dans le cas où ce risque était constaté, nous avons alors calculé la *durée d'exposition* dans la zone de danger, ce qui représente le délai entre le moment où la main de l'opérateur entre dans la zone de danger et le moment où le coulisseau s'arrête. Nous avons également déterminé, lorsque le risque était présent, la *vitesse de sécurité*, c'est-à-dire la vitesse maximale de la main de l'opérateur permettant d'assurer, dans ces circonstances, qu'elle n'atteigne la zone de façonnage qu'une fois l'arrêt du coulisseau effectué. Les résultats de ces mesures ayant déjà été publiés (Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R., 1999), ils ne seront pas repris en détail dans le présent rapport. Rappelons seulement que la moitié des machines (9 sur 18) comportait des commandes bimanuelles dont le positionnement était inadéquat au moment des mesures, et ce, en considérant une vitesse de main de 1,6 m/s. Si une vitesse de 2,0 m/s avait été prise comme base de calcul, trois autres machines auraient aussi présenté, quant à la protection par éloignement des commandes, des risques d'utilisation pour l'opérateur. Si la vitesse de la main avait été portée à 2,5 m/s, une seule machine aurait encore offert une protection par éloignement des commandes *suffisante* pour l'opérateur; ce mode de protection n'était toutefois plus valable pour cette dernière machine dès que la vitesse de la main atteignait 2,86 m/s. Ainsi, pour une vitesse de main de 3,0 m/s, toutes les machines présentaient

donc des risques d'accès à la zone de danger dans les conditions qui prévalaient au moment de la prise de données en usine.

Hypothèse de solution pour améliorer la protection par éloignement

Dans le but d'améliorer la sécurité d'opération des presses à métaux au moyen de la protection par éloignement des commandes, une première solution a été envisagée à l'IRSST : l'ajout d'une *entrave* fixée au module de commande bimanuelle. Comme illustré par le schéma de la figure 5, une entrave placée au-dessus des boutons de commande obligerait l'opérateur à un allongement de la trajectoire de sa main pour atteindre la zone dangereuse. La présence de l'entrave impliquerait également un déplacement initial négatif de la main par rapport à la zone de danger, de façon à contourner l'entrave, suivi d'un changement de direction de la main, le tout, résultant en une vitesse moyenne réduite.

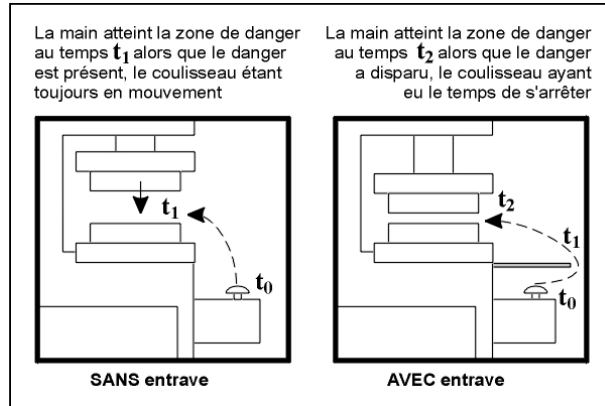


Figure 5 Effet de l'ajout d'une entrave sur le module de commande bimanuelle

À notre connaissance, aucune mesure en ce sens n'a encore été réalisée. L'ajout d'une entrave au-dessus des boutons de commandes nous laisse entrevoir une diminution appréciable de la vitesse moyenne de la main, ce qui, combinée à l'allongement de la trajectoire empruntée par la main, pourrait permettre d'améliorer ce mode de protection par simple éloignement des commandes. Cependant, il est évident qu'une entrave de ce type entraînerait, pour l'opérateur, à chaque cycle, une contrainte opératoire inacceptable. Aussi, une autre approche plus pratique a été examinée : l'ajout, au module de commande bimanuelle, d'une entrave *mobile*, plutôt que fixe. Le fonctionnement d'une entrave mobile est illustré par les schémas de la figure 6.

Après avoir placé une pièce de métal entre les matrices, l'opérateur appui simultanément sur les deux boutons de la commande bimanuelle (a) ce qui a pour effet de commander non pas le démarrage du coulisseau mais le déploiement de l'entrave mobile (b); c'est le déploiement

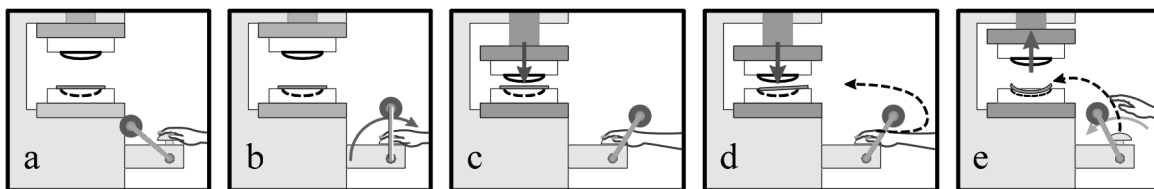


Figure 6 Fonctionnement d'une entrave mobile sur une presse à métaux

complet de l'entrave mobile qui commande le démarrage du coulisseau (c). Si, après avoir commandé le démarrage du cycle, l'opérateur s'aperçoit que la pièce de métal est mal placée (ou s'est déplacée) et que, par réaction, il tente de la replacer alors que le coulisseau est en mouvement, il devra alors contourner l'entrave mobile (d), ce qui, en allongeant la durée d'accès à la zone de façonnage (la zone dangereuse), pourra éventuellement donner le temps au coulisseau de s'arrêter avant l'arrivée de la main dans cette zone. Si, au contraire, tout s'est bien déroulé et que la pièce est façonnée *normalement*, alors le retrait de l'entrave sera commandé et l'opérateur pourra retirer sans contrainte opératoire (e) la pièce façonnée. Ainsi, ce type d'entrave présenterait les avantages de l'entrave fixe sans ses inconvénients : lorsque déployée, elle assurerait l'amélioration du mode de protection par éloignement des commandes; lorsque rétractée, elle éliminerait la contrainte opératoire inhérente à la présence d'une entrave fixe.

Méthodologie

Après avoir conçu et mis au point un prototype fonctionnel d'entrave mobile, un protocole d'essai en laboratoire a été élaboré. Deux types de paramètres à mesurer et de variables à calculer ont été définis : i) des paramètres et variables de contrôle du fonctionnement des équipements (presse et entrave mobile); ii) des paramètres et variables de mesure de performance des entraves. Les premiers ont été définis dans le but de s'assurer que le fonctionnement des équipements était adéquat durant les essais et qu'en conséquence les résultats mesurés seraient comparables d'un essai à l'autre; les seconds, afin de mesurer l'effet de la présence d'une entrave — fixe ou mobile — sur la durée de l'opération et sur la sécurité de l'opérateur. Le protocole d'essai, les paramètres de contrôle et de mesure ainsi que des variables de calcul sont présentés à l'annexe 1.

Les essais ont eu lieu dans les laboratoires de l'IRSST. Ils ont nécessité l'utilisation des équipements suivants : une presse à embrayage à friction fonctionnant en mode coup par coup; munie d'un simulacre de matrice et poinçon en caoutchouc mousse; deux bacs à pièces; un module comportant une commande bimanuelle et le prototype d'entrave mobile; des capteurs électriques; deux caméras haute vitesse sur trépied, des sources d'éclairage ainsi qu'un micro-ordinateur, le tout installé selon le montage illustré à la figure 7.

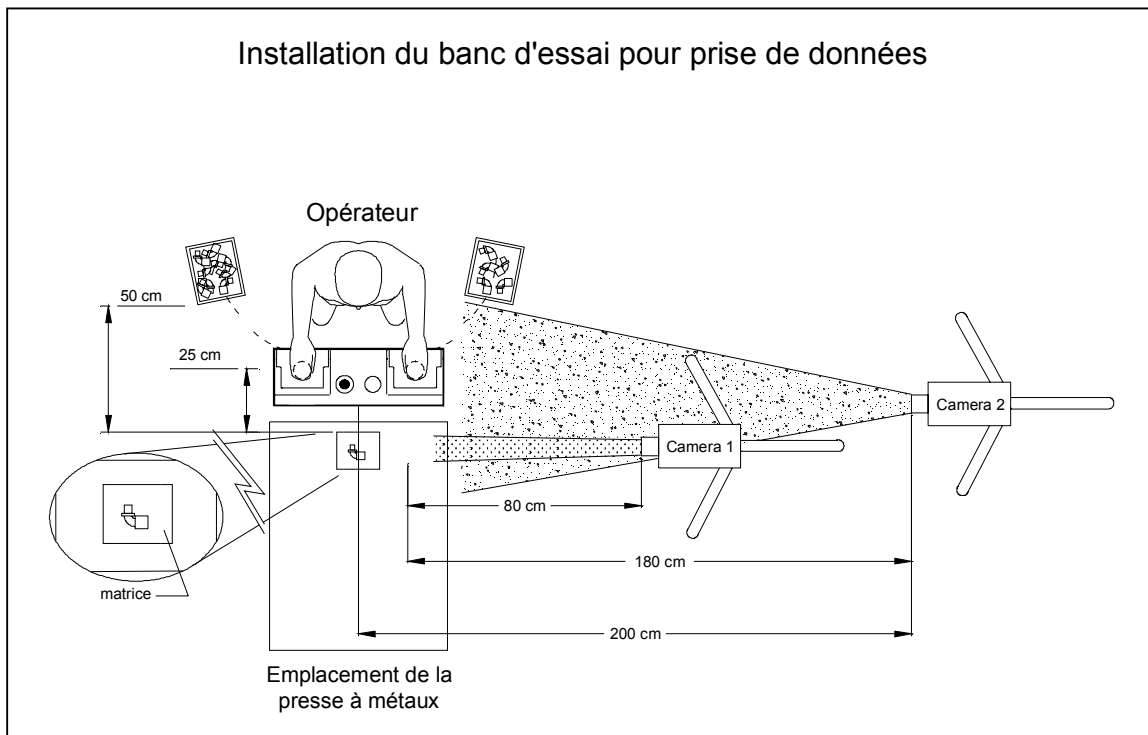


Figure 7 Schéma du montage du banc d'essai des entraves

Comme le montre le schéma de la figure 7, une première caméra donnait une image en gros plan du vilebrequin de façon à faciliter l'interprétation visuelle de son mouvement, capté à une fréquence de 1 000 images par seconde. La deuxième caméra permettait d'obtenir une vue d'ensemble du mode opératoire du sujet, des boutons de la commande bimanuelle et de l'entrave mobile (dans le cas des essais avec entrave fixe, l'entrave mobile était alors simplement maintenue en mode déployé alors que pour les essais sans entrave, celle-ci était maintenue en mode non-déployé). À noter que le micro-ordinateur et les sources d'éclairage n'ont pas été illustrés afin de ne pas alourdir le schéma.

Deux catégories d'essai ont été définies : la première, simulant les conditions normales d'opération consistant à placer *avec précision* une pièce dans la matrice (la pièce devait être orientée pour coïncider avec l'empreinte en creux pratiquée dans la matrice), à déclencher le cycle de façonnage, à retirer la pièce *façonnée* et à la déposer dans un bac; la seconde, simulant les conditions d'opération à risque, consistant pour *l'opérateur* à placer une pièce dans la matrice, à déclencher le cycle de façonnage et, précipitamment, à retirer sa main d'un des boutons de la commande bimanuelle (ce qui commande automatiquement l'arrêt du coulisseau) et à la diriger dans la zone de danger pour y repositionner la pièce hypothétiquement mal placée (qu'elle ait été initialement bien placée ou non).

Pour chacune de ces catégories et pour chaque type d'essai — sans entrave, avec entrave fixe, avec entrave mobile —, deux séries d'essais ont été réalisées : la première, en plaçant la commande bimanuelle à 25 cm de la matrice; la seconde, à 50 cm, valeurs représentatives des distances de positionnement des commandes bimanuelles, mesurées en usine. Tous les essais ont été effectués sur une presse à friction Azimuth de 15 tonnes ayant une course de 3 pouces (76,2 cm) et opérant sous une cadence de 100 cycles/minute. Le module de commande bimanuelle était placé en avant de la presse et orienté parallèlement au bord antérieur du coulisseau, le dessus des boutons de la commande bimanuelle étant situé à 90 cm du sol. En outre, pour les essais simulant une situation normale d'opération, deux modes de fonctionnement de la presse — que l'on retrouve en usine — ont été considérés : 1° avec came de reprise des commandes; 2° sans came de reprise des commandes.

Comme il a été mentionné précédemment, la came de reprise des commandes a pour fonction d'assurer la reprise automatique des commandes par la machine à partir d'une rotation du vilebrequin d'environ 170° (valeur fixée à 180° pour les essais), ce qui a pour effet de permettre à l'opérateur (ou au sujet soumis aux essais) de relâcher les boutons de la commande bimanuelle dès que le coulisseau a atteint le bas de sa course (le point mort bas). Sans came de reprise, le sujet doit maintenir l'appui de ses mains sur les boutons de la commande bimanuelle jusqu'à la fin du cycle. En ce qui concerne les essais en situation problématique, simulant un repositionnement à risque de la pièce, le coulisseau reçoit la commande d'arrêt avant d'atteindre le bas de sa course, de sorte que la présence d'une came de reprise est sans effet. Ce paramètre n'a donc pas été considéré dans ce type d'essai.

Le sujet soumis aux essais simulant une situation normale d'opération, avait pour consigne d'adopter une vitesse de *travail* qui lui semblait confortable et de la conserver durant tous les essais de ce type. Plusieurs cycles opératoires pouvaient ainsi être réalisés avant d'être enregistrés, *à son insu*, par les caméras haute vitesse. Lors des essais simulant une situation problématique, le sujet avait pour consigne d'adopter la même allure qu'en situation normale, et ce, pour deux cycles opératoires complets. Au cours du troisième cycle, qui allait être enregistré par les caméras haute vitesse, le sujet devait alors tenter d'atteindre le plus rapidement possible, la pièce *mal placée* dans la matrice et la repositionner. Dix essais de chaque type ont ainsi été enregistrés par la caméra.

Les résultats de ces essais ont ensuite été compilés et analysés. La présentation de ces résultats a été séparée en deux parties. La première partie, intégrée au rapport, présente un résumé des principaux résultats illustrés par des tableaux synthèses. Cette partie intègre les résultats et leur analyse dans un même volet. Ceci, dans le but d'en faciliter la lecture et d'en simplifier l'interprétation. Suivent alors les sections « Conclusion » qui inclut un aperçu des retombées possibles et « Recommandations » qui termine le rapport. La seconde partie, constituée par les résultats détaillés, est présentée à l'annexe 2 : « Résultats détaillés – présentation et analyse ». Elle est suivie, à l'annexe 3, par les « Tableaux des résultats » et, à l'annexe 4, par des « Tableaux et graphiques d'analyse et de synthèse des résultats ».

Résultats

Essais simulant une situation normale d'opération, sans incident

Ces essais avaient pour but de simuler l'opération normale sur une presse commandée à l'aide : 1° d'une commande bimanuelle conventionnelle, non modifiée; 2° d'une commande bimanuelle munie d'une entrave fixe et, 3° d'une commande bimanuelle munie d'une entrave mobile.

Deux cas types, que l'on retrouve en usine, ont été considérés : 1° la presse n'est pas pourvue d'une came de reprise des commandes; dans ce cas, *l'opérateur* doit maintenir l'appui de ses mains sur les boutons de la commande bimanuelle — et l'entrave mobile demeure déployée — jusqu'au retour du coulisseau à son point mort haut ou près de ce point; 2° la presse est munie d'une came de reprise des commandes; dans ce cas, *l'opérateur* peut retirer ses mains de la commande bimanuelle — et l'entrave mobile peut se rétracter pour retourner à sa position initiale — dès que le coulisseau atteint son point mort bas ou près de ce point.

Presse sans came de reprise des commandes

Le tableau 2 ci-dessous, illustre les résultats concernant les mesures de la durée moyenne du cycle opératoire lorsque l'opération suit son cours normal et que la presse n'est pas pourvue d'une came assurant la reprise de la commande en bas de course du coulisseau.

Tableau 2

Mesure de la durée du cycle opératoire (s)		
Essai SANS came de reprise des commandes		
Commandes placées à 25 cm		
Conditions d'essai SANS incident	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	1,429	0,122
Avec entrave fixe	2,089	0,181
Avec entrave mobile «haut»	2,092	0,096
Commandes placées à 50 cm		
Conditions d'essai SANS incident	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	1,670	0,084
Avec entrave fixe	2,214	0,100
Avec entrave mobile «haut»	2,387	0,089
Durée relative du cycle opératoire		
Essai SANS came de reprise des commandes		
Conditions d'essai SANS incident	Distance des commandes	
	25 cm	50 cm
Sans entrave	100%	100%
Avec entrave fixe	146%	133%
Avec entrave mobile «haut»	146%	143%

Le cycle opératoire est, ici, déterminé par le délai entre, d'une part, la sortie de la main de la zone de façonnage (la zone dangereuse) de la presse après y avoir placé le matériel à façonner entre les matrices et, d'autre part, la réinsertion de la main dans cette zone pour y reprendre la pièce façonnée.

Bien que le nombre d'essais soit insuffisant pour évaluer, avec précision, l'effet de l'éloignement des commandes (de 25 cm à 50 cm) sur l'allongement de la durée du cycle, on remarque un accroissement de la durée de l'ordre de 5 % à 15 %. Cette augmentation, de 125 à 300 ms, a évidemment une incidence sur la sécurité mais ne peut être réalisée que lorsque les circonstances de production s'y prêtent.

Par ailleurs, les résultats concernant la durée relative du cycle opératoire par rapport à l'opération à l'aide d'une commande bimanuelle seule, sans entrave, montrent que l'ajout d'une entrave, fixe ou mobile, augmente de façon substantielle cette durée, soit de 46 % lorsque la commande bimanuelle est placée à 25 cm de la zone dangereuse et de 33 % (entrave fixe) à 43 % (entrave mobile) lorsqu'elle est placée à 50 cm. Cette forte augmentation de la durée du cycle opératoire est discutée un peu plus loin.

Presse avec came de reprise des commandes

Le tableau 3, ci-après, expose des résultats similaires aux précédents mais les mesures de la durée moyenne du cycle opératoire ont, ici, été réalisées sur une presse pourvue d'une came qui assure la reprise de la commande en bas de course du coulisseau. Ces résultats ne peuvent être comparés avec ceux du tableau 2 à cause des modifications apportées à la presse, suite à l'ajout d'une came de reprise des commandes. Ce n'était d'ailleurs pas le but visé.

Par ailleurs, les résultats concernant la durée relative du cycle opératoire par rapport à l'opération à l'aide d'une commande bimanuelle seule, sans entrave, montrent, ici aussi, que l'ajout d'une

Tableau 3

Mesure de la durée du cycle opératoire (s)		
Essai AVEC came de reprise des commandes		
Commandes placées à 25 cm		
Conditions d'essai SANS incident	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	1,199	0,094
Avec entrave fixe	1,779	0,085
Avec entrave mobile «bas»	1,855	0,106
Commandes placées à 50 cm		
Conditions d'essai SANS incident	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	1,378	0,124
Avec entrave fixe	1,783	0,090
Avec entrave mobile «bas»	1,930	0,052
Durée relative du cycle opératoire		
Essai AVEC came de reprise des commandes		
Conditions d'essai SANS incident	Distance des commandes	
	25 cm	50 cm
Sans entrave	100%	100%
Avec entrave fixe	148%	129%
Avec entrave mobile «bas»	155%	140%

entrave, fixe ou mobile, augmente de façon importante cette durée. Comme dans le cas précédent, elle montre également que cette augmentation est plus faible lorsque la commande bimanuelle est placée plus loin de la zone de façonnage (à 50 cm plutôt qu'à 25 cm), puisque cette augmentation est uniquement due au contournement de l'entrave et qu'en conséquence, le rapport résultant est plus petit.

Bien que ces données révèlent une augmentation importante de la durée du cycle opératoire lorsqu'une entrave, fixe ou mobile, est utilisée pour améliorer la protection de l'opérateur, il importe de relativiser la portée de ces résultats. En réalité, cette augmentation, de l'ordre de 600 ms, semble, en effet, être relativement grande — 29 à 55 % — lorsqu'on la compare à la durée du

cycle opératoire tel qu'il a été défini dans le protocole d'essai pour fins d'analyse des différents paramètres et variables. Mais, cette définition ne correspond pas au cycle opératoire réel et ne convient pas à la comparaison présente. En fait, basée sur les données obtenues en usine lors d'études antérieures impliquant des presses à métaux opérées à l'aide de commandes bimanuelles, cette valeur de 0,600 s doit être comparée avec des durées réelles d'opération de 4,8 à 11,0 s, déterminant ainsi une augmentation réelle du cycle opératoire de 5 % à 12 % seulement. La contrainte temporelle sur la production devient alors un peu plus acceptable. Par ailleurs — et c'est là une hypothèse qui ne pourra être vérifiée qu'à long terme, en usine — il est permis de supposer que l'amélioration de la sécurité du poste de travail de l'opérateur de presses à métaux aura une incidence positive à la fois sur la productivité et sur la qualité de la production, par suite de l'élimination ou de la réduction, de la tension engendrée par l'existence omniprésente du risque d'accident.

Essais simulant une situation d'opération à risque, avec incident

Ces essais avaient pour but de simuler une opération à risque, cause de nombreux accidents sur les presses à métaux : le retour de la main de l'opérateur dans la zone de façonnage pour y repositionner la pièce initialement mal placée dans la matrice.

Rappelons que lors des essais en situation problématique, simulant un repositionnement à risque de la pièce, le coulisseau reçoit la commande d'arrêt avant d'atteindre le bas de sa course, de sorte que la présence d'une came de reprise est sans effet. Ce paramètre n'a donc pas été considéré dans ce type d'essai.

Il est fait mention, dans la méthodologie, qu'une séquence de trois cycles — le troisième étant systématiquement enregistré par les caméras haute vitesse — était adoptée lors des essais simulant une situation problématique, dans le but de faciliter l'enregistrement de l'événement significatif reproduisant un repositionnement à risque de la pièce. Une autre approche aurait pu être utilisée qui aurait consisté à provoquer au ^{nième} cycle, de façon aléatoire au moyen d'un stimulus lumineux (par exemple), d'une part la réaction du sujet consistant à simuler l'identification soudaine d'un mauvais positionnement de la pièce et à procéder brusquement à son repositionnement ainsi que, d'autre part — et simultanément —, le déclenchement de l'enregistrement par les caméras haute vitesse. Cette approche n'a pas été retenue parce qu'il nous apparaissait peu réaliste de vouloir représenter, en laboratoire, une réalité aussi complexe.

L'approche retenue, plus simple, implique cependant une anticipation du geste par le sujet soumis aux essais, donc un certain biais. En situation semblable, en usine, l'opérateur n'anticipe pas le geste de récupération d'incident qu'il va poser; au contraire, il doit d'abord traiter l'information de départ qui l'incite, plus ou moins consciemment, à poser ce geste, c'est-à-dire à réaliser que la pièce est mal placée et à *juger* qu'il peut la replacer à *temps*. Il y mettra donc plus de temps. Le délai entre l'appui initial des mains sur les boutons de la commande bimanuelle et le retrait de la main d'un des boutons sera plus long que la durée moyenne mesurée au cours des essais simulant l'incident : le coulisseau sera alors rendu plus près de son point mort bas. Or, plus le coulisseau s'approche de ce point, plus le temps d'arrêt est court et plus le risque de pincement diminue. De plus, le sujet soumis aux essais savait qu'au troisième cycle, il devait CONTOURNER l'entrave le plus rapidement possible. En situation réelle, il est probable que l'opérateur aurait plutôt eu tendance à suivre, machinalement, sa trajectoire habituelle et à venir buter sur l'entrave, celle-ci étant alors demeurée en position déployée, allongeant ainsi son temps d'accès à la zone de danger ou, mieux, l'amenant à contrer son geste par suite de la prise de conscience du risque. Ainsi, le biais inhérent à la procédure retenue va dans le sens d'une plus grande sécurité puisqu'elle maximalise, en quelque sorte, le risque mesuré.

Ces essais simulant une situation à risque ont permis d'établir, en premier lieu, le *temps d'accès* à la zone de danger. Le *temps d'accès* est déterminé par le délai entre le moment où la main quitte le bouton de la commande bimanuelle et celui où la main entre dans la zone dangereuse

Tableau 4

Mesure du Temps d'accès à la zone de danger (s)				
Conditions d'essai AVEC incident	Distance des commandes bimanuelles			
	25 cm		50 cm	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	0,105	0,010	0,150	0,019
Avec entrave fixe	0,203	0,010	0,258	0,044
Avec entrave mobile	0,250	0,014	0,283	0,026

de la presse pour y repositionner la pièce. Les résultats de ces essais apparaissent dans le tableau 4. On remarquera que ce temps est pratiquement deux fois plus long lorsqu'une entrave est ajoutée à la

commande bimanuelle. On notera également que le temps d'accès est sensiblement le même avec une entrave mobile qu'avec une entrave fixe puisque, lors d'un incident comme celui reproduit dans ces essais, la main quitte le bouton avant que le coulisseau ait atteint son point mort bas, donc pendant que l'entrave mobile est déployée. La main doit alors la contourner comme s'il s'agissait d'une entrave fixe. Pour un examen détaillé de tous les résultats des essais, on se référera à l'annexe 2.

Le *temps d'arrêt* du cycle de la presse a aussi été mesuré durant ces essais. Ces valeurs moyennes sont exposées dans le tableau 5. Le temps d'arrêt est ici déterminé par le délai entre

Tableau 5

Mesure du Temps d'arrêt du coulisseau (s)				
Conditions d'essai AVEC incident	Distance des commandes bimanuelles			
	25 cm		50 cm	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	0,035	0,004	0,039	0,003
Avec entrave fixe	0,037	0,004	0,035	0,006
Avec entrave mobile	0,038	0,003	0,036	0,002

le moment où la main quitte le bouton de la commande bimanuelle et celui où le coulisseau de la presse s'arrête complètement. Comme les essais étaient réalisés sur une petite presse, avec un simulacre de matrice en

caoutchouc mousse (de masse pratiquement nulle), les temps d'arrêt résultants sont très courts. Toutes choses étant égales, et les temps d'arrêt mesurés n'ayant, par ailleurs, peu variés d'un essai à l'autre, un simple calcul portant sur ces valeurs et celles du temps d'accès ont alors permis de calculer les paramètres les plus significatifs pour évaluer l'amélioration de la sécurité par l'ajout d'une entrave fixe ou mobile : le *délai de sécurité* et le *facteur de sécurité*.

Le *délai de sécurité*, dont la valeur moyenne pour chacune des trois conditions d'essai est exposée dans le tableau 6, représente la différence entre le temps d'accès à la zone de danger et le temps d'arrêt du coulisseau (arrêt commandé par le relâchement d'un des boutons de la commande bimanuelle). Ces

Tableau 6

Mesure du Délai de sécurité (s)				
Conditions d'essai AVEC incident	Distance des commandes bimanuelles			
	25 cm		50 cm	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	0,070	0,012	0,111	0,018
Avec entrave fixe	0,166	0,012	0,223	0,042
Avec entrave mobile	0,212	0,014	0,247	0,026

lement rencontrée en usine, une mesure du niveau de sécurité ajoutée par la présence d'une entrave, fixe ou mobile, à la commande bimanuelle.

Le *facteur de sécurité* — voir le tableau 7, ci-dessous — constitue une autre façon de quantifier l'effet de l'ajout d'une entrave à la commande bimanuelle sur l'amélioration de la sécurité résultant de la protection par l'éloignement des commandes. Le *facteur de sécurité* représente le rapport du temps d'accès à la zone de danger sur le temps d'arrêt du coulisseau. Par exemple, une entrave mobile installée sur une commande bimanuelle placée à 50 cm de la zone

Tableau 7

Mesure du Facteur de sécurité				
Conditions d'essai AVEC incident	Distance des commandes bimanuelles			
	25 cm		50 cm	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Sans entrave	3,0	0,6	3,9	0,4
Avec entrave fixe	5,5	0,9	7,6	1,8
Avec entrave mobile	6,6	0,7	7,8	0,9

dangerieuse de la presse implique un temps d'accès moyen de 7,8 fois plus long que le temps mis par le coulisseau pour s'arrêter (dans le cas de la presse utilisée pour les essais), assurant ainsi la protection de l'opérateur. Ainsi, le résultat des essais montre que le facteur de sécurité est, relativement, deux fois plus grand lorsque l'on ajoute une entrave mobile à une commande bimanuelle que lorsque l'on utilise la commande bimanuelle seule pour opérer la presse, soit 7,8 / 3,9. On notera que même si le facteur de sécurité mesuré était plus faible lors des essais à 25 cm (6,6 c. 7,8), le niveau de protection apporté par l'ajout d'une entrave mobile demeure deux fois plus grand, soit 6,6 / 3,0.

Conclusion

Comme nous le remarquons à la lecture de l'analyse des résultats, l'ajout d'une entrave fixe ou mobile à la commande bimanuelle accroît de façon significative la sécurité de l'opérateur en comparaison avec l'utilisation d'une commande bimanuelle seule, sans entrave. En effet, le facteur de sécurité est, pratiquement doublé lorsque l'on ajoute une entrave fixe ou mobile à la commande bimanuelle. Le prix à payer, en termes d'augmentation de la durée d'opération, est minime : de 5 % à 10 %, selon l'opération effectuée, lorsque l'on considère la durée réelle du cycle opératoire.

Il faut aussi considérer le fait que l'entrave a pour principal but de protéger l'opérateur contre le risque de repositionnement de la pièce (*after reach*) par un geste — que l'on peut qualifier de *réactionnel* — posé après le démarrage du cycle. Or, en cela, si l'entrave fixe constitue déjà une amélioration en modifiant la trajectoire de la main de l'opérateur et en allongeant son parcours, l'entrave mobile — en particulier, celle dont le retrait s'effectue en bas de course du coulisseau, au point mort bas — semble apporter un double avantage. D'abord, celui de ne pas constituer une contrainte permanente : en situation normale, sans incident, l'opérateur ne modifie pas son geste habituel; il n'a pas besoin de contourner l'entrave, laquelle se rétracte avant le passage de sa main. Ensuite, précisément parce qu'elle ne crée pas, chez l'utilisateur, l'habitude du contournement de l'entrave à chaque cycle, en sorte que ce geste n'étant pas appris ni intégré (il

le devient lorsqu'une entrave fixe est utilisée), on peut présumer que le geste réactionnel de repositionnement de la pièce soit plus facilement contrôlé par la présence d'une entrave mobile que par celle d'une entrave fixe parce que la main viendrait alors buter contre l'entrave au lieu de la contourner machinalement. Cette hypothèse ne pourra être vérifiée qu'en usine, lors d'essais à long terme.

Retombées

- La principale retombée attendue de l'ajout d'une entrave mobile au module de commande bimanuelle de la presse à métaux à embrayage à friction est l'amélioration véritable de la *protection par éloignement des commandes*. Nous savons, par la littérature sur le sujet, que ce type de protection présente des risques, notre étude ayant elle-même montré que, une fois sur deux, le module de commande bimanuelle est placé à une distance inappropriée. L'opérateur se pense alors en sécurité alors qu'il ne l'est pas complètement. Or, la protection par éloignement peut présenter le dernier recours lorsque, en fonction du type de production, l'utilisation de gardes ou de barrages immatériels s'avère impossible.
- Une seconde retombée potentielle provient du fait que la protection par éloignement des commandes sur les presses à friction est surtout destinée aux grosses presses à cadence lente. Or, ces presses ont un tablier de grande dimension sur lequel des matrices de dimensions variables peuvent être utilisées. En sorte que la distance de sécurité séparant les boutons de la commande bimanuelle du point de pincement est elle-même variable selon qu'une matrice grande ou petite est utilisée. L'avantage que présente alors l'entrave mobile sur ce type de presse est de pouvoir être mise hors service lorsque la distance au point de pincement est grande (petite matrice placée au centre du grand tablier) et en service lorsque la distance est trop courte pour assurer un délai de sécurité suffisant.
- La troisième retombée est l'acceptation par l'opérateur d'un tel dispositif de protection et son utilisation à plus ou moins court terme : une fois l'habitude acquise, on peut présumer une absence de rejet par l'opérateur de ce type d'élément de protection parce que l'entrave mobile ne crée pas d'interférence durant l'opération normale, si ce n'est un allongement minime du temps d'opération. Mais on peut présumer également, à l'instar d'autres modifications apportées à des machines industrielles pour améliorer leur sécurité d'opération, une amélioration quantitative et qualitative de la production par suite de la réduction de la crainte, consciente ou inconsciente, d'opérer une machine en situation de risque.
- Finalement, une quatrième retombée escomptée concerne l'avantage potentiel que peut présenter l'ajout d'une entrave mobile à la commande bimanuelle pour améliorer la protection des opérateurs de presses à embrayage rigide (ou à tour complet). Actuellement, le seul type de commande bimanuelle permis par la norme pour opérer une presse à tour complet est le type déclencheur. Avec ce type de commande, dès que les deux organes de commandes sont actionnés (simultanément), la commande du cycle est immédiatement transmise. Il est alors possible pour l'opérateur de retirer sa main d'un des boutons de la commande bimanuelle et d'atteindre la zone de danger avant qu'elle ne soit fermée par l'arrivée du coulisseau au point mort bas (rappelons que l'embrayage rigide ne permet pas l'arrêt du coulisseau de la presse en cours de cycle). Ce type de commande pourrait être avantageusement remplacé par la combinaison d'une commande bimanuelle de type maintenu et d'une entrave mobile. Dans le cas de la presse à tour complet, l'entrave mobile demeure en position déployée tant que le coulisseau n'a pas atteint son point mort bas, que l'opérateur ait maintenu ses mains sur les boutons de la commande bimanuelle ou non. Ce dernier a toutefois avantage à maintenir ses mains sur les boutons jusqu'à l'arrivée du coulisseau au point mort bas pour permettre à l'entrave de retourner à sa position initiale : il est alors libéré de la contrainte du contournement imposée par l'entrave. À l'instar de la presse à friction si, pendant la descente du coulisseau, l'opérateur retire une main d'un des boutons de la commande bimanuelle pour la diriger vers la zone de danger afin d'y

repositionner la pièce, il doit, pour ce faire, contourner l'entrave, ce qui réduit la possibilité d'atteindre la zone dangereuse avant la fermeture des matrices. Et, dans ce cas, l'entrave demeure déployée jusqu'au retour du coulisseau au point mort haut, après quoi elle doit retourner à sa position initiale pour qu'un nouveau cycle puisse être initié.

Recommandations

Les résultats des essais en laboratoire ont montré que le concept d'entrave mobile est fonctionnel et avantageux, en termes de sécurité. Mais, sur ce plan, des hypothèses devront être vérifiées :

- Hypothèse 1 : l'entrave mobile ne crée pas de véritable contrainte à l'opération : cette hypothèse peut se vérifier à plus ou moins court terme;
- Hypothèse 2 : le mode de protection par éloignement des commandes devient acceptable (malgré un positionnement inadéquat et irréversible du module de commande bimanuelle, par exemple) grâce à l'allongement du délai de sécurité par contournement de l'entrave : cette hypothèse, bien que découlant d'une déduction logique, doit être vérifiée sur le terrain; elle peut l'être par des essais à moyen terme;
- Hypothèse 3 : la tentative de repositionner la pièce dans la matrice constitue un geste réactionnel que l'entrave mobile, par sa seule présence, permet de contrer *de facto* : cette hypothèse pourrait être vérifiée à long terme par une étude longitudinale portant sur la compilation et l'analyse d'incidents.

Il est, en conséquence, recommandé que des essais à moyen terme — d'une durée approximative de deux ans — soient tenus en usine, en collaboration avec les associations sectorielles œuvrant dans le secteur du métal. Il est également recommandé que cette étude comporte un volet à long terme — d'une durée de trois à cinq ans — dans le but de vérifier la troisième hypothèse portant sur la compilation et l'analyse d'incidents.

Bibliographie

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*, Études et recherches – Rapport N° R-085, Montréal : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 67 p.

Bélanger, R., Massé, S., Tellier, C., Bourbonnière, R., Sirard, C. (1995a). *Presse à embrayage à friction – Détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles*, Études et recherches – Guide technique N° R-100, Montréal : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 11 p.

Bélanger, R., Massé, S., Tellier, C., Bourbonnière, R., Sirard, C. (1995b). *Presse à embrayage à tour complet – Détermination de l'emplacement des commandes bimanuelles*, Études et recherches – Guide technique N° R-101, Montréal : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 10 p.

Bélanger, R., Massé, S., Bourbonnière, R. (1999). *Intégration du principe d'éloignement de la source de danger pour protéger les opérateurs de presses à métaux*, Actes du 21^e congrès pour l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail (AQHSST), Montréal, 28-30 avril 1999, p. 295-304.

Collins, J. W., Pizzatella, T. J., Etherton, J. R., Trump, T. R. (1986). *The Use of Simulation for Developing Safe Workstation Designs for Mechanical Power Presses*, Journal of Safety Research, Vol. 17, N° 2, p. 73-79.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, *Sécurité des machines – Organe de commande bimanuelle, aspects fonctionnels – Principes de conception*, CEN 1994, Bruxelles, septembre 1994, 34 p. (prEN 574 – 1994).

Etherton, J. (1988). *Factors Reported in Amputation and Other Injury Cases at Mechanical Power Presses Between 1976 and 1984*, Trends in Ergonomics/Human Factors V, F. Aghazadeh (Editor), Elsevier Science Publishers B.V., North Holland, p. 629-638.

Jensen, R. C. and Pizatella, T. J. (1986). *Critical Review of Studies to Support Safe-Distance Formulas for Power Press Actuation Mechanisms*, Trends in Ergonomics/Human Factors III, W. Karowski (Editor), Elsevier Science Publishers B.V., North Holland, p. 953-961.

Lievin, D., Krawsky, G., Mougeot, B., Schouller, J.F. (1973). *La sécurité dans un système opérateur-presse : une étude du temps d'accès des mains à la zone dangereuse*, I.N.R.S., Vandoeuvre, France, Rapport N° 025/RE, 30 p.

Löbl, I.O. (1935). *Über die zweihandeinrückung an exzenterpressen - Eine untersuchung der orenzen ihrer gchutzwirkung [Sur l'insertion des deux mains dans une presse excentrique – Une étude de la limite de l'effet de protection]*, Reichsarbeitsblatt III, N° 20, p. 150-154.

Nemeth, S. E., Blache, K. M. (1982). *Ergonomic Evaluation of Two-Hand Control Location*, Human Factors, vol. 24, N° 5, p. 567-571.

Pizatella, T. J., & Moll, M. B. (1985). *Simulation of the After-Reach Hazard on Dual Palm Button Workstations* Proceeding of the Human Factors Society 29th Annual Meeting, p. 824-828.

Roozbazar, A., (1977) *Ergonomics of Machine Guarding*, National Safety News, juillet 1977, p. 53-59.

Annexes

Annexe 1 : Protocole d'essai

Annexe 2 : Résultats détaillés – présentation et analyse

Annexe 3 : Tableaux des résultats

Annexe 4 : Tableaux et graphiques d'analyse et de synthèse des résultats

Annexe 1 : Protocole d'essai

PROTOCOLE D'ESSAI DES ENTRAVES

Détermination des caractéristiques fonctionnelles des entraves fixes et mobiles et comparaison du temps d'accès des mains à la zone de danger, avec et sans entrave

Équipement requis

- Presse à friction Azimuth, 15 tonnes, course de 3 po (76 mm)
- Came de reprise des commandes¹
- Simulacre de matrice et de poinçon en caoutchouc mousse
- Bacs à pièces (2) et simulacre de pièces à façonner
- Commande bimanuelle à boutons maintenus
- Entrave mobile (pouvant être rendue fixe pour les besoins des essais)
- Capteurs électriques
- Caméras haute vitesse (2) et trépieds (2)
- Enregistreur vidéo
- Micro-ordinateur

Montage

1. Le module de commande (*commande bimanuelle/entrave mobile*) sur socle est placé en face de la presse, la partie médiane coïncidant avec celle de la *matrice*
2. La hauteur du socle est réglée de manière à ce que le dessus des boutons de la commande bimanuelle soit situé à une hauteur de 90 cm du sol, ce qui correspond à la hauteur moyenne observée dans l'industrie pour le type de presse utilisée comme banc d'essai; le dessus de la *matrice inférieure* est alors situé à une hauteur d'environ 10 cm plus haut que le dessus des boutons de commande.
3. La distance horizontale séparant le centre des boutons de la commande bimanuelle et le bord avant du poinçon est déterminée selon le protocole d'essai, soit de 25 cm pour un premier groupe d'essai et 50 cm pour le suivant.
4. Un bac d'alimentation en *pièces à façonner* est placé à côté du module de commande (à gauche ou à droite, selon la latéralité du sujet soumis aux essais).
5. Un bac vide, pour recevoir les *pièces façonnées* est placé à l'opposé du bac d'alimentation.
6. Une première caméra haute vitesse est positionnée de façon à enregistrer à la fois 1° les mains du sujet, durant toute la trajectoire parcourue; 2° les boutons de la commande bimanuelle; 3° la zone de façonnage de la presse; 4° le coulisseau et le vilebrequin. Une seconde caméra fournit un gros plan du vilebrequin de façon à mieux voir son mouvement, en particulier, lors de l'arrêt.
7. Les capteurs électroniques sont reliés aux interrupteurs ZS_i servant à identifier électriquement le début et la fin du mouvement de l'entrave.
8. Un micro-ordinateur installé près du banc d'essai sert à compiler les données obtenues lors de chaque essai.

¹ Une première série d'essais est effectuée SANS came de reprise des commandes par la presse; une seconde série AVEC came (voir détail dans la méthodologie).

Procédure de rodage

1. Armement initial de l'entrave, c'est-à-dire repositionnement en mode rétracté

Description de l'essai	Cocher si réussi
Alimenter la presse en énergie électrique et pneumatique (sans amorcer le cycle de marche)	
Résultat attendu	
• AVANT l'alimentation en énergie, l'entrave est déployée	✓
• APRÈS l'alimentation en énergie, en appuyant sur le bouton de réarmement l'entrave est rétractée, prête pour l'opération	✓

2. Essai d'amorçage incomplet du cycle

Description de l'essai	Cocher si réussi
Appuyer simultanément sur les boutons de la commande bimanuelle Relâcher l'appui pendant le déploiement de l'entrave	
Résultat attendu	
• L'entrave retourne à sa position initiale; le démarrage du cycle n'est pas commandé	✓

3. Essai de fonctionnement sans incident

Description de l'essai	Cocher si réussi
Appuyer simultanément sur les boutons de la commande bimanuelle Maintenir l'appui jusqu'à ce que le coulisseau atteigne 1° le point mort haut ; 2° le point mort bas	
Résultat attendu	
1. L'entrave se déploie <u>complètement</u> / le coulisseau atteint son point mort haut / l'entrave retourne à sa position initiale	✓
2. L'entrave se déploie <u>complètement</u> / le coulisseau atteint son point mort bas / l'entrave retourne à sa position initiale	✓

4. Essai de fonctionnement *AVEC incident*, c'est-à-dire, en retirant une main d'un des boutons de la commande bimanuelle pendant la descente du coulisseau

Description de l'essai	Cocher si réussi
Appuyer simultanément sur les boutons de la commande bimanuelle Retirer une main d'un des boutons pendant la descente du coulisseau	
Résultat attendu	
• L'entrave demeure déployée; le coulisseau s'arrête; le cycle peut être complété en appuyant les mains à nouveau sur les boutons de la commande bimanuelle et en maintenant cet appui jusqu'à l'arrivée du coulisseau au point mort bas (le retour de l'entrave à sa position initiale reste conforme aux conditions stipulées et vérifiées au point 3)	✓

5. Faire les réglages jugés nécessaires et répéter, s'il y a lieu

Types et nombre d'essais

Conditions d'essai

- 1° Situation normale, sans incident — cycle opératoire complet, non altéré
- 2° Situation problématique, avec incident — cycle opératoire interrompu impliquant l'arrêt du coulisseau

Mode de fonctionnement de la presse – en situation normale sans incident

- 1° Avec came de reprise des commandes
- 2° Sans came de reprise des commandes

Type d'entrave

- 1° Aucune entrave
- 2° Entrave fixe
- 3° Entrave mobile — Retrait de l'entrave au point mort haut du coulisseau (valable uniquement pour une presse sans came de reprise des commandes)
- 4° Entrave mobile — Retrait de l'entrave au point mort bas du coulisseau
- 5° Entrave mobile — Aucun retrait (situation problématique – voir ci-dessous)

Distance horizontale boutons / matrice

25 cm / 50 cm

Nombre d'essais par type (10)

Répartition des essais

Tableau A1- 1 Essais simulant une situation normale, sans incident

Tableau N°	Type d'entrave					Came de reprise		Distance	
	Aucune	Fixes	Mobiles			Sans	Avec	25 cm	50 cm
			Retrait en HAUT de course	Retrait en BAS de course	Aucun retrait				
A3-1	x					x		x	
A3-2	x					x			x
A3-3		x				x		x	
A3-4		x				x			x
A3-5			x			x		x	
A3-6			x			x			x
A3-7				x		x		x	
A3-8				x		x			x
A3-9	x						x	x	
A3-10	x						x		x
A3-11		x					x	x	
A3-12		x					x		x
A3-13				x			x	x	
A3-14				x			x		x

Tableau A1- 2 Essais simulant une situation problématique, avec incident

Tableau N°	Type d'entrave					Came de reprise <i>Note 1</i>		Distance	
	Aucune	Fixes	Mobiles			Sans	Avec	25 cm	50 cm
			Retrait en HAUT de course	Retrait en BAS de course	Aucun retrait				
A3-15	x					n/a		x	
A3-16	x					n/a			x
A3-17		x				n/a		x	
A3-18		x				n/a			x
A3-19					x	n/a		x	
A3-20					x	n/a			x

Note 1 La présence ou l'absence d'une came de reprise n'a aucun impact sur le comportement de l'opérateur ni sur le déroulement du processus, lorsque le cycle est interrompu avant l'arrivée du coulisseau au point mort bas

Nombre total d'essais

Chaque type d'essai comportant 10 essais enregistrés, au total 140 essais simulant une situation normale, sans incident et 60, simulant une situation problématique, avec incident, ont été réalisés. Dans les faits, si on tient compte des essais de *pratique* précédent chaque essai enregistré, ce nombre pourrait être multiplié par trois, soit 600 essais.

Ordre dans lequel les essais ont été réalisés

Tableau A1- 3 Répartition chronologique des essais

Essai N° / Tableau N°	Type d'entrave					Came de reprise		Distance	
	Aucune	Fixes	Mobiles			Sans	Avec	25 cm	50 cm
			Retrait en HAUT de course	Retrait en BAS de course	Aucun retrait				
1 / A3-3		x				x		x	
2 / A3-4		x				x			x
3 / A3-18		x				n/a			x
4 / A3-17		x				n/a		x	
5 / A3-15	x					n/a		x	
6 / A3-1	x					x		x	
7 / A3-2	x					x			x
8 / A3-16	x					n/a			x
9 / A3-6			x			x			x
10 / A3-20					x	n/a			x
11 / A3-5			x			x		x	
12 / A3-19					x	n/a		x	
13 / A3-7				x			x	x	
14 / A3-8				x			x		x
15 / A3-12		x					x		x
16 / A3-13			x				x	x	
17 / A3-14			x				x		x
18 / A3-11		x					x	x	
19 / A3-9	x							x	
20 / A3-10	x								x

Procédure d'essai

Informations préliminaires

Le sujet doit simuler une opération normale.

Fonctionnement normal, sans incident

Le sujet a pour consigne d'adopter une vitesse de travail qui lui semble confortable et de la conserver durant tous les essais de ce type.

Fonctionnement problématique, avec tentative de repositionnement de la pièce

- 1° Pour l'alimentation de la pièce, le sujet a pour consigne d'adopter une vitesse de travail qui lui semble confortable.
- 2° Pour le repositionnement de la pièce, le sujet doit, au moment où il quitte le bouton de la commande bimanuelle, tenter d'atteindre la pièce déjà placée entre les matrices, le plus rapidement possible dans le but de simuler un repositionnement de la pièce dans la matrice.

Le sujet doit essayer de conserver cette double allure tout au long des essais en fonctionnement problématique.

Procédure

Après avoir pris connaissance des informations préliminaires, le sujet se place en position de travail en face de la presse munie de la commande bimanuelle et prend une pièce dans le bac d'alimentation, situé à sa gauche ou à sa droite, selon sa latéralité. Il place la pièce entre la matrice et le poinçon et dirige sa main vers les boutons de la commande bimanuelle.

L'enregistrement avec les caméras haute vitesse est déclenché au moment où la main arrive dans la zone de façonnage : le retrait de la main de la zone de façonnage marque le moment du début du cycle opératoire t_0 .

Fonctionnement normal, sans incident

Le sujet appuie ses deux mains sur les boutons de la commande bimanuelle et maintient son appui jusqu'au retrait de l'entrave ou jusqu'au retour du coulisseau au point mort haut lorsque les essais sont réalisés sans came de reprise de la commande. Il dirige alors sa main vers la zone de façonnage pour y retirer la pièce *façonnée* qu'il prend et place dans le bac approprié, situé du côté opposé au bac d'alimentation.

L'enregistrement des caméras haute vitesse est alors arrêté : l'entrée de la main dans la zone de façonnage marque le moment de la fin du cycle opératoire t_n .

Fonctionnement problématique, avec tentative de repositionnement de la pièce

Après avoir placé la pièce entre les matrices, le sujet appuie ses deux mains sur les boutons de la commande bimanuelle et maintient son appui jusqu'à ce que le coulisseau ait amorcé son mouvement de descente. Il retire alors sa main du bouton de la commande bimanuelle et la dirige vers la zone de façonnage pour y repositionner la pièce (présumément mal placée), ce qui commande l'arrêt du coulisseau.

L'entrée de la main dans la zone de façonnage marque la fin du cycle opératoire interrompu t_n : l'enregistrement des caméras haute vitesse est alors arrêté.

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement normal, sans incident

— Sans entrave (S) ou avec entrave fixe (F) —

Définition des paramètres		Type d'entrave
t_0	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices	S
t_{E0}	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices	F
t_{cb0}	Appui simultané des mains sur les deux boutons de la commande bimanuelle	S, F
t_c	Démarrage du cycle (début du mouvement du coulisseau)	S, F
t_b	Arrivée du coulisseau au point mort bas	S, F
t_{ah}	Commande d'arrêt du cycle de la presse	S, F
t_h	Arrivée du coulisseau au point mort haut	S, F
t_{cbf}	Moment où les mains quittent les boutons de la commande bimanuelle	S, F
t_n	Moment où les mains atteignent la zone de façonnage pour en retirer la pièce	S, F

Définition des variables	
T	Durée du cycle opératoire SANS entrave → $(T = t_n - t_0)$
T_E	Durée du cycle opératoire AVEC entrave fixe → $(T_E = t_n - t_{E0})$
T_{CC}	Durée de transmission de la commande du cycle de la presse → $(T_{CC} = t_c - t_{cb0})$
T_B	Durée du demi-cycle de la presse, entre le démarrage du coulisseau et l'atteinte du point mort bas → $(T_B = t_b - t_c)$
T_{AH}	Délai entre la commande d'arrêt du coulisseau en fin de cycle et son arrivée effective au point mort haut → $(T_{AH} = t_h - t_{ah})$
T_C	Durée d'un cycle complet → $(T_C = t_h - t_c)$
T_{AC}	Temps d'accès à la zone dangereuse → $(T_{AC} = t_n - t_{cbf})$

Note 1 Tous les essais sont réalisés avec la présence ou non d'une came de reprise de la commande, installée sur la presse à métaux.

Note 2 Tous les temps sont en secondes (s).

Note 3 Le cycle opératoire est, ici, défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage (début du cycle), lors de l'insertion de la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour y retirer la pièce façonnée (fin du cycle).

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement normal, sans incident
 — Entrave mobile, retrait en haut de course —

Définition des paramètres ¹	
t_{E0}	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices
t_{cb0}	Appui simultané des mains sur les deux boutons de la commande bimanuelle
t_{d0i}	Début du déploiement de l'entrave mobile
t_{dfi}	Moment où l'entrave mobile est complètement déployée et où, simultanément, la commande de démarrage du cycle est envoyée
t_c	Démarrage du cycle (début du mouvement du coulisseau)
t_b	Arrivée du coulisseau au point mort bas
t_{ah} t_{cr}	Commandes (transmises par la presse, avant l'arrivée du coulisseau au point mort haut) d'arrêt du cycle de la presse (<i>t_{ah}</i>) et de retrait de l'entrave mobile (<i>t_{cr}</i>)
t_h	Arrivée du coulisseau au point mort haut
t_{r0i}	Début du retrait de l'entrave mobile
t_{rfi}	Moment où l'entrave mobile est complètement rétractée
t_{cbf}	Moment où les mains quittent les boutons de la commande bimanuelle
t_n	Moment où les mains atteignent la zone de façonnage pour en retirer la pièce

¹ La position, gauche ou droite, des paramètres dans la première colonne indique le mode de collecte de données : les valeurs des paramètres placés à gauche ont été mesurées visuellement, à l'aide des caméras vidéo haute vitesse; celles des paramètres placés à droite ont été mesurées électriquement au moyen du changement d'état d'interrupteurs prévus à cet effet.

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement normal, sans incident

— Entrave mobile, retrait en haut de course —

Définition des variables		
T_E	Durée du cycle opératoire AVEC entrave →	$(T_E = t_n - t_{E0})$
T_{CD}	Durée de la transmission de la commande de déploiement de l'entrave mobile →	$(T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0})$
T_D	Durée de déploiement de l'entrave mobile →	$(T_D = t_{dfi} - t_{d0i})$
T_{CC}	Durée de la transmission de la commande du cycle →	$(T_{CC} = t_c - t_{dfi})$
T_B	Durée du demi-cycle de la presse, entre le démarrage du coulisseau et l'atteinte du point mort bas →	$(T_B = t_b - t_c)$
T_{CR}	Durée de la transmission de la commande de retrait de l'entrave mobile →	$(T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr})$
T_{AH}	Délai entre la commande d'arrêt du coulisseau en fin de cycle et son arrivée effective au point mort haut →	$(T_{AH} = t_h - t_{ah})$
T_C	Durée d'un cycle complet →	$(T_C = t_h - t_c)$
T_R	Durée de retrait de l'entrave mobile →	$(T_R = t_{rfi} - t_{r0i})$
T_{AC}	Temps d'accès à la zone dangereuse →	$(T_{AC} = t_n - t_{cbf})$

Note 1 Tous les essais sont réalisés avec la présence ou non d'une came de reprise de la commande, installée sur la presse à métaux.

Note 2 Tous les temps sont en secondes (s).

Note 3 Le cycle opératoire est, ici, défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage (début du cycle), lors de l'insertion de la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour y retirer la pièce façonnée (fin du cycle).

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement normal, sans incident

— Entrave mobile, retrait en bas de course —

Définition des paramètres	
t_{E0}	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices
t_{cb0}	Appui simultané des mains sur les deux boutons de la commande bimanuelle
t_{d0i}	Début du déploiement de l'entrave mobile
t_{dfi}	Moment où l'entrave mobile est complètement déployée et où, simultanément, la commande de démarrage du cycle est envoyée
t_c	Démarrage du cycle (début du mouvement du coulisseau)
t_b	Arrivée du coulisseau au point mort bas
t_{cr}	Commande de retrait de l'entrave mobile lors de la remontée du coulisseau
t_{r0i}	Début du retrait de l'entrave mobile
t_{rfi}	Moment où l'entrave mobile est complètement rétractée
t_{cbf}	Moment où les mains quittent les boutons de la commande bimanuelle
t_{ah}	Commande d'arrêt du cycle de la presse avant l'arrivée du coulisseau au point mort haut
t_h	Arrivée du coulisseau au point mort haut
t_n	Moment où les mains atteignent la zone de façonnage pour en retirer la pièce

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement normal, sans incident

— Entrave mobile, retrait en bas de course —

Définition des variables		
T_E	Durée du cycle opératoire AVEC entrave mobile →	$(T_E = t_n - t_{E0})$
T_{CD}	Durée de la transmission de la commande de déploiement de l'entrave mobile →	$(T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0})$
T_D	Durée de déploiement de l'entrave mobile →	$(T_D = t_{dfi} - t_{d0i})$
T_{CC}	Durée de la transmission de la commande du cycle →	$(T_{CC} = t_c - t_{dfi})$
T_B	Durée du demi-cycle de la presse, entre le démarrage du coulisseau et l'atteinte du point mort bas →	$(T_B = t_b - t_c)$
T_{CR}	Durée de la transmission de la commande de retrait de l'entrave mobile →	$(T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr})$
T_{AH}	Délai entre la commande d'arrêt du coulisseau en fin de cycle et son arrivée effective au point mort haut →	$(T_{AH} = t_h - t_{ah})$
T_C	Durée d'un cycle complet →	$(T_C = t_h - t_c)$
T_R	Durée de retrait de l'entrave mobile →	$(T_R = t_{rfi} - t_{r0i})$
T_{AC}	Temps d'accès à la zone dangereuse →	$(T_{AC} = t_n - t_{cbf})$

Note 1 Tous les essais sont réalisés avec la présence ou non d'une came de reprise de la commande, installée sur la presse à métaux.

Note 2 Tous les temps sont en secondes (s).

Note 3 Le cycle opératoire est, ici, défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage (début du cycle), lors de l'insertion de la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour y retirer la pièce façonnée (fin du cycle)

Procédure d'essai : valeurs à déterminer

Fonctionnement problématique, avec incident

— Sans entrave (S), avec entrave fixe (F) ou mobile (M) —

Définition des paramètres		Type d'entrave
t_{op}	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices	S
t_{Eop}	Moment où les mains quittent la zone de façonnage après le positionnement de la pièce entre les matrices	F, M
t_{cb0}	Appui simultané des mains sur les deux boutons de la commande bimanuelle	S, F, M
t_{d0i}	Début du déploiement de l'entrave mobile	M
t_{dfi}	Moment où l'entrave mobile est complètement déployée et où, simultanément, la commande de démarrage du cycle est envoyée	M
t_c	Démarrage du cycle (début du mouvement du coulisseau)	S, F, M
t_q	Moment où une main quitte le bouton de la commande bimanuelle et où, simultanément, la commande d'arrêt du coulisseau est envoyée	S, F, M
t_a	Arrêt du coulisseau en cours de cycle (avant d'atteindre le point mort bas)	S, F, M
t_{np}	Moment où la main atteint la zone de façonnage pour replacer la pièce	S, F, M

Définition des variables (voir note 1)	
T_p	Durée du <i>cycle opératoire</i> partiel SANS entrave → $(T_p = t_{np} - t_{op})$
T_{Ep}	Durée du <i>cycle opératoire</i> partiel AVEC entrave → $(T_{Ep} = t_{np} - t_{Eop})$
T_{CD}	Durée de la transmission de la commande de déploiement de l'entrave mobile → $(T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0})$
T_D	Durée de déploiement de l'entrave mobile → $(T_D = t_{dfi} - t_{d0i})$
T_{CC}	Durée de la transmission de la commande du cycle par la commande bimanuelle sans entrave ou avec entrave fixe → $(T_{CC} = t_c - t_{cb0})$ ou par l'entrave mobile lors de son déploiement → $(T_{CC} = t_c - t_{dfi})$
T_A	Temps d'arrêt du coulisseau → $(T_A = t_a - t_q)$
T_{AC}	Temps d'accès à la zone dangereuse → $(T_{AC} = t_{np} - t_q)$
T_S	Délai de sécurité → $(T_S = T_{AC} - T_A)$
F_S	Facteur de sécurité → $(F_S = T_{AC} / T_A)$

Note 1 Tous les essais sont réalisés avec la présence ou non d'une came de reprise de la commande, installée sur la presse à métaux.

Note 2 Tous les temps sont en secondes (s).

Note 3 Le cycle opératoire partiel est, ici, défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage après avoir placé la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour la repositionner avant qu'elle soit façonnée.

Annexe 2 : Résultats détaillés – présentation et analyse

Les résultats, répartis selon les catégories et les modes de fonctionnement mentionnés dans la méthodologie, sont compilés dans des tableaux qui présentent, pour chacun des essais, le temps enregistré de chaque paramètre événementiel, du début t_0 à la fin t_n de chaque séquence. On retrouve, en ligne, pour chaque paramètre mesuré, leur valeur maximum et minimum parmi les 10 essais ainsi que la valeur moyenne et l'écart type. De la même façon, sont présentés les résultats calculés pour chaque variable pertinente à la série d'essai considérée.

Condition normale, sans incident

Sous cette condition, huit séries de dix essais ont été réalisées avec une presse fonctionnant sans came de reprise des commandes (nécessitant, donc, le maintien de l'appui des mains sur les boutons de la commande bimanuelle jusqu'à la fin du cycle) et six autres séries, avec une presse munie d'une came de reprise des commandes (boutons relâchés à mi-course). Les résultats sont présentés sous forme de tableaux à l'annexe 3. On y trouvera ainsi, pour cette catégorie d'essai, 14 tableaux numérotés A3-1 à A3-14. La structure de ces 14 tableaux est présentée au tableau A1-1, à l'annexe 1.

Condition problématique, avec incident

Sous cette condition, six séries de dix essais ont été réalisées. Notons que dans ce type d'essais simulant une intervention de repositionnement de la pièce en cours d'opération, la présence ou l'absence d'une came de reprise des commandes n'a aucun impact sur le comportement de l'opérateur ni sur le déroulement du processus, le cycle étant interrompu avant l'arrivée du coulisseau au point mort bas. Celle-ci n'est donc pas prise en compte dans ces essais. Les résultats sont également présentés sous forme de tableaux, à l'annexe 3. On y trouvera ainsi, pour cette catégorie d'essai, six tableaux numérotés A3-15 à A3-20. La structure de ces six tableaux est présentée au tableau A1-2, à l'annexe 1.

Les résultats de ces données brutes ont ensuite été compilés et analysés. Ils sont présentés à l'annexe 4 sous la forme des cinq tableaux suivants :

- Tableau A4-1. *Essai des entraves — Validation des données inhérentes au bon fonctionnement de la presse et de l'entrave mobile durant les essais*
- Tableau A4-2. *Essai des entraves — Condition normale sans incident — Résultats des mesures des durées de cycles opératoires*
- Tableau A4-3. *Essai des entraves — Condition normale sans incident — Analyse des résultats concernant les durées de cycles opératoires*
- Tableau A4-4. *Essai des entraves — Condition problématique avec simulation d'incident — Résultats des mesures des temps d'accès et des temps d'arrêt*
- Tableau A4-5. *Essai des entraves — Condition problématique avec simulation d'incident — Analyse des résultats concernant la sécurité d'opération*

Les résultats sont également illustrés au moyen des cinq graphiques suivants :

- Graphique A4-1. *Rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse sans came de reprise des commandes*
- Graphique A4-2. *Rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse avec came de reprise des commandes*
- Graphique A4-3. *Facteurs de sécurité d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé*
- Graphique A4-4. *Variation des délais de sécurité d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé*
- Graphique A4-5. *Rapports des facteurs de sécurité d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé*

Le tableau A4-1 présente l'analyse des résultats des paramètres et variables de contrôle ayant servi à la validation des données inhérentes au fonctionnement de la presse et de l'entrave mobile. Les valeurs moyennes de ces données sont indiquées pour chaque distance de positionnement de la commande bimanuelle et pour chaque type d'essai effectué : 1° sans entrave; avec entrave fixe et avec entrave mobile; en condition normale sans came de reprise des commandes et avec came; 2° en condition problématique. Chaque série de données est complétée par une moyenne générale et un écart type ainsi que par le coefficient de variation, lequel permet mieux que l'écart type de juger de l'uniformité des conditions d'essai.

Le tableau A4-2 porte sur la *durée du cycle opératoire*². La valeur mesurée à chaque essai, la valeur moyenne et écart type sont présentés en regard de chaque type d'essai, en *condition normale, sans incident, avec et sans came de reprise des commandes*.

Le tableau A4-3 expose l'analyse des résultats présentés au tableau précédent. Dans le but d'évaluer l'effet des entraves sur la durée des opérations, les variations (V_C) des durées du cycle opératoire en fonction du type d'entrave utilisé ont été calculées; ainsi, les valeurs moyennes de la *durée du cycle opératoire* pour chaque type d'entrave utilisé sont comparées : différence entre la durée moyenne du cycle opératoire avec entrave fixe et la durée moyenne obtenue sans entrave; différence entre la durée moyenne du cycle opératoire avec entrave mobile à retrait au point mort haut et les durées moyennes obtenues sans entrave et avec entrave fixe, et ainsi de suite, en considérant toutes les permutations pertinentes possibles. De manière à visualiser plus facilement la signification de ces résultats d'analyse, des rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_C) ont aussi été calculés en divisant la valeur d'une variable par la valeur de l'autre, par exemple, durée du cycle opératoire avec entrave fixe / durée du cycle opératoire sans entrave, et ce, pour toutes les permutations pertinentes possibles. Sont également présentées les différences entre les résultats obtenus lorsque le module de commande bimanuelle et l'entrave étaient placés à 50 cm de la zone dangereuse, par rapport à leur positionnement initial de 25 cm. Les graphiques A4-1 et A4-2 illustrent les rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_C) obtenus, respectivement, avec et sans came de reprise des commandes sur la presse.

Les tableaux A4-4 et A4-5 traitent des essais effectués en condition problématique, c'est-à-dire simulant une intervention de l'opérateur qui effectue un repositionnement de la pièce *mal positionnée* dans la matrice alors que le coulisseau est déjà en mouvement descendant. Le tableau A4-4 présente les résultats concernant les variables suivantes : *temps d'accès à la zone dangereuse* (T_{AC}); *temps d'arrêt du coulisseau* (T_A); *délai de sécurité* (T_S) et *facteur de sécurité* (F_S). Toutes ces variables sont définies dans le protocole d'essai. Rappelons que le *délai de sécurité* désigne la différence entre le temps d'accès à la zone de danger et le temps d'arrêt du coulisseau ($T_S = T_{AC} - T_A$), tandis que le *facteur de sécurité* représente le rapport du *temps d'accès à la zone de danger* sur le *temps d'arrêt du coulisseau* ($F_S = T_{AC} / T_A$). À l'instar du tableau A4-2, la valeur mesurée à chaque essai, la valeur moyenne et écart type de ces variables sont présentés en regard de chaque type d'essai, en *condition normale, sans incident, avec et sans came de reprise des commandes*.

Le tableau A4-5 expose l'analyse des résultats présentés au tableau A4-4. Dans le but d'évaluer l'effet des entraves sur la sécurité des opérations, les variations des délais de sécurité (V_S) en fonction du type d'entrave utilisé ont été calculées; ainsi, les valeurs moyennes du *délai de sécurité* pour chaque type d'entrave utilisé sont comparées : différence entre la valeur moyenne du délai de sécurité avec entrave fixe et la valeur moyenne du délai de sécurité obtenue sans entrave; différence entre la valeur moyenne du délai de sécurité avec entrave mobile à retrait au

² Le cycle opératoire est, ici, défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage, après l'insertion de la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour y retirer la pièce *façonnée*. En situation problématique avec incident, le cycle opératoire, alors partiel, est défini comme étant la période située entre le moment où l'opérateur retire ses mains de la zone de façonnage après avoir placé la pièce entre les matrices, et celui où il les réintroduit pour la repositionner avant qu'elle soit *façonnée*.

point mort haut et les valeurs moyennes obtenues sans entrave et avec entrave fixe, et ainsi de suite, en considérant toutes les permutations pertinentes possibles. De manière à visualiser plus facilement la signification de ces résultats d'analyse, des rapports de facteurs de sécurité (R_S) ont aussi été calculés en divisant la valeur d'une variable par la valeur de l'autre, par exemple, délai de sécurité avec entrave fixe / délai de sécurité sans entrave, et ce, pour toutes les permutations pertinentes possibles. Sont également présentées les différences entre les résultats obtenus lorsque le module de commande bimanuelle et l'entrave étaient placés à 50 cm de la zone dangereuse, par rapport à leur positionnement initial de 25 cm. Les graphiques A4-3, A4-4 et A4-5 illustrent, respectivement, les facteurs de sécurité (F_S), les variations des délais de sécurité (V_S) et les rapports de facteurs de sécurité (R_S) d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé et de leur distance de positionnement.

Analyse des résultats

On remarque tout d'abord, à la lecture du tableau A4-1 que si on fait abstraction de la variable T_{AH} , le fonctionnement des équipements a été maintenu suffisamment constant tout au long des essais pour assurer des résultats comparables.

La seule exception concerne donc le délai entre la commande (automatique) d'arrêt du coulisseau en fin de cycle et son arrivée effective au point mort haut (T_{AH}) qui présente, dans les essais effectués sans came de reprise des commandes sur la presse, un coefficient de variation 11,7 %. Cette variation relativement minime, si on tient compte de la dimension des valeurs en jeu — de l'ordre du vingtième de seconde (0,051 s) —, demeure toutefois représentative du fonctionnement *normal* des presses à friction, en mode coup-par-coup, rencontrées en usine. Au demeurant, même s'il nous apparaissait utile de mesurer ce paramètre, le comportement quelque peu erratique qu'il révèle, en fin de cycle, n'a aucune incidence sur le mode opératoire et n'intervient nullement dans le fonctionnement et la performance de l'entrave mobile. Notons cependant qu'une variation croissante de la longueur de ce délai peut s'avérer un bon indicateur de dysfonctionnement du mécanisme de freinage et, en cela, aider à prévenir une répétition intempestive du cycle.

Les temps de transmission de commande présentent également des coefficients de variation assez élevés. Ainsi, les temps de transmission de commande du cycle (T_{CC}) affichent des coefficients de variation de 3,4 % à 8,4 %. Ces valeurs ont, elles aussi, été jugées négligeables compte tenu de la dimension minime des valeurs en jeu, de l'ordre de 0,055 s. Les temps de transmission de commande de déploiement (T_{CD}) et de retrait (T_{CR}) de l'entrave mobile sont plus importants, de 0,170 à 0,190 s, mais déterminent des coefficients de variation relativement faibles, de 0,6 % à 4,9 %, lesquels ont été considérés acceptables pour la validation des données des essais. Il en est de même des coefficients de variation des variables de contrôle du fonctionnement de l'entrave mobile — temps de déploiement (T_D) et temps de retrait de l'entrave (T_R) — dont les valeurs se situent entre 0,2 et 3,8 %.

Quant au temps d'arrêt du coulisseau T_A , qui est utilisé dans le calcul du facteur de sécurité, l'écart type de 0,0017 s pour une moyenne de 0,037 s (qui détermine un coefficient de variation 4,6 %) est tout à fait acceptable, compte tenu du fait que 1° la variation du temps d'arrêt de la presse dépend de la position angulaire du vilebrequin au moment où la commande d'arrêt est reçue, lequel dépend du moment — lui-même variable — où une des mains de l'opérateur quitte le bouton de la commande bimanuelle après le départ du cycle; 2° la détermination visuelle, à partir des données enregistrées par la caméra haute vitesse, du moment où le coulisseau est complètement arrêté est difficile à réaliser de façon précise; 3° les valeurs en présence sont très faibles (37 ms), de sorte qu'une variation de quelques dixièmes de milliseconde à peine entraîne déjà un coefficient de variation important.

Enfin, le coefficient de variation du temps de cycle (T_C), de l'ordre de 1 %, assure que la cadence d'opération de la presse — 100 cycles à la minute, en mode coup-par-coup ou 600 ms par cycle — est demeurée très stable durant les essais.

Les tableaux A4-2 et A4-3 traitent respectivement de la synthèse des résultats des essais simulant une situation normale, sans incident et de leur analyse. Ces données montrent que, par rapport à l'opération avec commande bimanuelle seule, sans entrave, la durée du cycle opératoire augmente lorsqu'une entrave, fixe ou mobile, est utilisée pour améliorer la protection de l'opérateur par éloignement des commandes bimanuelles. Cette augmentation, de l'ordre de 600 ms, semble être relativement grande — 29 % à 55 % — lorsqu'on la compare à la durée du *cycle opératoire* tel qu'il a été défini dans le protocole d'essai pour fins d'analyse des différents paramètres et variables. Mais, cette définition ne correspond pas au cycle opératoire réel et ne convient pas à la comparaison présente. En fait, basée sur les données obtenues en usine lors d'études antérieures impliquant des presses à métaux opérées à l'aide de commandes bimanuelles, cette valeur de 0,600 s doit être comparée avec des durées réelles d'opération de 4,8 s à 11,0 s, déterminant ainsi une augmentation réelle du cycle opératoire de 5 % à 12 % seulement. Ainsi, en considérant les durées de cycles opératoires réels, les rapports d'accroissement (R_C) de la durée du cycle opératoire indiqués dans le tableau A4-3 seraient de l'ordre de 1,05 à 1,12 plutôt que de 1,50. Il importe également de noter que les graphiques A4-1 et A4-2 illustrent les rapports d'accroissement (R_C) de la durée du cycle opératoire telle que définie dans le protocole.

Bien que les durées de cycle opératoire avec entrave soient assez semblables quel que soit le type d'entrave utilisé, il importe de noter les avantages croissants suivants lorsqu'on passe d'un type d'entrave à l'autre.

1. L'entrave fixe permet, en allongeant le temps d'accès, une plus grande sécurité d'opération mais implique une contrainte ergonomique par suite de l'obligation de contourner l'entrave à chaque cycle.
2. L'entrave mobile avec retrait en haut de course — installée sur une presse à métaux non munie d'une came de reprise des commandes — offre le même avantage que l'entrave fixe mais élimine *théoriquement* la contrainte imposée par celle-ci. En fait, comme il a été mentionné auparavant, lorsqu'une presse à métaux n'est pas pourvue d'une came de reprise des commandes, l'opérateur doit maintenir l'appui de ses mains sur les boutons de la commande bimanuelle jusqu'à ce que le coulisseau ait atteint le point mort haut. Or, dans ce cas, c'est justement à l'approche de ce point que la commande de retrait de l'entrave mobile est transmise. Nous avons remarqué, durant les essais de ce type, que le sujet avait tendance à amorcer le contournement de l'entrave comme si elle avait été fixe, le retrait de l'entrave mobile s'effectuant au même moment que le retrait de ses mains des boutons de la commande bimanuelle.
3. L'entrave mobile avec retrait en bas de course apporte les mêmes avantages que l'entrave mobile avec retrait en haut de course mais élimine totalement la tendance à contourner l'entrave. Ce dernier élément pourrait s'avérer plus important qu'il ne semble à première vue.

En effet, le but principal de la protection par éloignement des commandes de la zone dangereuse est de protéger l'opérateur contre le risque inhérent au repositionnement de la pièce dans la matrice après le départ du cycle. Mais cette action s'apparente davantage à un geste réactionnel en *direction d'une cible* — la pièce à repositionner dans la matrice — qu'à une action réfléchie et intentionnelle. On peut alors poser comme hypothèse que si l'opérateur n'acquière pas le réflexe de contournement de l'entrave — ce qui semble être le cas lorsque le retrait de l'entrave s'effectue lorsque le coulisseau atteint son point mort bas — sa main viendra buter contre l'entrave plutôt que de la contourner machinalement. Cette simple interférence pourrait bien, en plus de briser l'élan de l'opérateur, constituer une source d'information suffisante à une prise de conscience brusque de la présence du risque et ainsi se traduire par une amélioration de la sécurité d'opération.

Les tableaux A4-4 et A4-5 qui traitent respectivement des résultats des essais simulant une situation problématique, avec incident et de leur analyse, montrent que, par rapport à l'opération

avec commande bimanuelle seule, sans entrave, le temps d'accès à la zone de danger augmente substantiellement lorsqu'une entrave, fixe ou mobile, est utilisée pour améliorer la protection de l'opérateur par éloignement des commandes bimanuelles. Ces valeurs, lorsqu'on les compare au temps d'arrêt du coulisseau, déterminent des *Délais de sécurité* et des *Facteurs de sécurité*.

Les premiers définissent le délai entre l'arrêt du coulisseau et l'entrée de la main dans la zone dangereuse. Les seconds, les facteurs de sécurité, représentent le rapport du temps d'accès à la zone de danger sur le temps d'arrêt du coulisseau. Par exemple, dans le cas de la presse utilisée pour les essais, une entrave mobile installée sur une commande bimanuelle placée à 50 cm de la zone dangereuse implique un temps d'accès moyen de 7,8 fois plus long que le temps mis par le coulisseau pour s'arrêter, assurant ainsi la protection de l'opérateur.

Le tableau A4-5 illustre, à cet effet, la variation des délais de sécurité (V_s) dus au recours d'une entrave fixe ou mobile par rapport à l'opération sans entrave ainsi que, de façon similaire, le rapport des facteurs de sécurité (R_s). Ces derniers, plus révélateurs, montrent que l'ajout d'une entrave fixe ou mobile permet à l'opérateur de disposer, à toutes fins pratiques, d'une *marge de sécurité* deux fois plus longue.

Annexe 3 : Tableaux des résultats

Liste des tableaux

Tableau	Titre
A3-1	<i>Essai sans entrave, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-2	<i>Essai sans entrave, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-3	<i>Essai avec entrave fixe, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-4	<i>Essai avec entrave fixe, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-5	<i>Essai avec entrave mobile, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en haut de course — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-6	<i>Essai avec entrave mobile, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en haut de course — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-7	<i>Essai avec entrave mobile, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en bas de course — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-8	<i>Essai avec entrave mobile, sans came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en bas de course — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-9	<i>Essai sans entrave, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-10	<i>Essai sans entrave, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-11	<i>Essai avec entrave fixe, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-12	<i>Essai avec entrave fixe, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-13	<i>Essai avec entrave mobile, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en bas de course — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-14	<i>Essai avec entrave mobile, avec came de reprise — Condition normale, sans incident — Retrait de l'entrave en bas de course — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-15	<i>Essai sans entrave — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-16	<i>Essai sans entrave — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-17	<i>Essai avec entrave fixe — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-18	<i>Essai avec entrave fixe — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm;</i>
A3-19	<i>Essai avec entrave mobile — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 25 cm;</i>
A3-20	<i>Essai avec entrave mobile — Condition problématique, avec incident — Distance horizontale des boutons = 50 cm</i>

Tableau A3- 1

ESSAI SANS ENTRAVE, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,403	0,328	0,354	0,351	0,334	0,339	0,334	0,339	0,271	0,472	0,271	0,472	0,353	0,053
	t_c	0,460	0,382	0,388	0,406	0,389	0,391	0,392	0,371	0,316	0,529	0,316	0,529	0,402	0,057
	t_b	0,742	0,678	0,677	0,667	0,708	0,678	0,685	0,687	0,644	0,861	0,644	0,861	0,703	0,061
B1	t_{ah}	1,018	0,927	0,967	0,968	0,946	0,941	0,955	0,952	0,890	1,088	0,890	1,088	0,965	0,054
	t_h	1,071	0,981	1,018	1,024	1,005	0,998	1,015	1,001	0,951	1,148	0,951	1,148	1,021	0,054
A1	t_{cbf}	1,172	0,926	1,171	1,075	1,024	0,995	1,129	1,064	0,922	1,291	0,922	1,291	1,077	0,117
	t_n	1,548	1,274	1,507	1,396	1,357	1,327	1,482	1,430	1,309	1,664	1,274	1,664	1,429	0,122

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T = t_n - t_0$		1,548	1,274	1,507	1,396	1,357	1,327	1,482	1,430	1,309	1,664	1,274	1,664	1,429	0,122
$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$		0,057	0,054	0,034	0,055	0,055	0,052	0,058	0,032	0,045	0,057	0,032	0,058	0,050	0,010
$T_B = t_b - t_c$		0,282	0,296	0,289	0,261	0,319	0,287	0,293	0,316	0,328	0,332	0,261	0,332	0,300	0,023
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,053	0,054	0,051	0,056	0,059	0,057	0,060	0,049	0,061	0,060	0,049	0,061	0,056	0,004
$T_C = t_h - t_c$		0,611	0,599	0,630	0,618	0,616	0,607	0,623	0,630	0,635	0,619	0,599	0,635	0,619	0,011
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,376	0,348	0,336	0,321	0,333	0,332	0,353	0,366	0,387	0,373	0,321	0,387	0,353	0,022

¹ Voir fiche de définition des variables et des paramètres

Tableau A3- 2

ESSAI SANS ENTRAVE, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,501	0,601	0,471	0,527	0,520	0,512	0,476	0,477	0,463	0,433	0,433	0,601	0,498	0,046
	t_c	0,550	0,655	0,527	0,574	0,575	0,570	0,518	0,541	0,527	0,491	0,491	0,655	0,553	0,045
	t_b	0,838	0,947	0,800	0,833	0,847	0,843	0,837	0,826	0,826	0,788	0,788	0,947	0,839	0,042
B1	t_{ah}	1,114	1,205	1,081	1,140	1,136	1,136	1,093	1,104	1,107	1,083	1,081	1,205	1,120	0,037
	t_h	1,180	1,265	1,147	1,194	1,197	1,193	1,160	1,166	1,169	1,138	1,138	1,265	1,181	0,036
A1	t_{cbf}	1,307	1,207	1,283	1,213	1,326	1,182	1,089	1,186	1,207	1,118	1,089	1,326	1,212	0,076
	t_n	1,749	1,683	1,784	1,651	1,756	1,690	1,511	1,655	1,659	1,566	1,511	1,784	1,670	0,084

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T = t_n - t_0$	1,749	1,683	1,784	1,651	1,756	1,690	1,511	1,655	1,659	1,566	1,511	1,784	1,670	0,084
	$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$	0,049	0,054	0,056	0,047	0,055	0,058	0,042	0,064	0,064	0,058	0,042	0,064	0,055	0,007
	$T_B = t_b - t_c$	0,288	0,292	0,273	0,259	0,272	0,273	0,319	0,285	0,299	0,297	0,259	0,319	0,286	0,017
	$T_{AH} = t_h - t_{ah}$	0,066	0,060	0,066	0,054	0,061	0,057	0,067	0,062	0,062	0,055	0,054	0,067	0,061	0,005
	$T_C = t_n - t_c$	0,630	0,610	0,620	0,620	0,622	0,623	0,642	0,625	0,642	0,647	0,610	0,647	0,628	0,012
	$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$	0,442	0,476	0,501	0,438	0,430	0,508	0,422	0,469	0,452	0,448	0,422	0,508	0,459	0,029

¹ Voir fiche de définition des variables et des paramètres

Tableau A3- 3

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,739	0,659	0,801	0,740	0,922	1,064	0,695	0,679	0,737	0,705	0,659	1,064	0,774	0,126
	t_c	0,799	0,708	0,853	0,791	0,976	1,113	0,742	0,720	0,798	0,763	0,708	1,113	0,826	0,127
	t_b	1,063	0,995	1,124	1,070	1,252	1,395	1,028	1,011	1,052	1,044	0,995	1,395	1,103	0,126
B1	t_{ah}	1,352	1,272	1,416	1,355	1,535	1,675	1,319	1,287	1,352	1,325	1,272	1,675	1,389	0,125
	t_h	1,403	1,320	1,473	1,401	1,579	1,724	1,367	1,340	1,405	1,373	1,320	1,724	1,439	0,124
A1	t_{cbf}	1,419	1,333	1,534	1,520	1,629	1,812	1,326	1,288	1,415	1,459	1,288	1,812	1,474	0,159
	t_n	2,093	1,839	2,114	2,226	2,288	2,431	1,968	1,938	1,967	2,027	1,839	2,431	2,089	0,181

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$		2,093	1,839	2,114	2,226	2,288	2,431	1,968	1,938	1,967	2,027	1,839	2,431	2,089	0,181
$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$		0,060	0,049	0,052	0,051	0,054	0,049	0,047	0,041	0,061	0,058	0,041	0,061	0,052	0,006
$T_B = t_b - t_c$		0,264	0,287	0,271	0,279	0,276	0,282	0,286	0,291	0,254	0,281	0,254	0,291	0,277	0,011
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,051	0,048	0,057	0,046	0,044	0,049	0,048	0,053	0,053	0,048	0,044	0,057	0,050	0,004
$T_C = t_h - t_c$		0,604	0,612	0,620	0,610	0,603	0,611	0,625	0,620	0,607	0,610	0,603	0,625	0,612	0,007
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,674	0,506	0,580	0,706	0,659	0,619	0,642	0,650	0,552	0,568	0,506	0,706	0,616	0,062

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 4

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,864	0,856	0,815	0,925	0,766	0,859	0,841	0,921	0,756	0,769	0,756	0,925	0,837	0,061
	t_c	0,931	0,902	0,875	0,979	0,819	0,921	0,896	0,980	0,818	0,832	0,818	0,980	0,895	0,060
	t_b	1,234	1,228	1,128	1,269	1,122	1,191	1,183	1,281	1,106	1,118	1,106	1,281	1,186	0,065
B1	t_{ah}	1,470	1,473	1,431	1,540	1,386	1,470	1,455	1,538	1,373	1,434	1,373	1,540	1,457	0,055
	t_h	1,520	1,520	1,476	1,597	1,434	1,521	1,500	1,588	1,424	1,487	1,424	1,597	1,507	0,057
A1	t_{cbf}	1,729	1,477	1,460	1,699	1,532	1,666	1,532	1,599	1,373	1,434	1,373	1,729	1,550	0,120
	t_n	2,349	2,108	2,115	2,378	2,160	2,292	2,185	2,222	2,228	2,100	2,100	2,378	2,214	0,100
Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_E = t_n - t_{E0}$	2,349	2,108	2,115	2,378	2,160	2,292	2,185	2,222	2,228	2,100	2,100	2,378	2,214	0,100
	$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$	0,067	0,046	0,060	0,054	0,053	0,062	0,055	0,059	0,062	0,063	0,046	0,067	0,058	0,006
	$T_B = t_b - t_c$	0,303	0,326	0,253	0,290	0,303	0,270	0,287	0,301	0,288	0,286	0,253	0,326	0,291	0,020
	$T_{AH} = t_h - t_{ah}$	0,050	0,047	0,045	0,057	0,048	0,051	0,045	0,050	0,051	0,053	0,045	0,057	0,050	0,004
	$T_C = t_h - t_c$	0,589	0,618	0,601	0,618	0,615	0,600	0,604	0,608	0,606	0,655	0,589	0,655	0,611	0,018
	$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$	0,620	0,631	0,655	0,679	0,628	0,626	0,653	0,623	0,855	0,666	0,620	0,855	0,664	0,070

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 5

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en HAUT de course

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,347	0,400	0,364	0,312	0,411	0,550	0,372	0,490	0,377	0,277	0,277	0,550	0,390	0,080
C0	t_{d0i}	0,527	0,588	0,563	0,500	0,599	0,735	0,557	0,687	0,564	0,459	0,459	0,735	0,578	0,082
D1	t_{dfi}	0,695	0,758	0,733	0,672	0,771	0,906	0,728	0,858	0,735	0,630	0,630	0,906	0,749	0,082
	t_c	0,761	0,821	0,779	0,720	0,823	0,952	0,794	0,926	0,793	0,690	0,690	0,952	0,806	0,082
	t_b	1,038	1,102	1,076	1,044	1,100	1,260	1,082	1,222	1,098	0,998	0,998	1,260	1,102	0,081
B1	t_{ah}, t_{cr}	1,331	1,391	1,341	1,286	1,379	1,513	1,359	1,485	1,352	1,247	1,247	1,513	1,368	0,081
	t_h	1,378	1,439	1,398	1,337	1,433	1,558	1,416	1,539	1,395	1,297	1,297	1,558	1,419	0,081
D0	t_{r0i}	1,485	1,547	1,497	1,441	1,554	1,674	1,516	1,643	1,525	1,422	1,422	1,674	1,530	0,080
C1	t_{rfi}	1,662	1,724	1,675	1,620	1,732	1,852	1,693	1,819	1,702	1,598	1,598	1,852	1,708	0,080
A1	t_{cbf}	1,639	1,649	1,505	1,632	1,667	1,780	1,585	1,798	1,702	1,545	1,505	1,798	1,650	0,093
	t_n	2,058	2,104	2,003	2,099	2,061	2,209	2,050	2,280	2,114	1,946	1,946	2,280	2,092	0,096

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$		2,058	2,104	2,003	2,099	2,061	2,209	2,050	2,280	2,114	1,946	1,946	2,280	2,092	0,096
$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$		0,180	0,188	0,199	0,188	0,188	0,185	0,185	0,197	0,187	0,182	0,180	0,199	0,188	0,006
$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$		0,168	0,170	0,170	0,172	0,172	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,168	0,172	0,171	0,001
$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$		0,066	0,063	0,046	0,048	0,052	0,046	0,066	0,068	0,058	0,060	0,046	0,068	0,057	0,009
$T_B = t_b - t_c$		0,277	0,281	0,297	0,324	0,277	0,308	0,288	0,296	0,305	0,308	0,277	0,324	0,296	0,016
$T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr}$		0,154	0,156	0,156	0,155	0,175	0,161	0,157	0,158	0,173	0,175	0,154	0,175	0,162	0,009
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,047	0,048	0,057	0,051	0,054	0,045	0,057	0,054	0,043	0,050	0,043	0,057	0,051	0,005
$T_C = t_h - t_c$		0,617	0,618	0,619	0,617	0,610	0,606	0,622	0,613	0,602	0,607	0,602	0,622	0,613	0,007
$T_R = t_{rfi} - t_{r0i}$		0,177	0,177	0,178	0,179	0,178	0,178	0,177	0,176	0,177	0,176	0,176	0,179	0,177	0,001
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,419	0,455	0,498	0,467	0,394	0,429	0,465	0,482	0,412	0,401	0,394	0,498	0,442	0,036

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 6

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en HAUT de course

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,606	0,592	0,619	0,676	0,478	0,503	0,632	0,520	0,485	0,517	0,478	0,676	0,563	0,070
C0	t_{d0i}	0,801	0,791	0,808	0,874	0,693	0,709	0,813	0,710	0,678	0,700	0,678	0,874	0,758	0,067
D1	t_{dri}	0,976	0,966	0,982	1,048	0,866	0,883	0,984	0,882	0,849	0,872	0,849	1,048	0,931	0,068
	t_c	1,040	1,016	1,030	1,093	0,930	0,933	1,038	0,925	0,914	0,918	0,914	1,093	0,984	0,066
	t_b	1,350	1,323	1,337	1,401	1,234	1,223	1,321	1,232	1,251	1,206	1,206	1,401	1,288	0,066
B1	$t_{ah}; t_{cr}$	1,612	1,574	1,593	1,655	1,490	1,485	1,596	1,492	1,479	1,481	1,479	1,655	1,546	0,067
	t_h	1,666	1,625	1,641	1,712	1,548	1,536	1,649	1,541	1,540	1,530	1,530	1,712	1,599	0,067
D0	t_{roi}	1,766	1,755	1,773	1,844	1,662	1,682	1,751	1,682	1,651	1,670	1,651	1,844	1,724	0,063
C1	t_{rri}	1,951	1,940	1,956	2,027	1,843	1,863	1,931	1,861	1,830	1,849	1,830	2,027	1,905	0,065
A1	t_{cbf}	2,005	1,762	2,041	1,867	1,847	1,815	1,888	1,794	1,732	1,789	1,732	2,041	1,854	0,101
	t_n	2,526	2,374	2,528	2,458	2,339	2,326	2,401	2,324	2,286	2,306	2,286	2,528	2,387	0,089

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$		2,526	2,374	2,528	2,458	2,339	2,326	2,401	2,324	2,286	2,306	2,286	2,528	2,387	0,089
$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$		0,195	0,199	0,189	0,198	0,215	0,206	0,181	0,190	0,193	0,183	0,181	0,215	0,195	0,010
$T_D = t_{dri} - t_{d0i}$		0,175	0,175	0,174	0,174	0,173	0,174	0,171	0,172	0,171	0,172	0,171	0,175	0,173	0,002
$T_{CC} = t_c - t_{dri}$		0,064	0,050	0,048	0,045	0,064	0,050	0,054	0,043	0,065	0,046	0,043	0,065	0,053	0,008
$T_B = t_b - t_c$		0,310	0,307	0,307	0,308	0,304	0,290	0,283	0,307	0,337	0,288	0,283	0,337	0,304	0,015
$T_{CR} = t_{roi} - t_{cr}$		0,154	0,181	0,180	0,189	0,172	0,197	0,155	0,190	0,172	0,189	0,154	0,197	0,178	0,015
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,054	0,051	0,048	0,057	0,058	0,051	0,053	0,049	0,061	0,049	0,048	0,061	0,053	0,004
$T_C = t_h - t_c$		0,626	0,609	0,611	0,619	0,618	0,603	0,611	0,616	0,626	0,612	0,603	0,626	0,615	0,007
$T_R = t_{rri} - t_{roi}$		0,185	0,185	0,183	0,183	0,181	0,181	0,180	0,179	0,179	0,179	0,179	0,185	0,182	0,002
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,521	0,612	0,487	0,591	0,492	0,511	0,513	0,530	0,554	0,517	0,487	0,612	0,533	0,041

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 7

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en BAS de course

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,543	0,387	0,374	0,409	0,413	0,413	0,395	0,472	0,510	0,412	0,374	0,543	0,433	0,056
C0	t_{d0i}	0,730	0,568	0,553	0,595	0,585	0,596	0,576	0,652	0,685	0,600	0,553	0,730	0,614	0,057
D1	t_{dfi}	0,900	0,743	0,721	0,764	0,753	0,766	0,745	0,822	0,854	0,769	0,721	0,900	0,784	0,057
	t_c	0,946	0,788	0,771	0,813	0,795	0,812	0,799	0,872	0,904	0,817	0,771	0,946	0,832	0,057
	t_b	1,239	1,086	1,077	1,106	1,107	1,112	1,096	1,170	1,200	1,119	1,077	1,239	1,131	0,054
E	t_{cr}	1,077	0,922	0,913	0,943	0,943	0,950	0,935	1,007	1,036	0,956	0,913	1,077	0,968	0,054
D0	t_{r0i}	1,248	1,073	1,074	1,112	1,101	1,117	1,097	1,171	1,207	1,118	1,073	1,248	1,132	0,058
C1	t_{rfi}	1,415	1,241	1,241	1,280	1,270	1,285	1,265	1,340	1,375	1,286	1,241	1,415	1,300	0,058
A1	t_{cbf}	1,494	1,529	1,505	1,533	1,504	1,388	1,413	1,627	1,685	1,428	1,388	1,685	1,511	0,092
B1	t_{ah}	1,502	1,343	1,334	1,363	1,362	1,369	1,371	1,445	1,461	1,377	1,334	1,502	1,393	0,056
	t_h	1,547	1,380	1,376	1,410	1,406	1,413	1,409	1,484	1,503	1,423	1,376	1,547	1,435	0,057
	t_n	1,924	1,892	1,826	1,872	1,901	1,789	1,806	2,025	2,061	1,908	1,789	2,061	1,900	0,088

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$		1,924	1,892	1,826	1,872	1,901	1,789	1,806	2,025	2,061	1,908	1,789	2,061	1,900	0,088
$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$		0,187	0,181	0,179	0,186	0,172	0,183	0,181	0,180	0,175	0,188	0,172	0,188	0,181	0,005
$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$		0,170	0,175	0,168	0,169	0,168	0,170	0,169	0,170	0,169	0,169	0,168	0,175	0,170	0,002
$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$		0,046	0,045	0,050	0,049	0,042	0,046	0,054	0,050	0,050	0,048	0,042	0,054	0,048	0,003
$T_B = t_b - t_c$		0,293	0,298	0,306	0,293	0,312	0,300	0,297	0,298	0,296	0,302	0,293	0,312	0,300	0,006
$T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr}$		0,171	0,151	0,161	0,169	0,158	0,167	0,162	0,164	0,171	0,162	0,151	0,171	0,164	0,006
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,045	0,037	0,042	0,047	0,044	0,044	0,038	0,039	0,042	0,046	0,037	0,047	0,042	0,003
$T_C = t_h - t_c$		0,601	0,592	0,605	0,597	0,611	0,601	0,610	0,612	0,599	0,606	0,592	0,612	0,603	0,007
$T_R = t_{rfi} - t_{r0i}$		0,167	0,168	0,167	0,168	0,169	0,168	0,168	0,169	0,168	0,168	0,167	0,169	0,168	0,001
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,430	0,363	0,321	0,339	0,397	0,401	0,393	0,398	0,376	0,480	0,321	0,480	0,390	0,045

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 8

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, SANS CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en BAS de course

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t _{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t _{cb0}	0,579	0,553	0,550	0,708	0,588	0,867	0,591	0,587	0,546	0,717	0,546	0,867	0,629	0,104
C0	t _{d0i}	0,770	0,738	0,727	0,887	0,765	1,045	0,779	0,773	0,720	0,901	0,720	1,045	0,811	0,103
D1	t _{dfi}	0,945	0,909	0,897	1,057	0,932	1,216	0,954	0,943	0,889	1,072	0,889	1,216	0,981	0,103
	t _c	0,985	0,956	0,943	1,105	0,980	1,263	0,992	0,989	0,935	1,122	0,935	1,263	1,027	0,104
	t _b	1,293	1,248	1,237	1,403	1,284	1,571	1,304	1,296	1,242	1,428	1,237	1,571	1,331	0,106
E	t _{cr}	1,129	1,086	1,073	1,239	1,121	1,407	1,139	1,132	1,078	1,264	1,073	1,407	1,167	0,106
D0	t _{r0i}	1,288	1,254	1,233	1,407	1,281	1,566	1,296	1,292	1,236	1,417	1,233	1,566	1,327	0,105
C1	t _{rfi}	1,457	1,424	1,401	1,574	1,449	1,734	1,467	1,461	1,404	1,585	1,401	1,734	1,496	0,105
A1	t _{cbf}	1,652	1,590	1,714	1,795	1,812	2,241	1,806	1,727	1,669	1,804	1,590	2,241	1,781	0,179
B1	t _{ah}	1,557	1,506	1,495	1,666	1,549	1,834	1,565	1,560	1,505	1,685	1,495	1,834	1,592	0,106
	t _h	1,601	1,552	1,541	1,710	1,591	1,878	1,611	1,605	1,550	1,730	1,541	1,878	1,637	0,106
	t _n	2,107	2,096	2,151	2,274	2,270	2,825	2,283	2,177	2,107	2,238	2,096	2,825	2,253	0,214

Résultat des calculs (s)														
Valeurs à calculer ¹	Essai n°										Statistiques			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$	2,107	2,096	2,151	2,274	2,270	2,825	2,283	2,177	2,107	2,238	2,096	2,825	2,253	0,214
$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$	0,191	0,185	0,177	0,179	0,177	0,178	0,188	0,186	0,174	0,184	0,174	0,191	0,182	0,006
$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$	0,175	0,171	0,170	0,170	0,167	0,171	0,175	0,170	0,169	0,171	0,167	0,175	0,171	0,002
$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$	0,040	0,047	0,046	0,048	0,048	0,047	0,038	0,046	0,046	0,050	0,038	0,050	0,046	0,004
$T_B = t_b - t_c$	0,308	0,292	0,294	0,298	0,304	0,308	0,312	0,307	0,307	0,306	0,292	0,312	0,304	0,007
$T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr}$	0,159	0,168	0,160	0,168	0,160	0,159	0,157	0,160	0,158	0,153	0,153	0,168	0,160	0,005
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$	0,044	0,046	0,046	0,044	0,042	0,044	0,046	0,045	0,045	0,045	0,042	0,046	0,045	0,001
$T_C = t_h - t_c$	0,616	0,596	0,598	0,605	0,611	0,615	0,619	0,616	0,615	0,608	0,596	0,619	0,610	0,008
$T_R = t_{rfi} - t_{r0i}$	0,169	0,170	0,168	0,167	0,168	0,168	0,171	0,169	0,168	0,168	0,167	0,171	0,169	0,001
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$	0,455	0,506	0,437	0,479	0,458	0,584	0,477	0,450	0,438	0,434	0,434	0,584	0,472	0,045

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 9

ESSAI SANS ENTRAVE, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,586	0,516	0,471	0,513	0,461	0,475	0,413	0,452	0,492	0,400	0,400	0,586	0,478	0,054
	t_c	0,655	0,573	0,529	0,568	0,514	0,539	0,477	0,521	0,551	0,457	0,457	0,655	0,538	0,055
	t_b	0,946	0,866	0,829	0,862	0,812	0,833	0,784	0,819	0,858	0,767	0,767	0,946	0,838	0,050
B1	t_{ah}	1,208	1,130	1,100	1,120	1,080	1,091	1,049	1,082	1,127	1,021	1,021	1,208	1,101	0,051
	t_h	1,248	1,173	1,141	1,165	1,124	1,139	1,094	1,124	1,166	1,067	1,067	1,248	1,144	0,049
A1	t_{cbf}	0,994	0,911	0,916	0,971	0,929	0,927	0,807	0,871	0,965	0,872	0,807	0,994	0,916	0,055
	t_n	1,341	1,259	1,191	1,270	1,213	1,221	1,111	1,091	1,261	1,033	1,033	1,341	1,199	0,094

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T = t_n - t_0$		1,341	1,259	1,191	1,270	1,213	1,221	1,111	1,091	1,261	1,033	1,033	1,341	1,199	0,094
$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$		0,069	0,057	0,058	0,055	0,053	0,064	0,064	0,069	0,059	0,057	0,053	0,069	0,061	0,006
$T_B = t_b - t_c$		0,291	0,293	0,300	0,294	0,298	0,294	0,307	0,298	0,307	0,310	0,291	0,310	0,299	0,007
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,040	0,043	0,041	0,045	0,044	0,048	0,045	0,042	0,039	0,046	0,039	0,048	0,043	0,003
$T_c = t_n - t_c$		0,593	0,600	0,612	0,597	0,610	0,600	0,617	0,603	0,615	0,610	0,593	0,617	0,606	0,008
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,347	0,348	0,275	0,299	0,284	0,294	0,304	0,220	0,296	0,161	0,161	0,348	0,283	0,056

¹ Voir fiche de définition des variables et des paramètres

Tableau A3- 10

ESSAI SANS ENTRAVE, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,543	0,529	0,550	0,562	0,398	0,502	0,512	0,466	0,523	0,638	0,398	0,638	0,522	0,063
	t_c	0,598	0,583	0,601	0,616	0,459	0,566	0,568	0,528	0,583	0,691	0,459	0,691	0,579	0,060
	t_b	0,970	0,884	0,905	0,919	0,753	0,866	0,866	0,821	0,879	0,997	0,753	0,997	0,886	0,070
B1	t_{ah}	1,243	1,142	1,166	1,175	1,011	1,133	1,134	1,090	1,147	1,267	1,011	1,267	1,151	0,072
	t_h	1,287	1,192	1,213	1,218	1,057	1,176	1,174	1,131	1,191	1,306	1,057	1,306	1,195	0,071
A1	t_{cbf}	0,846	0,958	1,021	1,028	0,936	0,957	1,017	0,970	1,112	1,300	0,846	1,300	1,015	0,122
	t_n	1,279	1,227	1,417	1,404	1,322	1,276	1,395	1,330	1,476	1,658	1,227	1,658	1,378	0,124

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T = t_n - t_0$		1,279	1,227	1,417	1,404	1,322	1,276	1,395	1,330	1,476	1,658	1,227	1,658	1,378	0,124
$T_{cc} = t_c - t_{cb0}$		0,055	0,054	0,051	0,054	0,061	0,064	0,056	0,062	0,060	0,053	0,051	0,064	0,057	0,004
$T_B = t_b - t_c$		0,372	0,301	0,304	0,303	0,294	0,300	0,298	0,293	0,296	0,306	0,293	0,372	0,307	0,023
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,044	0,050	0,047	0,043	0,046	0,043	0,040	0,041	0,044	0,039	0,039	0,050	0,044	0,003
$T_c = t_h - t_c$		0,689	0,609	0,612	0,602	0,598	0,610	0,606	0,603	0,608	0,615	0,598	0,689	0,615	0,026
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,433	0,269	0,396	0,376	0,386	0,319	0,378	0,360	0,364	0,358	0,269	0,433	0,364	0,044

¹ Voir fiche de définition des variables et des paramètres

Tableau A3- 11

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,859	0,847	0,858	0,802	0,749	0,879	0,805	0,825	0,839	0,645	0,645	0,879	0,811	0,069
	t_c	0,920	0,899	0,912	0,865	0,801	0,930	0,859	0,881	0,898	0,707	0,707	0,930	0,867	0,068
	t_b	1,219	1,204	1,208	1,167	1,103	1,232	1,154	1,175	1,194	1,003	1,003	1,232	1,166	0,068
B1	t_{ah}	1,489	1,474	1,470	1,430	1,372	1,496	1,420	1,437	1,456	1,265	1,265	1,496	1,431	0,069
	t_h	1,529	1,518	1,505	1,470	1,413	1,538	1,460	1,478	1,493	1,306	1,306	1,538	1,471	0,069
A1	t_{cbf}	1,395	1,279	1,226	1,209	1,170	1,259	1,176	1,249	1,256	1,077	1,077	1,395	1,230	0,083
	t_n	1,939	1,786	1,733	1,758	1,754	1,878	1,741	1,781	1,794	1,623	1,623	1,939	1,779	0,085

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_E = t_n - t_{E0}$		1,939	1,786	1,733	1,758	1,754	1,878	1,741	1,781	1,794	1,623	1,623	1,939	1,779	0,085
$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$		0,061	0,052	0,054	0,063	0,052	0,051	0,054	0,056	0,059	0,062	0,051	0,063	0,056	0,005
$T_B = t_b - t_c$		0,299	0,305	0,296	0,302	0,302	0,302	0,295	0,294	0,296	0,296	0,294	0,305	0,299	0,004
$T_{AH} = t_h - t_{ah}$		0,040	0,044	0,035	0,040	0,041	0,042	0,040	0,041	0,037	0,041	0,035	0,044	0,040	0,003
$T_C = t_h - t_c$		0,609	0,619	0,593	0,605	0,612	0,608	0,601	0,597	0,595	0,599	0,593	0,619	0,604	0,008
$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$		0,544	0,507	0,507	0,549	0,584	0,619	0,565	0,532	0,538	0,546	0,507	0,619	0,549	0,034

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 12

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,805	0,783	0,805	0,781	0,744	0,752	0,783	1,047	0,804	0,857	0,744	1,047	0,816	0,087
	t_c	0,869	0,841	0,867	0,833	0,807	0,812	0,840	1,122	0,862	0,919	0,807	1,122	0,877	0,092
	t_b	1,159	1,144	1,168	1,131	1,104	1,112	1,144	1,437	1,162	1,229	1,104	1,437	1,179	0,097
B1	t_{ah}	1,466	1,445	1,431	1,399	1,361	1,374	1,407	1,734	1,427	1,497	1,361	1,734	1,454	0,106
	t_h	1,504	1,488	1,472	1,443	1,401	1,415	1,448	1,778	1,462	1,537	1,401	1,778	1,495	0,107
A1	t_{cbf}	1,131	1,123	1,158	1,199	1,157	1,196	1,166	1,413	1,270	1,236	1,123	1,413	1,205	0,086
	t_n	1,696	1,664	1,716	1,779	1,727	1,831	1,759	1,956	1,872	1,832	1,664	1,956	1,783	0,090

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_E = t_n - t_{E0}$	1,696	1,664	1,716	1,779	1,727	1,831	1,759	1,956	1,872	1,832	1,664	1,956	1,783	0,090
	$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$	0,064	0,058	0,062	0,052	0,063	0,060	0,057	0,075	0,058	0,062	0,052	0,075	0,061	0,006
	$T_B = t_b - t_c$	0,290	0,303	0,301	0,298	0,297	0,300	0,304	0,315	0,300	0,310	0,290	0,315	0,302	0,007
	$T_{AH} = t_h - t_{ah}$	0,038	0,043	0,041	0,044	0,040	0,041	0,041	0,044	0,035	0,040	0,035	0,044	0,041	0,003
	$T_C = t_h - t_c$	0,635	0,647	0,605	0,610	0,594	0,603	0,608	0,656	0,600	0,618	0,594	0,656	0,618	0,021
	$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$	0,565	0,541	0,558	0,580	0,570	0,635	0,593	0,543	0,602	0,596	0,541	0,635	0,578	0,029

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 13

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en BAS de course

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t _{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t _{cb0}	0,409	0,520	0,319	0,466	0,539	0,571	0,449	0,618	0,463	0,415	0,319	0,618	0,477	0,088
C0	t _{d0i}	0,595	0,723	0,493	0,666	0,723	0,777	0,650	0,797	0,651	0,602	0,493	0,797	0,668	0,092
D1	t _{dfi}	0,766	0,894	0,664	0,836	0,894	0,948	0,820	0,969	0,821	0,772	0,664	0,969	0,838	0,092
	t _c	0,822	0,956	0,730	0,885	0,955	1,010	0,880	1,032	0,883	0,833	0,730	1,032	0,899	0,092
	t _b	1,132	1,262	1,035	1,192	1,248	1,307	1,191	1,317	1,186	1,140	1,035	1,317	1,201	0,086
E	t _{cr}	1,088	1,220	0,990	1,145	1,216	1,269	1,142	1,288	1,141	1,090	0,990	1,288	1,159	0,091
D0	t _{r0i}	1,269	1,387	1,159	1,315	1,390	1,446	1,314	1,466	1,323	1,277	1,159	1,466	1,335	0,091
C1	t _{rfi}	1,442	1,569	1,339	1,489	1,570	1,627	1,494	1,644	1,496	1,451	1,339	1,644	1,512	0,092
A1	t _{cbf}	1,265	1,389	1,161	1,319	1,392	1,448	1,315	1,468	1,384	1,294	1,161	1,468	1,344	0,092
B1	t _{ah}	1,397	1,521	1,292	1,451	1,515	1,572	1,446	1,590	1,441	1,395	1,292	1,590	1,462	0,090
	t _h	1,443	1,567	1,340	1,499	1,567	1,616	1,495	1,638	1,483	1,441	1,340	1,638	1,509	0,090
	t _n	1,749	1,918	1,713	1,874	1,928	1,969	1,844	2,027	1,781	1,745	1,713	2,027	1,855	0,106

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	T _E = t _n - t _{E0}	1,749	1,918	1,713	1,874	1,928	1,969	1,844	2,027	1,781	1,745	1,713	2,027	1,855	0,106
	T _{CD} = t _{d0i} - t _{cb0}	0,186	0,203	0,174	0,200	0,184	0,206	0,201	0,179	0,188	0,187	0,174	0,206	0,191	0,011
	T _D = t _{dfi} - t _{d0i}	0,171	0,171	0,171	0,170	0,171	0,171	0,170	0,172	0,170	0,170	0,170	0,172	0,171	0,001
	T _{CC} = t _c - t _{dfi}	0,056	0,062	0,066	0,049	0,061	0,062	0,060	0,063	0,062	0,061	0,049	0,066	0,060	0,005
	T _B = t _b - t _c	0,310	0,306	0,305	0,307	0,293	0,297	0,311	0,285	0,303	0,307	0,285	0,311	0,302	0,008
	T _{CR} = t _{r0i} - t _{cr}	0,181	0,167	0,169	0,170	0,174	0,177	0,172	0,178	0,182	0,187	0,167	0,187	0,176	0,006
	T _{AH} = t _h - t _{ah}	0,046	0,046	0,048	0,048	0,052	0,044	0,049	0,048	0,042	0,046	0,042	0,052	0,047	0,003
	T _C = t _h - t _c	0,621	0,611	0,610	0,614	0,612	0,606	0,615	0,606	0,600	0,608	0,600	0,621	0,610	0,006
	T _R = t _{rfi} - t _{r0i}	0,173	0,182	0,180	0,174	0,180	0,181	0,180	0,178	0,173	0,174	0,173	0,182	0,178	0,004
	T _{AC} = t _n - t _{cbf}	0,484	0,529	0,552	0,555	0,536	0,521	0,529	0,559	0,397	0,451	0,397	0,559	0,511	0,052

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 14

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES, AVEC CAME DE REPRISE

Condition normale, sans incident

Retrait de l'entrave en BAS de course

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,666	0,509	0,562	0,531	0,482	0,556	0,447	0,507	0,523	0,516	0,447	0,666	0,530	0,058
C0	t_{d0i}	0,857	0,699	0,734	0,706	0,680	0,752	0,630	0,703	0,710	0,696	0,630	0,857	0,717	0,059
D1	t_{dfi}	1,031	0,869	0,905	0,876	0,849	0,922	0,800	0,873	0,880	0,866	0,800	1,031	0,887	0,060
	t_c	1,077	0,929	0,965	0,941	0,901	0,977	0,854	0,927	0,943	0,936	0,854	1,077	0,945	0,057
	t_b	1,373	1,218	1,270	1,230	1,193	1,275	1,145	1,213	1,228	1,213	1,145	1,373	1,236	0,061
E	t_{cr}	1,337	1,188	1,224	1,200	1,161	1,238	1,114	1,189	1,201	1,196	1,114	1,337	1,205	0,058
D0	t_{r0i}	1,506	1,371	1,398	1,374	1,326	1,395	1,277	1,352	1,377	1,360	1,277	1,506	1,374	0,059
C1	t_{rfi}	1,679	1,543	1,579	1,555	1,500	1,574	1,453	1,523	1,557	1,542	1,453	1,679	1,551	0,059
A1	t_{cbf}	1,532	1,377	1,400	1,376	1,390	1,396	1,311	1,417	1,379	1,362	1,311	1,532	1,394	0,056
B1	t_{ah}	1,639	1,495	1,527	1,501	1,461	1,543	1,415	1,492	1,502	1,507	1,415	1,639	1,508	0,058
	t_h	1,679	1,543	1,576	1,546	1,503	1,591	1,460	1,533	1,548	1,547	1,460	1,679	1,553	0,057
	t_n	2,036	1,933	1,884	1,920	1,855	1,895	1,907	1,939	1,943	1,983	1,855	2,036	1,930	0,052

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_E = t_n - t_{E0}$	2,036	1,933	1,884	1,920	1,855	1,895	1,907	1,939	1,943	1,983	1,855	2,036	1,930	0,052
	$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$	0,191	0,190	0,172	0,175	0,198	0,196	0,183	0,196	0,187	0,180	0,172	0,198	0,187	0,009
	$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$	0,174	0,170	0,171	0,170	0,169	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,169	0,174	0,170	0,001
	$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$	0,046	0,060	0,060	0,065	0,052	0,055	0,054	0,054	0,063	0,070	0,046	0,070	0,058	0,007
	$T_B = t_b - t_c$	0,296	0,289	0,305	0,289	0,292	0,298	0,291	0,286	0,285	0,277	0,277	0,305	0,291	0,008
	$T_{CR} = t_{r0i} - t_{cr}$	0,169	0,183	0,174	0,174	0,165	0,157	0,163	0,163	0,176	0,164	0,157	0,183	0,169	0,008
	$T_{AH} = t_h - t_{ah}$	0,040	0,048	0,049	0,045	0,042	0,048	0,045	0,041	0,046	0,040	0,040	0,049	0,044	0,003
	$T_C = t_h - t_c$	0,602	0,614	0,611	0,605	0,602	0,614	0,606	0,606	0,605	0,611	0,602	0,614	0,608	0,005
	$T_R = t_{rfi} - t_{r0i}$	0,173	0,172	0,181	0,181	0,174	0,179	0,176	0,171	0,180	0,182	0,171	0,182	0,177	0,004
	$T_{AC} = t_n - t_{cbf}$	0,504	0,556	0,484	0,544	0,465	0,499	0,596	0,522	0,564	0,621	0,465	0,621	0,536	0,050

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 15

ESSAI SANS ENTRAVE
Condition problématique, avec incident
Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{op}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,451	0,785	0,504	0,472	0,423	0,352	0,491	0,467	0,446	0,640	0,352	0,785	0,503	0,123
	t_c	0,497	0,833	0,561	0,525	0,472	0,402	0,550	0,524	0,495	0,691	0,402	0,833	0,555	0,122
A1	t_q	0,578	0,863	0,594	0,556	0,587	0,447	0,616	0,554	0,560	0,748	0,447	0,863	0,610	0,115
	t_a	0,607	0,895	0,635	0,589	0,624	0,484	0,656	0,591	0,597	0,778	0,484	0,895	0,646	0,114
	t_{np}	0,701	0,968	0,713	0,661	0,689	0,556	0,718	0,640	0,657	0,854	0,556	0,968	0,716	0,116

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_p = t_{np} - t_{op}$		0,701	0,968	0,713	0,661	0,689	0,556	0,718	0,640	0,657	0,854	0,556	0,968	0,716	0,116
$T_{cc} = t_c - t_{cb0}$		0,046	0,048	0,057	0,053	0,049	0,050	0,059	0,057	0,049	0,051	0,046	0,059	0,052	0,004
$T_A = t_a - t_q$		0,029	0,032	0,041	0,033	0,037	0,037	0,040	0,037	0,037	0,030	0,029	0,041	0,035	0,004
$T_{AC} = t_{np} - t_q$		0,123	0,105	0,119	0,105	0,102	0,109	0,102	0,086	0,097	0,106	0,086	0,123	0,105	0,010
$T_s = T_{AC} - T_A$		0,094	0,073	0,078	0,072	0,065	0,072	0,062	0,049	0,060	0,076	0,049	0,094	0,070	0,012
$F_s = T_{AC} / T_A$		4,2	3,3	2,9	3,2	2,8	2,9	2,6	2,3	2,6	3,5	2,32	4,24	3,03	0,56

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 16

ESSAI SANS ENTRAVE
Condition problématique, avec incident
Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{op}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,761	0,725	0,857	0,698	0,721	0,704	0,926	0,674	0,540	0,768	0,540	0,926	0,737	0,104
	t_c	0,816	0,781	0,910	0,749	0,766	0,770	0,987	0,721	0,596	0,828	0,596	0,987	0,792	0,106
A1	t_q	0,923	0,857	0,988	0,810	0,856	0,937	1,069	0,876	0,749	0,947	0,749	1,069	0,901	0,092
	t_a	0,961	0,893	1,023	0,849	0,900	0,980	1,109	0,911	0,792	0,984	0,792	1,109	0,940	0,091
	t_{np}	1,076	1,001	1,127	0,988	0,994	1,118	1,216	1,013	0,916	1,067	0,916	1,216	1,052	0,087

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_p = t_{np} - t_{op}$		1,076	1,001	1,127	0,988	0,994	1,118	1,216	1,013	0,916	1,067	0,916	1,216	1,052	0,087
$T_{cc} = t_c - t_{cb0}$		0,055	0,056	0,053	0,051	0,045	0,066	0,061	0,047	0,056	0,060	0,045	0,066	0,055	0,006
$T_A = t_a - t_q$		0,038	0,036	0,035	0,039	0,044	0,043	0,040	0,035	0,043	0,037	0,035	0,044	0,039	0,003
$T_{AC} = t_{np} - t_q$		0,153	0,144	0,139	0,178	0,138	0,181	0,147	0,137	0,167	0,120	0,120	0,181	0,150	0,019
$T_s = T_{AC} - T_A$		0,115	0,108	0,104	0,139	0,094	0,138	0,107	0,102	0,124	0,083	0,083	0,139	0,111	0,018
$F_s = T_{AC} / T_A$		4,0	4,0	4,0	4,6	3,1	4,2	3,7	3,9	3,9	3,2	3,14	4,56	3,86	0,42

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 17

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES

Condition problématique, avec incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0p}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,792	0,917	0,911	0,859	0,991	1,094	1,057	0,959	0,820	0,823	0,792	1,094	0,922	0,103
	t_c	0,849	0,962	0,973	0,914	1,042	1,158	1,116	1,015	0,877	0,878	0,849	1,158	0,978	0,104
A1	t_q	0,905	1,022	1,054	1,023	1,096	1,239	1,209	1,069	0,958	0,990	0,905	1,239	1,057	0,104
	t_a	0,944	1,054	1,098	1,059	1,125	1,279	1,249	1,107	0,998	1,024	0,944	1,279	1,094	0,105
	t_{np}	1,095	1,237	1,270	1,221	1,310	1,431	1,402	1,274	1,159	1,196	1,095	1,431	1,260	0,103

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_{Ep} = t_{np} - t_{E0p}$	1,095	1,237	1,270	1,221	1,310	1,431	1,402	1,274	1,159	1,196	1,095	1,431	1,260	0,103
	$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$	0,057	0,045	0,062	0,055	0,051	0,064	0,059	0,056	0,057	0,055	0,045	0,064	0,056	0,005
	$T_A = t_a - t_q$	0,039	0,032	0,044	0,036	0,029	0,040	0,040	0,038	0,040	0,034	0,029	0,044	0,037	0,004
	$T_{AC} = t_{np} - t_q$	0,190	0,215	0,216	0,198	0,214	0,192	0,193	0,205	0,201	0,206	0,190	0,216	0,203	0,010
	$T_S = T_{AC} - T_A$	0,151	0,183	0,172	0,162	0,185	0,152	0,153	0,167	0,161	0,172	0,151	0,185	0,166	0,012
	$F_S = T_{AC} / T_A$	4,9	6,7	4,9	5,5	7,4	4,8	4,8	5,4	5,0	6,1	4,800	7,379	5,548	0,896

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 18

ESSAI AVEC ENTRAVES FIXES

Condition problématique, avec incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0p}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
A0	t_{cb0}	0,920	0,829	0,841	0,982	0,873	0,887	1,040	0,896	1,158	1,027	0,829	1,158	0,945	0,105
	t_c	0,982	0,885	0,893	1,037	0,932	0,940	1,087	0,952	1,214	1,082	0,885	1,214	1,000	0,104
A1	t_q	1,166	0,953	0,987	1,100	0,986	1,009	1,193	0,969	1,306	1,142	0,953	1,306	1,081	0,119
	t_a	1,207	0,987	1,008	1,140	1,026	1,044	1,231	0,999	1,343	1,173	0,987	1,343	1,116	0,121
	t_{np}	1,544	1,200	1,234	1,348	1,222	1,237	1,448	1,231	1,542	1,380	1,200	1,544	1,339	0,135

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_{Ep} = t_{np} - t_{E0p}$	1,544	1,200	1,234	1,348	1,222	1,237	1,448	1,231	1,542	1,380	1,200	1,544	1,339	0,135
	$T_{CC} = t_c - t_{cb0}$	0,062	0,056	0,052	0,055	0,059	0,053	0,047	0,056	0,056	0,055	0,047	0,062	0,055	0,004
	$T_A = t_a - t_q$	0,041	0,034	0,021	0,040	0,040	0,035	0,038	0,030	0,037	0,031	0,021	0,041	0,035	0,006
	$T_{AC} = t_{np} - t_q$	0,378	0,247	0,247	0,248	0,236	0,228	0,255	0,262	0,236	0,238	0,228	0,378	0,258	0,044
	$T_S = T_{AC} - T_A$	0,337	0,213	0,226	0,208	0,196	0,193	0,217	0,232	0,199	0,207	0,193	0,337	0,223	0,042
	$F_S = T_{AC} / T_A$	9,2	7,3	11,8	6,2	5,9	6,5	6,7	8,7	6,4	7,7	5,900	11,762	7,636	1,815

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 19

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES

Condition problématique, avec incident

Distance horizontale des boutons = 25 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0p}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,529	0,428	0,380	0,507	0,465	0,644	0,522	0,547	0,542	0,450	0,380	0,644	0,501	0,074
C0	t_{d0i}	0,713	0,609	0,576	0,695	0,651	0,839	0,703	0,730	0,742	0,635	0,576	0,839	0,689	0,076
D1	t_{dfi}	0,882	0,780	0,747	0,865	0,822	1,010	0,873	0,902	0,912	0,805	0,747	1,010	0,860	0,075
	t_c	0,931	0,843	0,810	0,922	0,878	1,065	0,924	0,947	0,969	0,856	0,810	1,065	0,915	0,073
A1	t_q	1,156	0,850	0,940	1,095	1,015	1,177	1,051	1,081	1,066	0,995	0,850	1,177	1,043	0,098
	t_a	1,197	0,884	0,977	1,131	1,055	1,214	1,093	1,121	1,107	1,031	0,884	1,214	1,081	0,099
	t_{np}	1,403	1,128	1,194	1,323	1,255	1,424	1,294	1,344	1,321	1,242	1,128	1,424	1,293	0,091

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	$T_{Ep} = t_{np} - t_{E0p}$	1,403	1,128	1,194	1,323	1,255	1,424	1,294	1,344	1,321	1,242	1,128	1,424	1,293	0,091
	$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$	0,184	0,181	0,196	0,188	0,186	0,195	0,181	0,183	0,200	0,185	0,181	0,200	0,188	0,007
	$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$	0,169	0,171	0,171	0,170	0,171	0,171	0,170	0,172	0,170	0,170	0,169	0,172	0,171	0,001
	$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$	0,049	0,063	0,063	0,057	0,056	0,055	0,051	0,045	0,057	0,051	0,045	0,063	0,055	0,006
	$T_A = t_a - t_q$	0,041	0,034	0,037	0,036	0,040	0,037	0,042	0,040	0,041	0,036	0,034	0,042	0,038	0,003
	$T_{AC} = t_{np} - t_q$	0,247	0,278	0,254	0,228	0,240	0,247	0,243	0,263	0,255	0,247	0,228	0,278	0,250	0,014
	$T_S = T_{AC} - T_A$	0,206	0,244	0,217	0,192	0,200	0,210	0,201	0,223	0,214	0,211	0,192	0,244	0,212	0,014
	$F_S = T_{AC} / T_A$	6,0	8,2	6,9	6,3	6,0	6,7	5,8	6,6	6,2	6,9	5,79	8,18	6,55	0,68

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Tableau A3- 20

ESSAI AVEC ENTRAVES MOBILES

Condition problématique, avec incident

Distance horizontale des boutons = 50 cm

Mesure des temps de réponses (s)															
Paramètres à mesurer ¹		Essai n°										Statistiques			
MDL	Observés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
	t_{E0p}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A0	t_{cb0}	0,667	0,550	0,623	0,575	0,556	0,670	0,562	0,540	0,576	0,505	0,505	0,670	0,582	0,054
C0	t_{d0i}	0,857	0,733	0,816	0,769	0,752	0,859	0,750	0,732	0,755	0,695	0,695	0,859	0,772	0,055
D1	t_{dfi}	1,027	0,903	0,986	0,939	0,922	1,030	0,920	0,900	0,923	0,865	0,865	1,030	0,942	0,055
	t_c	1,081	0,952	1,032	0,991	0,967	1,076	0,963	0,944	0,989	0,930	0,930	1,081	0,993	0,054
A1	t_q	1,129	1,115	1,162	1,097	1,089	1,195	1,045	1,017	1,132	1,039	1,017	1,195	1,102	0,056
	t_a	1,166	1,151	1,197	1,130	1,128	1,230	1,084	1,056	1,168	1,074	1,056	1,230	1,138	0,055
	t_{np}	1,474	1,391	1,463	1,397	1,365	1,454	1,314	1,289	1,401	1,304	1,289	1,474	1,385	0,067

Résultat des calculs (s)															
Valeurs à calculer ¹		Essai n°										Statistiques			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
$T_{Ep} = t_{np} - t_{E0p}$		1,474	1,391	1,463	1,397	1,365	1,454	1,314	1,289	1,401	1,304	1,289	1,474	1,385	0,067
$T_{CD} = t_{d0i} - t_{cb0}$		0,190	0,183	0,193	0,194	0,196	0,189	0,188	0,192	0,179	0,190	0,179	0,196	0,189	0,005
$T_D = t_{dfi} - t_{d0i}$		0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,171	0,170	0,168	0,168	0,170	0,168	0,171	0,170	0,001
$T_{CC} = t_c - t_{dfi}$		0,054	0,049	0,046	0,052	0,045	0,046	0,043	0,044	0,066	0,065	0,043	0,066	0,051	0,008
$T_A = t_a - t_q$		0,037	0,036	0,035	0,033	0,039	0,035	0,039	0,039	0,036	0,035	0,033	0,039	0,036	0,002
$T_{AC} = t_{np} - t_q$		0,345	0,276	0,301	0,300	0,276	0,259	0,269	0,272	0,269	0,265	0,259	0,345	0,283	0,026
$T_S = T_{AC} - T_A$		0,308	0,240	0,266	0,267	0,237	0,224	0,230	0,233	0,233	0,230	0,224	0,308	0,247	0,026
$F_S = T_{AC} / T_A$		9,3	7,7	8,6	9,1	7,1	7,4	6,9	7,0	7,5	7,6	6,90	9,32	7,81	0,88

¹ Voir fiche de définition des variables et paramètres

Annexe 4 : Tableaux et graphiques d'analyse et de synthèse des résultats

Tableau	Titre
A4-1	<i>Essai des entraves — Validation des données inhérentes au bon fonctionnement de la presse et de l'entrave mobile durant les essais</i>
A4-2	<i>Essai des entraves — Condition normale sans incident — Résultats des mesures des durées de cycles opératoires</i>
A4-3	<i>Essai des entraves — Condition normale sans incident — Analyse des résultats concernant les durées de cycles opératoires</i>

Graphique	Titre
A4-1	<i>Rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_c) en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse SANS came de reprise des commandes</i>
A4-2	<i>Rapports d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_c) en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse AVEC came de reprise des commandes</i>

Tableau	Titre
A4-4	<i>Essai des entraves — Condition problématique avec simulation d'incident — Résultats des mesures des temps d'accès et des temps d'arrêt</i>
A4-5	<i>Essai des entraves — Condition problématique avec simulation d'incident — Analyse des résultats concernant la sécurité d'opération</i>

Graphique	Titre
A4-3	<i>Facteurs de sécurité (F_s) d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé</i>
A4-4	<i>Variation des délais de sécurité (V_s) d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé</i>
A4-5	<i>Rapport des facteurs de sécurité (R_s) d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé</i>

Tableau A4- 1

ESSAI DES ENTRAVES

Validation des données inhérentes au bon fonctionnement de la presse
et de l'entrave mobile durant les essais

Condition normale SANS came		Type d'entrave								Statistiques de contrôle		
		Aucune		Fixe		Mobile Haut		Mobile Bas				
Variable de contrôl(és)		25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	Moyenne	Écart type	Coef. Var.
T _{CD}						0,188	0,195	0,181	0,182	0,186	0,0064	3,4%
T _D						0,171	0,173	0,170	0,171	0,171	0,0014	0,8%
T _{CC}		0,050	0,055	0,052	0,058	0,057	0,053	0,048	0,046	0,052	0,0044	8,4%
T _B		0,300	0,286	0,277	0,291	0,296	0,304	0,300	0,304	0,295	0,0095	3,2%
T _{CR}						0,162	0,178	0,164	0,160	0,166	0,0081	4,9%
T _{AH}		0,056	0,061	0,050	0,050	0,051	0,053	0,042	0,045	0,051	0,0059	11,7%
T _C		0,619	0,628	0,612	0,611	0,613	0,615	0,603	0,610	0,614	0,0072	1,2%
T _R						0,177	0,182	0,168	0,169	0,174	0,0066	3,8%

Condition normale AVEC came		Type d'entrave								Statistiques de contrôle				
		Aucune		Fixe		Mobile Haut		Mobile Bas						
Variable de contrôl(és)		25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	Moyenne	Écart type	Coef. Var.		
T _{CD}						Note 1		0,191	0,187	0,189	0,0028	1,5%		
T _D								0,171	0,170	0,171	0,0002	0,1%		
T _{CC}		0,061	0,057	0,056	0,061					0,060	0,058	0,059	0,0020	3,4%
T _B		0,299	0,307	0,299	0,302					0,302	0,291	0,300	0,0053	1,8%
T _{CR}										0,176	0,169	0,172	0,0049	2,8%
T _{AH}		0,043	0,044	0,040	0,041					0,047	0,044	0,043	0,0025	5,8%
T _C		0,606	0,615	0,604	0,618					0,610	0,608	0,610	0,0054	0,9%
T _R										0,178	0,177	0,177	0,0004	0,2%

Condition problématique		Type d'entrave						Statistiques de contrôle		
		Sans		Fixe		Mobile				
Variable de contrôl(és)		25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	Moyenne	Écart type	Coef. Var.
T _{CD}						0,188	0,189	0,189	0,0011	0,6%
T _D						0,171	0,170	0,170	0,0006	0,3%
T _{CC}		0,052	0,055	0,056	0,055	0,055	0,051	0,054	0,0020	3,7%
T _A		0,035	0,039	0,037	0,035	0,038	0,036	0,037	0,0017	4,6%

Note 1 Des entraves mobiles dont le retrait (après leur déploiement) est commandé lorsque le coulisseau arrive au point mort haut, ne sont pas utilisées sur une presse comportant une came de reprise des commandes (d'où l'absence de données, sous cette rubrique, dans le tableau) puisque, dans ce cas, l'opérateur n'est pas obligé de maintenir son appui sur les boutons de la commande bimanuelle après l'atteinte du point mort bas par le coulisseau. Le retrait de l'entrave s'effectue donc uniquement à partir de ce point lorsqu'une telle came est présente.

Description des variables de contrôle

TC : durée d'un cycle complet, du début du mouvement du coulisseau jusqu'à son retour au point mort haut
TB : durée du demi-cycle de la presse, du début du mouvement du coulisseau jusqu'à son arrivée au point mort bas
TAH : délai entre la commande d'arrêt du coulisseau en fin de cycle et son arrivée effective au point mort haut
TCC : durée de la transmission de la commande du cycle

TCD : durée de la transmission de la commande de déploiement de l'entrave mobile
TCR : durée de la transmission de la commande de retrait de l'entrave mobile
TD : durée de déploiement de l'entrave mobile
TR : durée de retrait de l'entrave mobile

Tableau A4- 2

ESSAI DES ENTRAVES

CONDITION NORMALE SANS INCIDENT

Résultat des mesures des durées de cycles opératoires

Mesure de la *Durée du cycle opératoire* (s) — Essais SANS came de reprise des commandes ^{1, 2}

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	1,548	1,274	1,507	1,396	1,357	1,327	1,482	1,430	1,309	1,664	1,274	1,664	1,429	0,122
Sans entrave, à 50 cm	1,749	1,683	1,784	1,651	1,756	1,690	1,511	1,655	1,659	1,566	1,511	1,784	1,670	0,084
Avec entrave fixe, à 25 cm	2,093	1,839	2,114	2,226	2,288	2,431	1,968	1,938	1,967	2,027	1,839	2,431	2,089	0,181
Avec entrave fixe, à 50 cm	2,349	2,108	2,115	2,378	2,160	2,292	2,185	2,222	2,228	2,100	2,100	2,378	2,214	0,100
Avec entrave mobile «haut» ³ , à 25 cm	2,058	2,104	2,003	2,099	2,061	2,209	2,050	2,280	2,114	1,946	1,946	2,280	2,092	0,096
Avec entrave mobile « haut », à 50 cm	2,526	2,374	2,528	2,458	2,339	2,326	2,401	2,324	2,286	2,306	2,286	2,528	2,387	0,089
Avec entrave mobile «bas» ⁴ , à 25 cm	1,924	1,892	1,826	1,872	1,901	1,789	1,806	2,025	2,061	1,908	1,789	2,061	1,900	0,088
Avec entrave mobile «bas», à 50 cm	2,107	2,096	2,151	2,274	2,270	2,825	2,283	2,177	2,107	2,238	2,096	2,825	2,253	0,214

Mesure de la *Durée du cycle opératoire* (s) — Essais AVEC came de reprise des commandes

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	1,341	1,259	1,191	1,270	1,213	1,221	1,111	1,091	1,261	1,033	1,033	1,341	1,199	0,094
Sans entrave, à 50 cm	1,279	1,227	1,417	1,404	1,322	1,276	1,395	1,330	1,476	1,658	1,227	1,658	1,378	0,124
Avec entrave fixe, à 25 cm	1,939	1,786	1,733	1,758	1,754	1,878	1,741	1,781	1,794	1,623	1,623	1,939	1,779	0,085
Avec entrave fixe, à 50 cm	1,696	1,664	1,716	1,779	1,727	1,831	1,759	1,956	1,872	1,832	1,664	1,956	1,783	0,090
Avec entrave mobile «bas», à 25 cm	1,749	1,918	1,713	1,874	1,928	1,969	1,844	2,027	1,781	1,745	1,713	2,027	1,855	0,106
Avec entrave mobile «bas», à 50 cm	2,036	1,933	1,884	1,920	1,855	1,895	1,907	1,939	1,943	1,983	1,855	2,036	1,930	0,052

¹ Le cycle opératoire (T sans entrave, T_E avec entrave fixe ou mobile) est, ici, déterminé par le délai entre la sortie de la main de la zone dangereuse de la presse après avoir placé le matériel à façonner entre les matrices (t_o) et la réinsertion de la main dans cette zone pour y reprendre la pièce façonnée (t_n).

² La came de reprise d'une presse à métaux a pour fonction d'inhiber l'arrêt du coulisseau lorsque ce dernier est rendu au point mort bas (ou près de ce point). La présence de cette came permet alors à l'opérateur de retirer ses mains de la commande bimanuelle lorsque le coulisseau atteint son point mort bas. Son absence l'oblige, au contraire, à maintenir son appui jusqu'à la fin du cycle, à défaut de quoi, une commande de freinage est transmise, qui arrête le coulisseau dans sa course vers son point mort haut.

³ Il s'agit, ici, des essais réalisés avec une entrave mobile dont le retrait (après son déploiement) est commandé lorsque le coulisseau arrive au point mort haut. Des entraves mobiles de ce type, avec retrait au point mort haut, pourraient éventuellement être utilisées sur une presse non munie d'une came de reprise des commandes mais pas sur une presse comportant une telle came. En effet, dans ce cas, l'opérateur n'est pas obligé de maintenir son appui sur les boutons de la commande bimanuelle après l'atteinte du point mort bas par le coulisseau. Le retrait de l'entrave s'effectue alors uniquement à partir de ce point.

⁴ Il s'agit, ici, des essais réalisés avec une entrave mobile dont le retrait (après son déploiement) est commandé lorsque le coulisseau arrive au point mort bas.

Tableau A4- 3

ESSAI DES ENTRAVES

CONDITION NORMALE SANS INCIDENT

Analyse des résultats concernant les durées de cycles opératoires

Effet des entraves sur la *Durée du cycle opératoire* — Essais SANS came de reprise des commandes ¹

<i>Variation des durées de cycle opératoire (s) (V_c)</i>	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles H (retrait au point mort haut)			Entraves mobiles B (retrait au point mort bas)		
Distance (cm)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)
Entraves fixes - Sans entrave	0,000	0,000	0,000	0,660	0,543	-0,116						
Entraves mobiles H (EMH) - Sans entrave	0,000	0,000	0,000				0,663	0,716	0,053			
Entraves mobiles B (EMB) - Sans entrave	0,000	0,000	0,000							0,471	0,582	0,111
EMH - Entraves fixes				0,000	0,000	0,000	0,003	0,173	0,170			
EMB - Entraves fixes				0,000	0,000	0,000				-0,189	0,039	0,228
							0,000	0,000	0,000	-0,192	-0,134	0,058

<i>Rapport d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_c)</i>	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles H (retrait au point mort haut)			Entraves mobiles B (retrait au point mort bas)		
Distance (cm)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)
Entraves fixes / Sans entrave	1,00	1,00	1,00	1,46	1,33	0,91						
Entraves mobiles H (EMH) / Sans entrave	1,00	1,00	1,00				1,46	1,43	0,98			
Entraves mobiles B (EMB) / Sans entrave	1,00	1,00	1,00							1,33	1,35	1,01
EMH / Entraves fixes				1,00	1,00	1,00	1,00	1,08	1,08			
EMB / Entraves fixes				1,00	1,00	1,00				0,91	1,02	1,12
EMB / EMH							1,00	1,00	1,00	0,91	0,94	1,04

Effet des entraves sur la *Durée du cycle opératoire* — Essais AVEC came de reprise des commandes

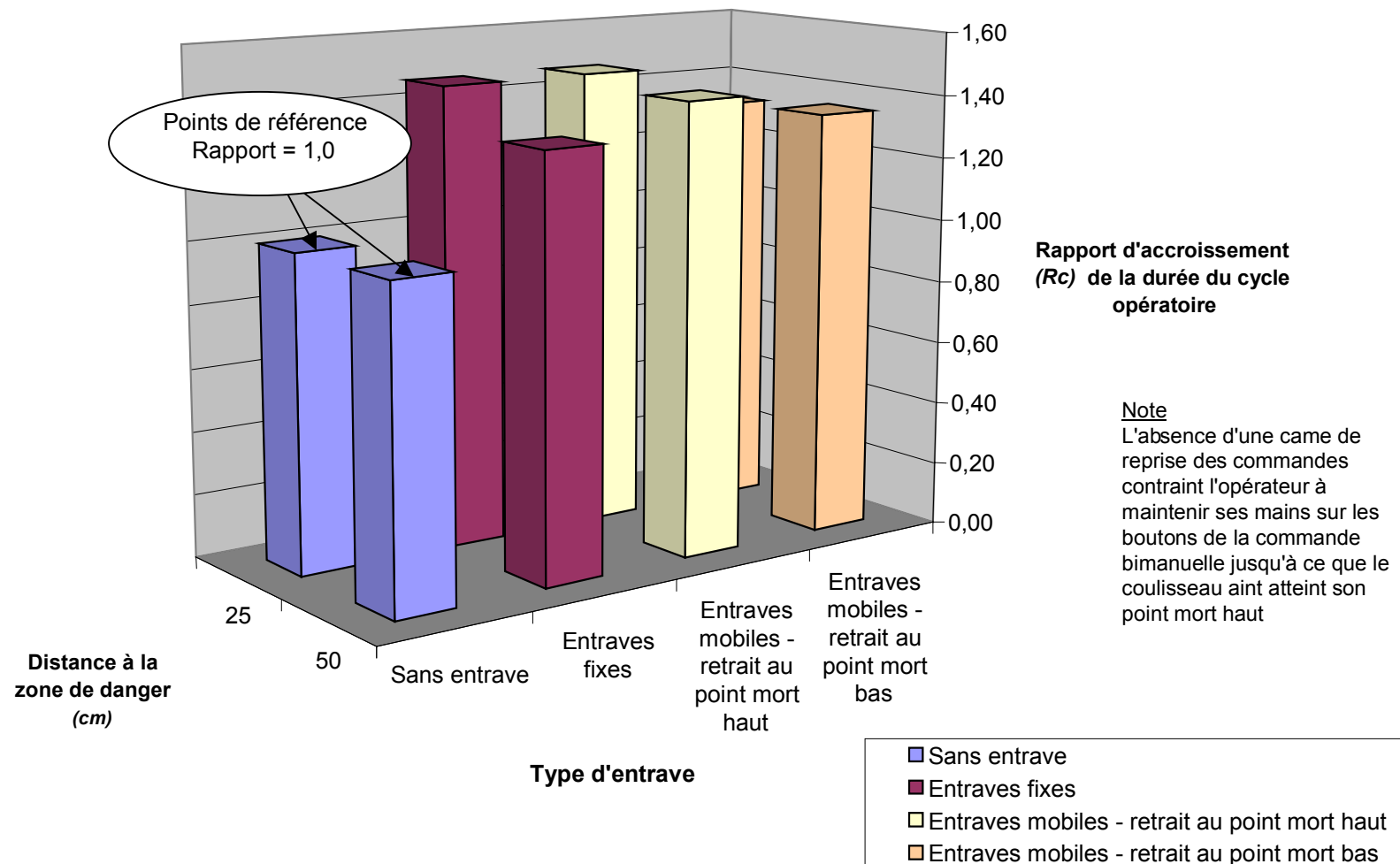
<i>Variation des durées de cycle opératoire (s) (V_c)</i>	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles B (retrait au point mort bas)		
Distance (cm)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)
Entraves fixes - Sans entrave	0,000	0,000	0,000	0,580	0,405	-0,175			
Entraves mobiles B (EMB) - Sans entrave	0,000	0,000	0,000				0,656	0,551	-0,105
EMB - Entraves fixes				0,000	0,000	0,000	0,076	0,146	0,070

<i>Rapport d'accroissement de la durée du cycle opératoire (R_c)</i>	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles B (retrait au point mort bas)		
Distance (cm)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)
Entraves fixes / Sans entrave	1,00	1,00	1,00	1,48	1,29	0,87			
Entraves mobiles B (EMB) / Sans entrave	1,00	1,00	1,00				1,55	1,40	0,90
EMB / Entraves fixes				1,00	1,00	1,00	1,04	1,08	1,04

¹ Les définitions sont présentées dans le tableau des résultats

Graphique A4- 1

Rapports d'accroissement (R_c) de la durée du cycle opératoire
en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse
SANS came de reprise des commandes (voir note)



Graphique A4- 2

Rapports d'accroissement (R_c) de la durée du cycle opératoire
en fonction du type d'entrave utilisé sur une presse
AVEC came de reprise des commandes (voir note)

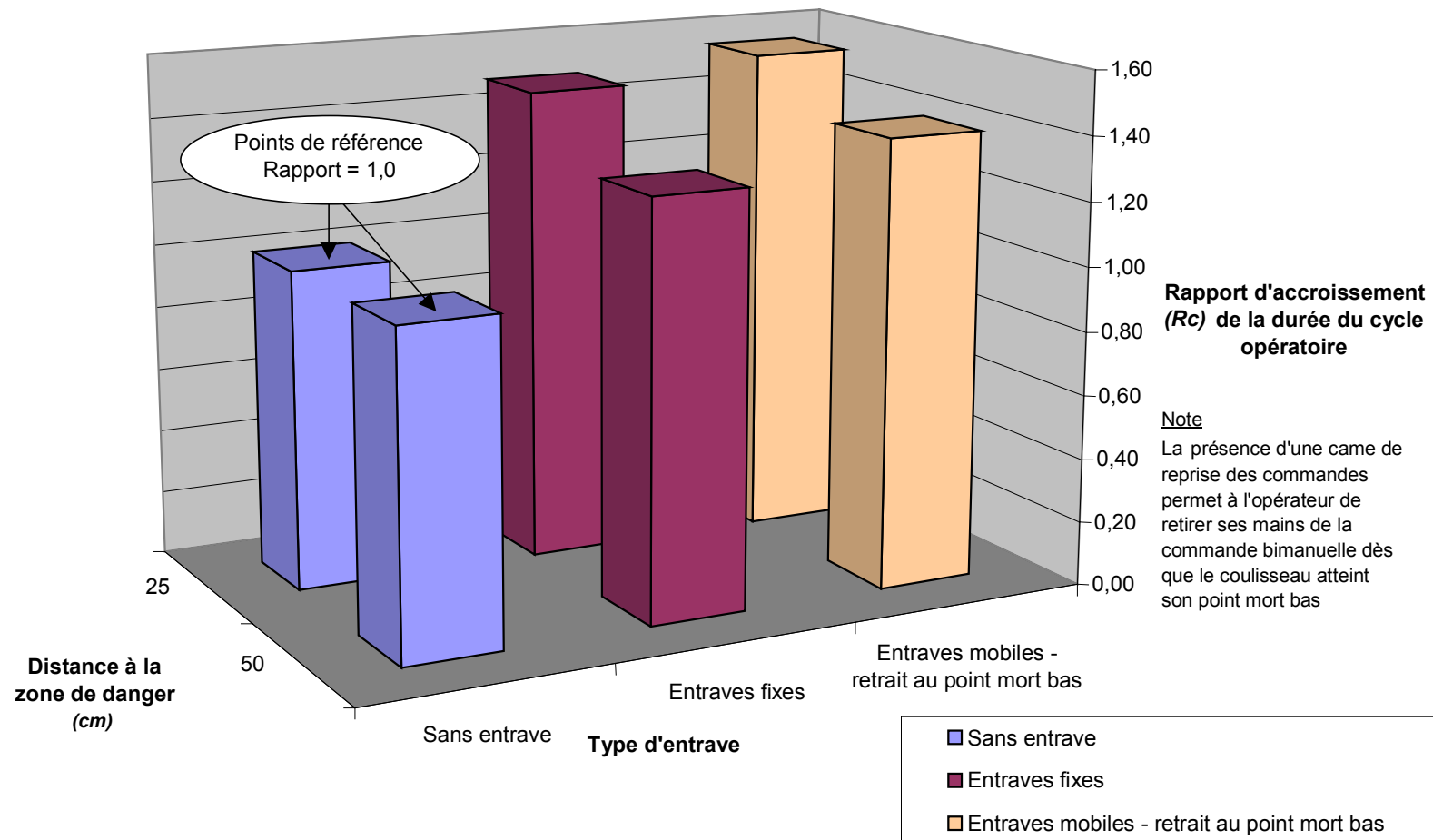


Tableau A4- 4

ESSAI DES ENTRAVES

CONDITION PROBLÉMATIQUE, AVEC SIMULATION D'INCIDENT

Résultat des mesures des temps d'accès et des temps d'arrêt (*s*)

Mesure du Temps d'accès à la Zone de danger (T_{AC})

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	0,123	0,105	0,119	0,105	0,102	0,109	0,102	0,086	0,097	0,106	0,086	0,123	0,105	0,010
Sans entrave, à 50 cm	0,153	0,144	0,139	0,178	0,138	0,181	0,147	0,137	0,167	0,120	0,120	0,181	0,150	0,019
Avec entrave fixe, à 25 cm	0,190	0,215	0,216	0,198	0,214	0,192	0,193	0,205	0,201	0,206	0,190	0,216	0,203	0,010
Avec entrave fixe, à 50 cm	0,378	0,247	0,247	0,248	0,236	0,228	0,255	0,262	0,236	0,238	0,228	0,378	0,258	0,044
Avec entrave mobile «bas», à 25 cm	0,247	0,278	0,254	0,228	0,240	0,247	0,243	0,263	0,255	0,247	0,228	0,278	0,250	0,014
Avec entrave mobile «bas», à 50 cm	0,345	0,276	0,301	0,300	0,276	0,259	0,269	0,272	0,269	0,265	0,259	0,345	0,283	0,026

Mesure du Temps d'arrêt du coulisseau (T_A)

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	0,029	0,032	0,041	0,033	0,037	0,037	0,040	0,037	0,037	0,030	0,029	0,041	0,035	0,004
Sans entrave, à 50 cm	0,038	0,036	0,035	0,039	0,044	0,043	0,040	0,035	0,043	0,030	0,035	0,044	0,039	0,003
Avec entrave fixe, à 25 cm	0,039	0,032	0,044	0,036	0,029	0,040	0,040	0,038	0,040	0,034	0,029	0,044	0,037	0,004
Avec entrave fixe, à 50 cm	0,041	0,034	0,021	0,040	0,040	0,035	0,038	0,030	0,037	0,031	0,021	0,041	0,035	0,006
Avec entrave mobile, à 25 cm	0,041	0,034	0,037	0,036	0,040	0,037	0,042	0,040	0,041	0,036	0,034	0,042	0,038	0,003
Avec entrave mobile, à 50 cm	0,037	0,036	0,035	0,033	0,039	0,035	0,039	0,039	0,036	0,035	0,033	0,039	0,036	0,002

Mesure du Délai de sécurité (T_S)¹

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	0,094	0,073	0,078	0,072	0,065	0,072	0,062	0,049	0,060	0,076	0,049	0,094	0,070	0,012
Sans entrave, à 50 cm	0,115	0,108	0,104	0,139	0,094	0,138	0,107	0,102	0,124	0,083	0,083	0,139	0,111	0,018
Avec entrave fixe, à 25 cm	0,151	0,183	0,172	0,162	0,185	0,152	0,153	0,167	0,161	0,172	0,151	0,185	0,166	0,012
Avec entrave fixe, à 50 cm	0,337	0,213	0,226	0,208	0,196	0,193	0,217	0,232	0,199	0,207	0,193	0,337	0,223	0,042
Avec entrave mobile, à 25 cm	0,206	0,244	0,217	0,192	0,200	0,210	0,201	0,223	0,214	0,211	0,192	0,244	0,212	0,014
Avec entrave mobile, à 50 cm	0,308	0,240	0,266	0,267	0,237	0,224	0,230	0,233	0,233	0,230	0,224	0,308	0,247	0,026

Calcul du Facteur de sécurité (F_S)²

Conditions d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Sans entrave, à 25 cm	4,24	3,28	2,90	3,18	2,76	2,95	2,55	2,32	2,62	3,53	2,32	4,24	3,03	0,56
Sans entrave, à 50 cm	4,03	4,00	3,97	4,56	3,14	4,21	3,67	3,91	3,88	3,24	3,14	4,56	3,86	0,42
Avec entrave fixe, à 25 cm	4,87	6,72	4,91	5,50	7,38	4,80	4,83	5,39	5,03	6,06	4,80	7,38	5,55	0,90
Avec entrave fixe, à 50 cm	9,22	7,26	11,76	6,20	5,90	6,51	6,71	8,73	6,38	7,68	5,90	11,76	7,64	1,81
Avec entrave mobile, à 25 cm	6,02	8,18	6,86	6,33	6,00	6,68	5,79	6,57	6,22	6,86	5,79	8,18	6,55	0,68
Avec entrave mobile, à 50 cm	9,32	7,67	8,60	9,09	7,08	7,40	6,90	6,97	7,47	7,57	6,90	9,32	7,81	0,88

¹ Le délai de sécurité représente la différence entre le temps d'accès à la zone de danger et le temps d'arrêt du coulisseau (arrêt commandé par le relâchement d'un des boutons de la commande bimanuelle), soit : $T_S = T_{AC} - T_A$.

² Le facteur de sécurité représente le rapport du temps d'accès à la zone de danger sur le temps d'arrêt du coulisseau, soit : $F_S = T_{AC} / T_A$. Par exemple, une entrave mobile installée sur une commande bimanuelle placée à 50 cm de la zone dangereuse de la presse implique un temps d'accès moyen de 7,8 fois plus long que le temps mis par le coulisseau pour s'arrêter (dans le cas de la presse utilisée pour les essais), assurant ainsi la protection de

Tableau A4- 5

ESSAI DES ENTRAVES

CONDITION PROBLÉMATIQUE, AVEC SIMULATION D'INCIDENT

Analyse des résultats concernant la sécurité d'opération

Effet des entraves sur la sécurité des opérations

<i>Variation des délais de sécurité (s) (V_S)</i> ¹	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles		
Distance à la zone de danger (cm)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)	25	50	Δ (50-25)
Entraves fixes - Sans entrave	0,000	0,000	0,000	0,096	0,111	0,016			
Entraves mobiles (EM) - Sans entrave	0,000	0,000	0,000				0,142	0,135	-0,006
EM - Entraves fixes				0,000	0,000	0,000	0,046	0,024	-0,022

<i>Rapport des facteurs de sécurité (R_S)</i> ²	Sans entrave			Entraves fixes			Entraves mobiles		
Distance à la zone de danger (cm)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)	25	50	Δ (50 / 25)
Entraves fixes / Sans entrave	1,00	1,00	1,00	1,83	1,98	1,08			
Entraves mobiles (EM) / Sans entrave	1,00	1,00	1,00				2,16	2,02	0,94
EM / Entraves fixes				1,00	1,00	1,00	1,18	1,02	0,87

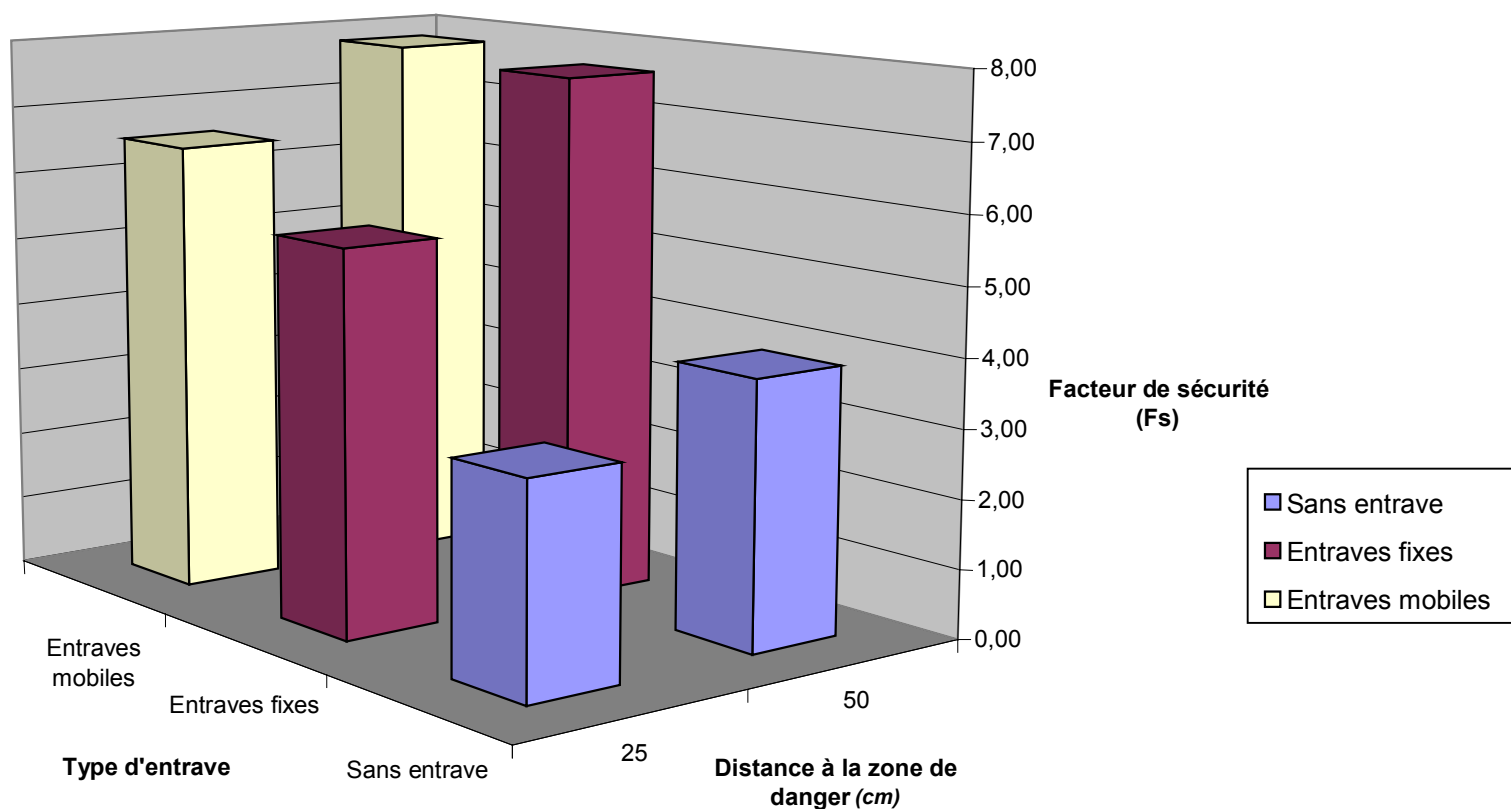
¹ La *variation des délais de sécurité* représente la différence entre le délai de sécurité que procure un type d'entrave installée, par rapport à celui assuré par un autre type d'entrave ou par l'absence d'entrave installée, et ce, pour une même distance entre les boutons de la commande bimanuelle et la zone dangereuse de la presse.

Par exemple $V_{S(Fixe / Sans entrave)} = T_{S(Fixe)} - T_{S(Sans entrave)} = 0,096$ ms, pour 25 cm et 0,119 ms, pour 50 cm.

² Le *rapport des facteurs de sécurité* représente le quotient de la valeur de l'un par rapport à celle de l'autre. Ainsi, en moyenne, l'usage d'une entrave mobile placée à 25 cm du point de pincement, par rapport à l'absence d'un tel dispositif, rendrait l'opération de la presse 2,16 fois plus sécuritaire.

Graphique A4- 3

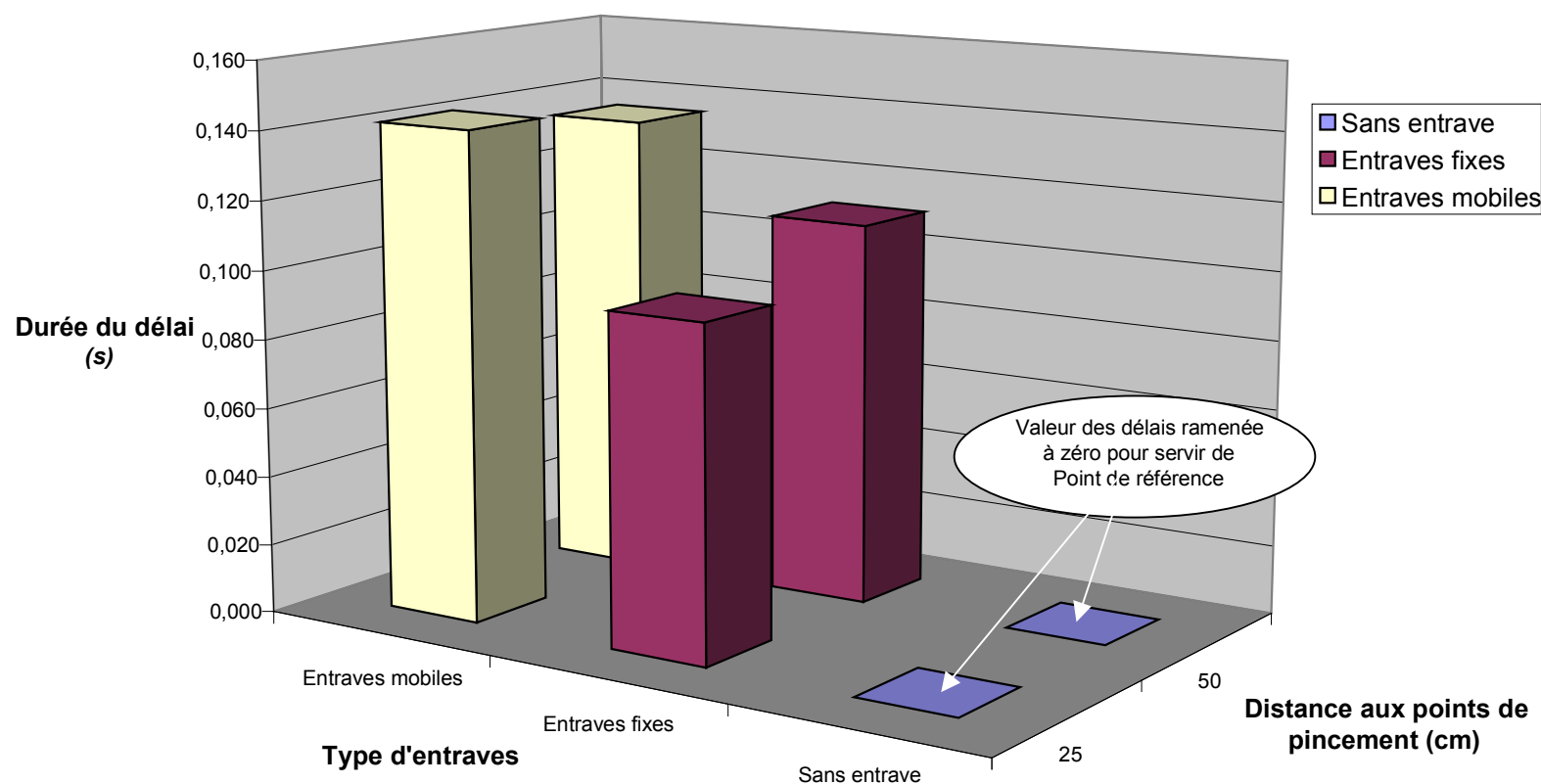
Facteurs de sécurité (F_s) * d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé



* Le facteur de sécurité (F_s) est défini par le rapport : Temps d'accès à la zone de danger / Temps d'arrêt du coulisseau

Graphique A4- 4

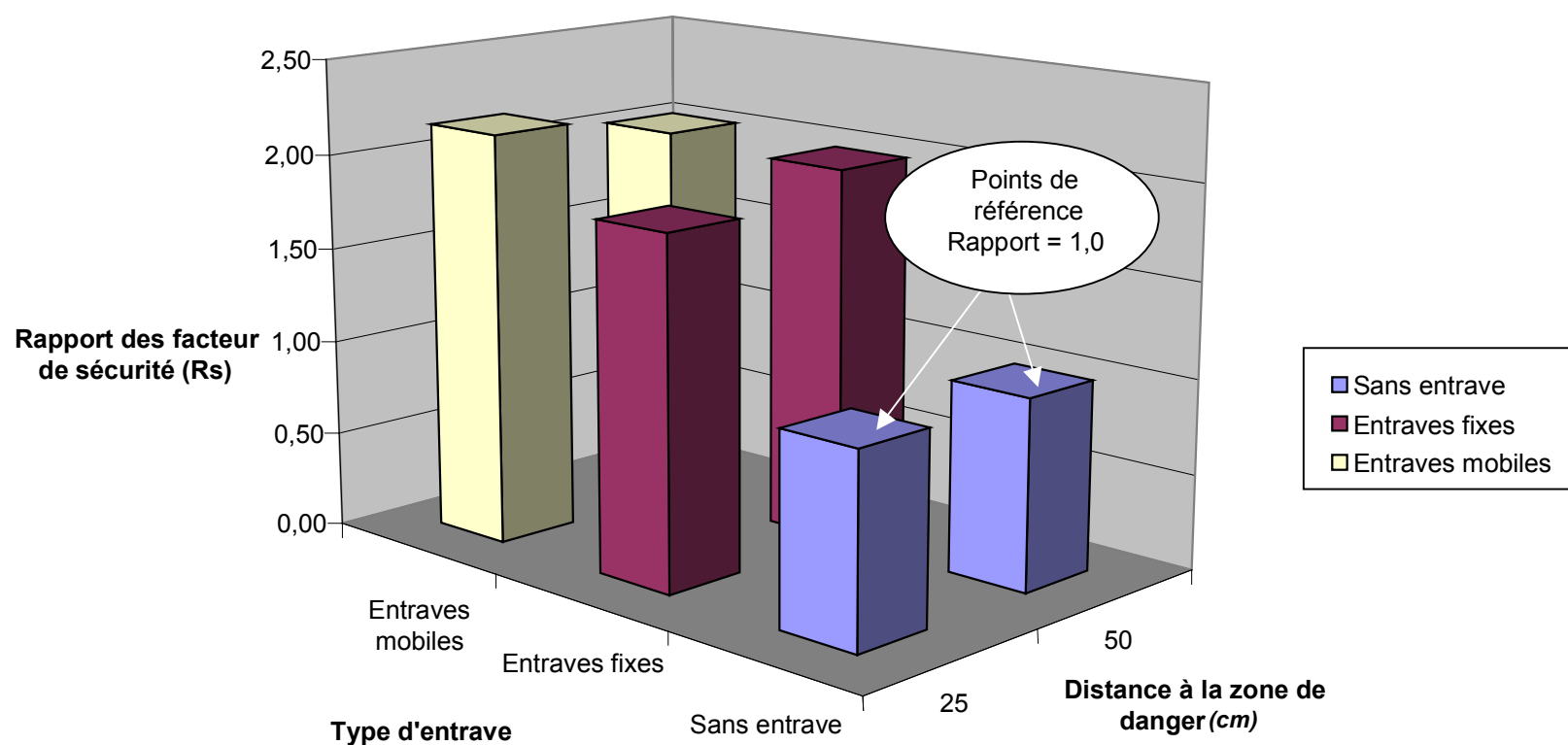
Variation des délais de sécurité (V_s)* d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé



* La variation des délais de sécurité représente la différence entre le délai de sécurité que procure un type d'entrave installée, par rapport à celui assuré lorsque aucune entrave n'est installée

Graphique A4- 5

Rapport des facteurs de sécurité (R_s) d'opération des presses à métaux en fonction du type d'entrave utilisé



* Le facteur de sécurité est défini par le rapport : Temps d'accès à la zone de danger / Temps d'arrêt du coulisseau
Le Rapport (ou ratio) des facteurs de sécurité représente le quotient de la valeur de l'un par rapport à celle l'autre (ici, *Sans entrave* est pris comme unité de référence).