

Étude sur la sécurité des machines lors des interventions en mode de vitesse ou d'efforts réduits – Rapport IRSST R-888 (2015)

Équipe de recherche :

Yuvinn Chinniah, ing., Ph. D. – Polytechnique Montréal

Barthélemy Aucourt, ing. – Polytechnique Montréal

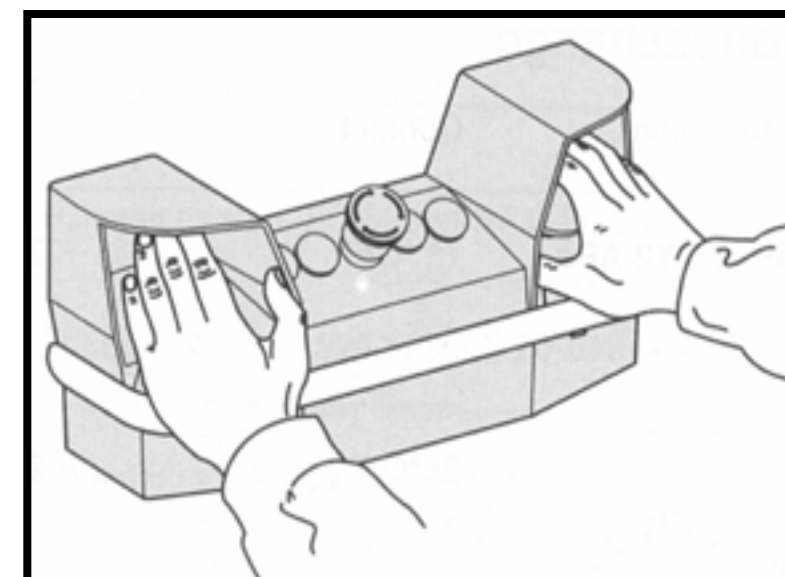
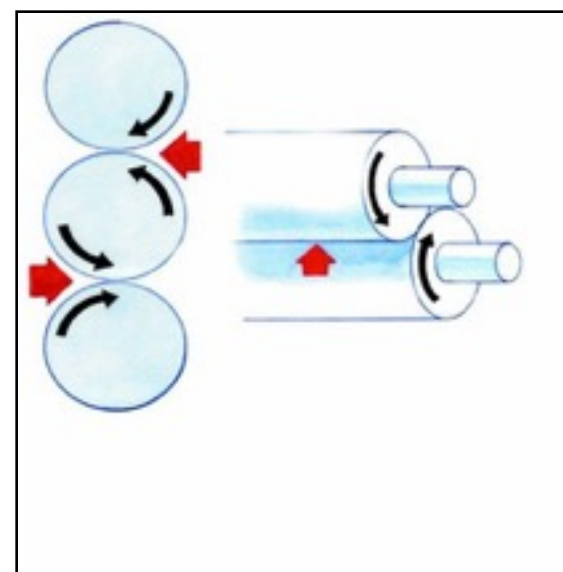
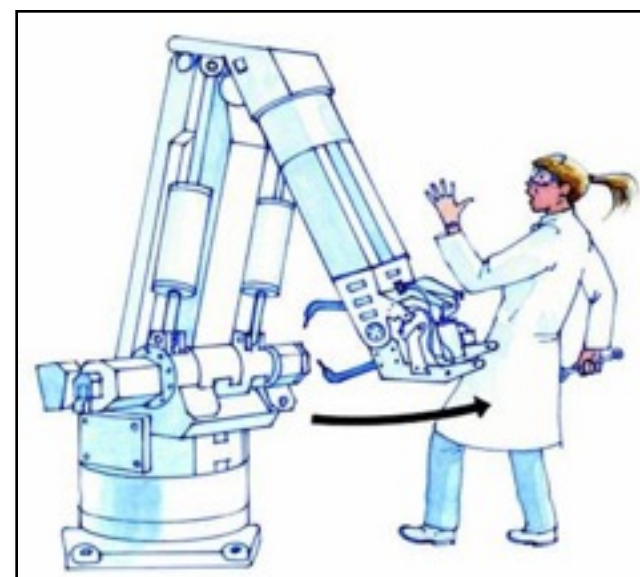
Réal Bourbonnière, ing. – Consultation Réal Bourbonnière

I. Mise en contexte

- Article 186 du RSST

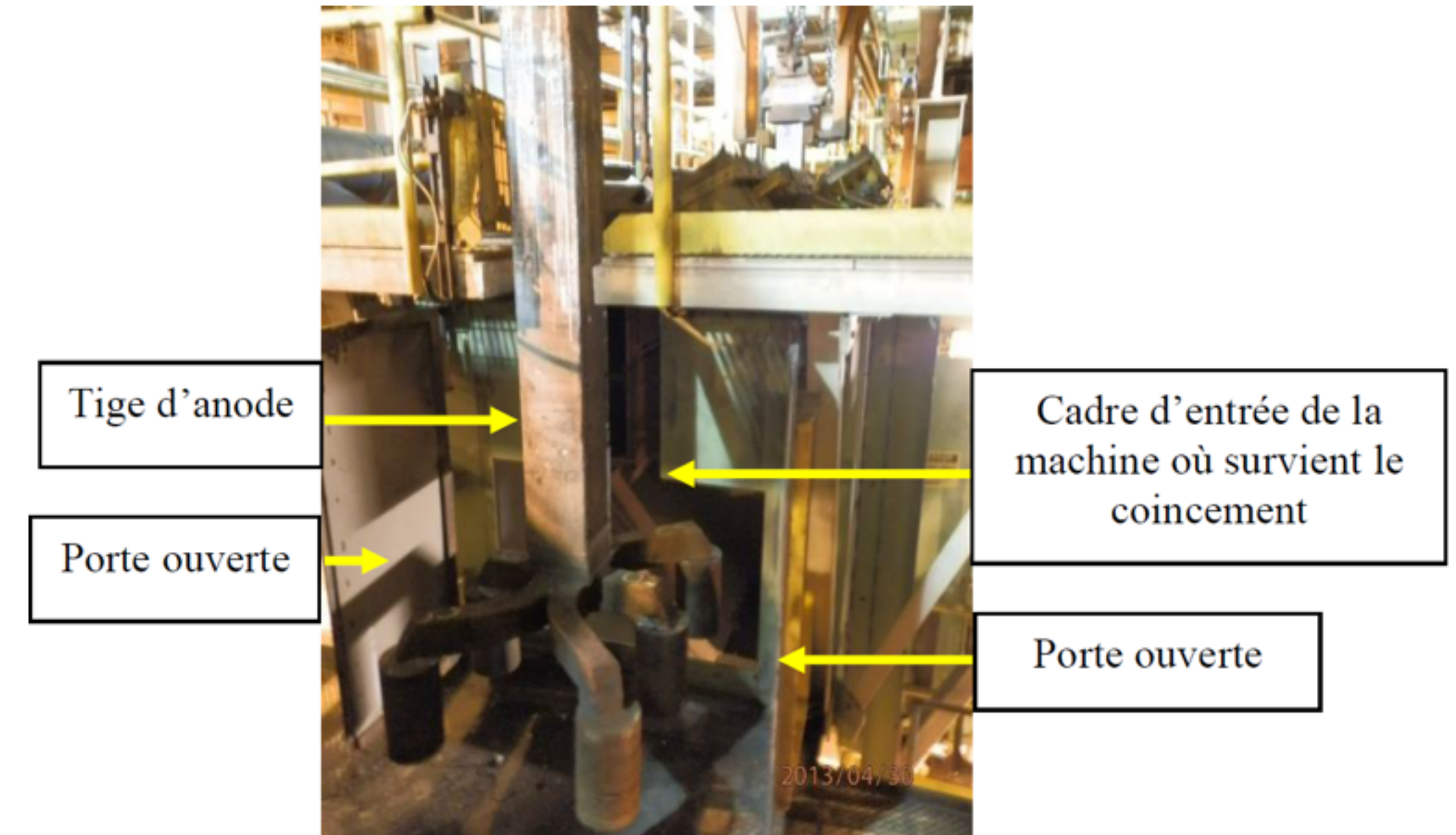
« Lorsqu'un travailleur doit accéder à la **zone dangereuse d'une machine** à des fins de **réglage, de déblocage, de maintenance, d'apprentissage ou de réparation, incluant la détection d'anomalie de fonctionnement**, et que, pour ce faire, il doit **déplacer ou retirer un protecteur, ou neutraliser un dispositif de protection**, la machine ne doit pouvoir être mise en marche qu'**au moyen d'un mode de commande manuel** ou que conformément à une procédure sécuritaire spécifiquement prévue pour permettre un tel accès. Ce mode de commande manuel ou cette procédure doit présenter les caractéristiques suivantes :

1. il rend **inopérant**, selon le cas, **tout autre mode de commande** ou toute autre procédure;
2. il ne permet le fonctionnement des éléments dangereux de la machine que par l'intermédiaire d'un **dispositif de commande nécessitant une action continue ou un dispositif de commande bimanuel**;
3. il ne permet le fonctionnement de ces éléments dangereux que dans des **conditions de sécurité accrue**, par exemple, **à vitesse réduite, à effort réduit, pas à pas ou par à-coups**. »



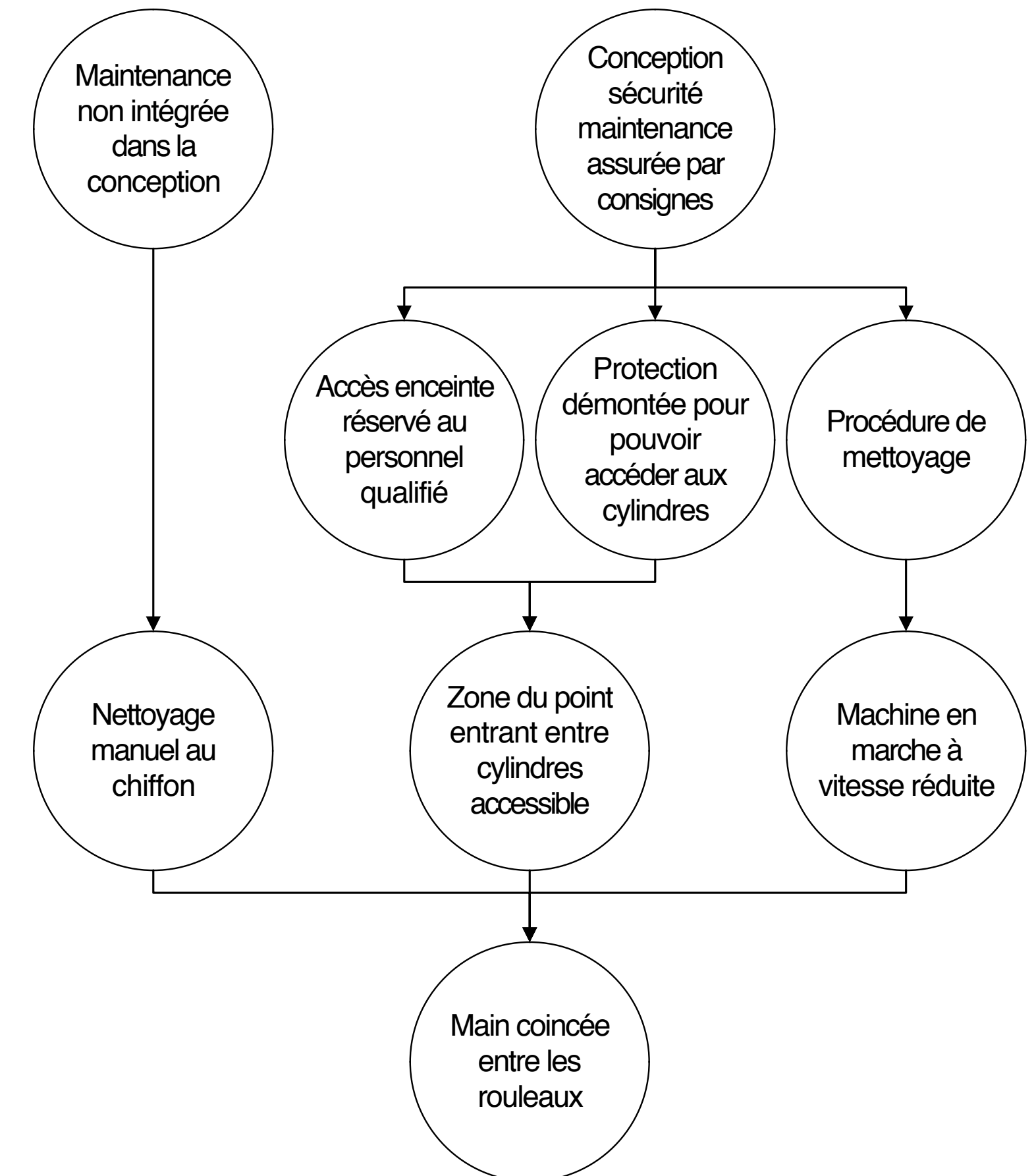
I. Mise en contexte

- Exemple d'accident mortel (Rapport d'enquête CSST)
 - Exemple d'accident mortel (Rapport d'enquête CSST)
 - Chariot (transportant anode) sur convoyeur aérien
 - Déblocage d'un chariot provoque l'avance du chariot suivant
 - Travailleuse entre les deux chariots coincée mortellement par l'avance du deuxième
 - Vitesse d'avance : 230 mm/s
(Comparaison vitesse réduite d'un robot : 250 mm/s)
 - à L'accident a eu lieu malgré la vitesse réduite



I. Mise en contexte

- Exemple d'accident grave (EPICEA)
 - Opération de nettoyage
 - Main coincée dans un angle rentrant
 - Vitesse réduite de 60 m/min à 10 m/min (167 mm/s) pour le nettoyage
- à L'accident a eu lieu malgré la vitesse réduite



I. Mise en contexte

- Questions soulevées :
 - Pourquoi une vitesse réduite est-elle suffisante dans certains cas, mais pas dans d'autres ?
 - Qu'est-ce qu'une vitesse réduite ou un effort réduit ?
 - Quels paramètres doit-on prendre en compte pour déterminer la valeur de vitesse ou d'effort réduit ?

II. Objectifs de recherche

- Premier objectif :
 - Faire un **bilan des connaissances** sur les modes de fonctionnement à *énergie réduite* et sur les recommandations des règles de l'art dans ce domaine
- Second objectif :
 - Comprendre la **mise en œuvre** de l'article 186 du RSST en observant, en usine, les interventions sur différentes machines

III. Méthode

- **Revue de la littérature (78 documents)**
 - Concentrée sur les machines connues pour utiliser des vitesses et énergies réduites (ex. : robots, machines à papier, machines d'usinage)
 - Normes, guides, articles scientifiques, rapports de recherche
 - Valeurs des vitesses et autres énergies réduites
 - Contexte d'utilisation (ex. : phénomène dangereux, commande utilisée, moyens de protection associés)

NATURE DU DOCUMENT	QUANTITÉ
Normes	51
Guides	14
Articles scientifiques	11
Rapports de recherche	2

III. Méthode

- **Visites en entreprise (15 interventions, 9 entreprises)**
 - Grille de collecte de données préalablement conçue à partir de la revue de la littérature et des objectifs
 - Observer comment l'article 186 est appliqué
 - Type de données recueillies
 - Valeur des énergies réduites utilisées
 - Justification et contexte entourant les interventions
 - Raisons des choix pour les valeurs d'énergie réduite
 - Facteurs pouvant influencer ces choix

IV. Résultats

- Valeurs de **vitesse réduite** de la littérature
 - Tableau de 65 lignes
 - 33 références

SECTEUR	MACHINE – ÉLÉMENT DE LA MACHINE (si précisé)	PRESCRIPTION DE VITESSE* (mm/s)	SOURCE
Imprimerie	Presse à imprimer	8	[9]
Imprimerie	Machine d'impression à feuilles de vernissage (sauf machines à sérigraphier)	8	[10]
Général	Système de fabrication intégré	33	[20]
Manufacturier	Centre d'usinage	33	[28]
Manufacturier	Centre d'usinage	83	[28]
Imprimerie	Machine à fabriquer des enveloppes et des pochettes – Groupe imprimant	100	[11]
Robots industriels	Robot	250	[39]
Industrie textile	Transport aérien des matériaux traités	250	[26]
Mines	Boulonneuse de toit	330	[41]
Imprimerie	Onduleuse – Empileur	1 500	[12]
...	...	...	...

IV. Résultats

- Valeurs d'effort réduit de la littérature
- Tableau de 33 lignes
- 17 références

SECTEUR	MACHINE – ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION D'EFFORT (N)	SOURCE
Imprimerie	Presse à platine à alimentation manuelle	20	[12]
Imprimerie	Presse à imprimer	50	[32]
Général	Général	75	[42]
Imprimerie	Plieuse-colleuse – Zone de pressage	100	[12]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	135	[44]
Général	Général	150	[42]
Imprimerie	Massicot droit – Presse papier	300	[30]
Imprimerie	Massicot droit – Presse papier Massicot droit – Dispositifs d'alimentation et de recette intégrés	500	[30]
Imprimerie	Plieuse-colleuse – Zone de pressage	500	[12]
...	...	...	...

IV. Résultats

- Valeurs de **pression réduite** de la littérature

DOMAINE	MACHINE – ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION DE PRESSION (N/CM ²)	SOURCE
Général	Général Machine d’emballage	10	[52] [53]
Général	Général Machine d’emballage	20	[52] [53]
Emballage	Cercleuse	25	[48]
Emballage	Machine de groupe et d’emballage secondaire	25	[59]
Général	Général Machine d’emballage	25	[52] [53]
Général	Général Machine d’emballage	30; 35; 45	[52] [53]
Général	Général	50	[42]
	Machine de groupe et d’emballage secondaire	50	[59]
Général	Général Machine d’emballage	50	[52] [53]
Général	Général Machine d’emballage	60; 70; 75; 80	[52] [53]

IV. Résultats

- Valeurs d'énergie réduite de la littérature

DOMAINE	MACHINE – ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION D'ÉNERGIE (J)	SOURCE
Bâtiment	Ascenseurs – Porte	3,5	[44]
Général	Général	4	[42]
Général	Général	4	[43]
Général	Général – Protecteurs mobiles	4	[45]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	4	[46]
Général	Général	10	[42]
Général	Général	10	[43]
Général	Général – Protecteurs mobiles	10	[45]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	10	[46]

IV. Résultats

- Tableau extrait de la norme NF EN 415-10 (issu d'une étude de l'IFA)

Partie du corps		Détail de la partie du corps	Force d'écrasement (N)	Force du choc (N)	Pression statique à la surface du corps (N/cm ²)
1. Tête et cou	1.1	Crâne/front	130	175	30
	1.2	Visage	65	90	20
	1.3	Cou (parties latérales/nuque)	145	190	50
	1.4	Cou (partie avant/larynx)	35	35	10
2. Tronc	2.1	Dos/épaules	210	250	70
	2.2	Cage thoracique	140	210	45
	2.3	Ventre	110	160	35
	2.4	Bassin	180	250	75
	2.5	Fesses	210	250	80
3. Membres supérieurs	3.1	Bras/articulation du coude	150	190	50
	3.2	Avant-bras/articulation du poignet	160	220	50
	3.3	Main/doigt	135	180	60
4. Membres inférieurs	4.1	Cuisse/genou	220	250	80
	4.2	Partie inférieure de la jambe	140	170	45
	4.3	Pieds/orteils/articulations	125	160	45

IV. Résultats

- **Moyens de protection complémentaires de la littérature**
 - Commande à action maintenue
 - Bouton d'arrêt d'urgence proche de la zone dangereuse
 - Ouverture/inversion automatique du mouvement
 - Espace de dégagement suffisant pour s'y réfugier
 - Dispositifs de validation
 - Alarmes sonores
 - Différents modes de fonctionnement activés par un bouton de sélection

IV. Résultats

- **Moyens de protection complémentaires de la littérature**
 - Formation
 - Positionnement du panneau de commande de sorte que la zone dangereuse y soit visible
 - Exigences pour la fiabilité du système de commande

IV. Résultats

- **Visites en entreprises**
 - 15 interventions observées sur différentes machines dans 9 entreprises
 - Dommages possibles : écrasement par un angle rentrant ou par d'autres pièces en mouvement, ou choc avec un bras de robot en mouvement
 - Mode de fonctionnement présent d'origine sur les machines ou ajouté par les utilisateurs

IV. Résultats

- Vitesses réduites utilisées sur différentes machines (1)

VISITE	SECTEUR	TYPE DE MACHINE	VITESSE RÉDUITE (MM/S)	AJOUTÉ PAR L'ENTREPRISE	PROTECTION CONTRE L'AUGMENTATION DE LA VITESSE
A	Fabrication	Centre d'usinage horizontal	$V_X = 27 \text{ mm/s}$ $V_Y = 86 \text{ mm/s}$ $V_Z = 70 \text{ mm/s}$	Non	Sans protection
B	Pâtes et papier	Machine à papier	$V1 = 333 \text{ mm/s}$ $V2 = 2533 \text{ mm/s}$	Non pour V1 Oui pour V2	Mot de passe (programmation)
C	Imprimerie	Presse à imprimer	Rotation = 33 mm/s Translation = 47 mm/s	Non	Mot de passe (programmation)
D1	Agroalimentaire	Presse à imprimer	167 mm/s Ou vitesse de production	Oui	Sans protection
D2	Agroalimentaire	Machine de transformation du carton (extrudeuse)	167 mm/s 1667 mm/s	Oui	Sans protection
D3	Agroalimentaire	Machine de transformation du carton (extrudeuse)	2500 mm/s 133 mm/s	Oui	Sans protection

IV. Résultats

- Vitesses réduites utilisées sur différentes machines (2)

VISITE	SECTEUR	TYPE DE MACHINE	VITESSE RÉDUITE (MM/S)	AJOUTÉ PAR L'ENTREPRISE	PROTECTION CONTRE L'AUGMENTATION DE LA VITESSE
D4	Agroalimentaire	Machine de récupération du papier (dérouleur/enrouleur)	133 mm/s	Oui	Sans protection
E	Imprimerie	Presse à imprimer	83 mm/s	Non	Par conception
F1	Horticulture et agroalimentaire	Robot 6 axes (palettiseur)	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
F2	Horticulture et agroalimentaire	Robot 6 axes (palettiseur)	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
F3	Horticulture et agroalimentaire	Robot 6 axes (ensacheur)	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
F4	Horticulture et agroalimentaire	Robot parallèle (trieur)	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
G	Agroalimentaire	Robot 6 axes	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
H	Agroalimentaire	Robot 6 axes	250 mm/s ou moins	Non	Par conception
I	Imprimerie	Presse à imprimer	38 to 76 mm/s) Crawl 167 mm/s	Non	Par conception

IV. Résultats

- Interventions recensées (1)

MACHINE	INTERVENTION	DURÉE APPROXIMATIVE	VITESSE RÉDUITE (VR) OU DE PRODUCTION (VP)	JUSTIFICATION DONNÉE POUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉLÉMENTS DANGEREUX
Centre d'usinage horizontal	Vérification des références	1 h	VR	Nécessité de placer l'outil à des positions précises pour les mesures, pendant qu'on contrôle et lit les mesures sur l'outillage
	Jeux fonctionnels	30 min à 12 h	VR	
	Mesures (installation et calibrage du matériel de mesure)	30 min à 3 h	VR	
Bobineuse	Enfilage du papier	10 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Contrôle qualité du papier	2 min	VR	Contrôle par transparence d'une certaine longueur de la bande de papier
Extrudeuse	Enfilage manuel du papier	30 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Débloquer les couteaux, replacer la cannelle	3-4 min	VP	Pour ne pas perdre trop de temps pour une opération très brève
	Ajustement de l'apprêt	5 min	VR ou VP	Pour que l'apprêt ne colle pas
	Ajustements divers	2 à 4 min	VP	Les ajustements ne sont pas bons s'ils sont effectués à une autre vitesse que celle de production
	Nettoyage de rouleaux	15 min	VR	Pour avoir accès à toute la surface du rouleau

IV. Résultats

- Interventions recensées (2)

MACHINE	INTERVENTION	DURÉE APPROXIMATIVE	VITESSE RÉDUITE (VR) OU DE PRODUCTION (VP)	JUSTIFICATION DONNÉE POUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉLÉMENTS DANGEREUX
Dérouleur / enrouleur	Enfilage manuel du papier	10 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Repérage des défauts	30 - 45 min	VR	Besoin d'observer la bande de papier pendant qu'elle est déroulée pour repérer les défauts dans le papier
Presse à imprimer	Enfilage manuel du papier	30 min à 1 h	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Nettoyage de rouleaux	15 min	VR	Pour avoir accès à toute la surface du rouleau
	Nettoyage de rouleaux	Quelques secondes	VP	Pour ne pas perdre trop de temps pour une opération très brève
	Ajustements liés au format	1-2 min	VR	Pour vérifier les ajustements
	Maintenance des rouleaux distributeurs	Jusqu'à 2 h	VR	Pour vérifier l'épaisseur et la répartition d'encre entre deux rouleaux
	Déblocage	30 min à 1 h 30	VR	Mouvement nécessaire pour débloquer
	Changement de blanchet	30 min	VR	Pour enrouler le blanchet autour du rouleau
	Réglage de « l'œil magique »	Jusqu'à quelques heures	VR	Vérification des caméras qui « lisent » le papier qui défile

IV. Résultats

- Types de commandes utilisées lors des observations
 - Télécommande filaire avec roulette (un cran = un pas, tourner en continu = action maintenue)
 - Panneau de commande principal (avance continue)
 - Panneau de commande local (action maintenue)
 - Télécommande filaire (action maintenue)
 - Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)



IV. Résultats

- Types de commandes utilisées lors des observations
 - Pédale (action maintenue)



V. Discussion

- Pas de valeur unique d'énergie réduite sécuritaire
- Récapitulatif des valeurs d'énergie réduite

VITESSE (mm/s) LITTÉRATURE	8; 10; 17; 25; 30; 33; 50; 67; 80; 83; 100; 133; 140; 152; 167; 170; 200; 250; 300; 330; 1 500
VITESSE (mm/s) MESURÉE / UTILISÉE EN USINES	27; 33; 38; 47; 70; 76; 83; 86; 133; 167; 250; 333; 1 667; 2 500; 2 533
EFFORT (N)	20; 35; 50; 65; 70; 75; 100; 110; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 160; 180; 200; 210; 220; 300; 500; 600
ÉNERGIE (J)	3,5; 4; 10
PRESSIION (N/cm²)	10; 20; 25; 30; 35; 45; 50; 60; 70; 75; 80

V. Discussion

- Facteurs d'influence identifiés
 - Accessibilité de la zone dangereuse et dimensions anthropométriques
 - Hauteur et espace de dégagement, qualité du sol
 - ex. : INRS ND2138

Petits centres d'usinage à grande vitesse : $V = 2 \text{ m/min}$

Grands centres d'usinage à grande vitesse : $V = 4 \text{ m/min}$

cf. distances à parcourir et espace de dégagement

à **Un sol propre et non encombré** ainsi qu'un **grand espace de dégagement**
augmentent la **possibilité d'évitement**

V. Discussion

- Facteurs d'influence identifiés
 - **Partie du corps** exposée
 - Valeurs limites différentes
 - **Forme et dimension** des zones de contacts
 - Plus la surface de contact est petite, plus la pression de contact sera élevée
 - ex. : NF EN 1010-2, ANSI B65.1
 - Surface de contact plane : 150 N
 - Surface de contact anguleuse : 50 N

V. Discussion

- Facteurs d'influence identifiés
 - **Énergie cinétique** des éléments en mouvement
 - Temps d'arrêt des éléments le plus court possible
 - Plus la vitesse est grande, plus le dommage sera important en cas de choc ou d'entraînement
 - **Temps de réponse et distance d'arrêt**
 - Affecte la possibilité d'évitement et la limitation du dommage
 - ex. : en cas d'entraînement dans un angle rentrant, plus le temps d'arrêt est long, plus le dommage sera important

V. Discussion

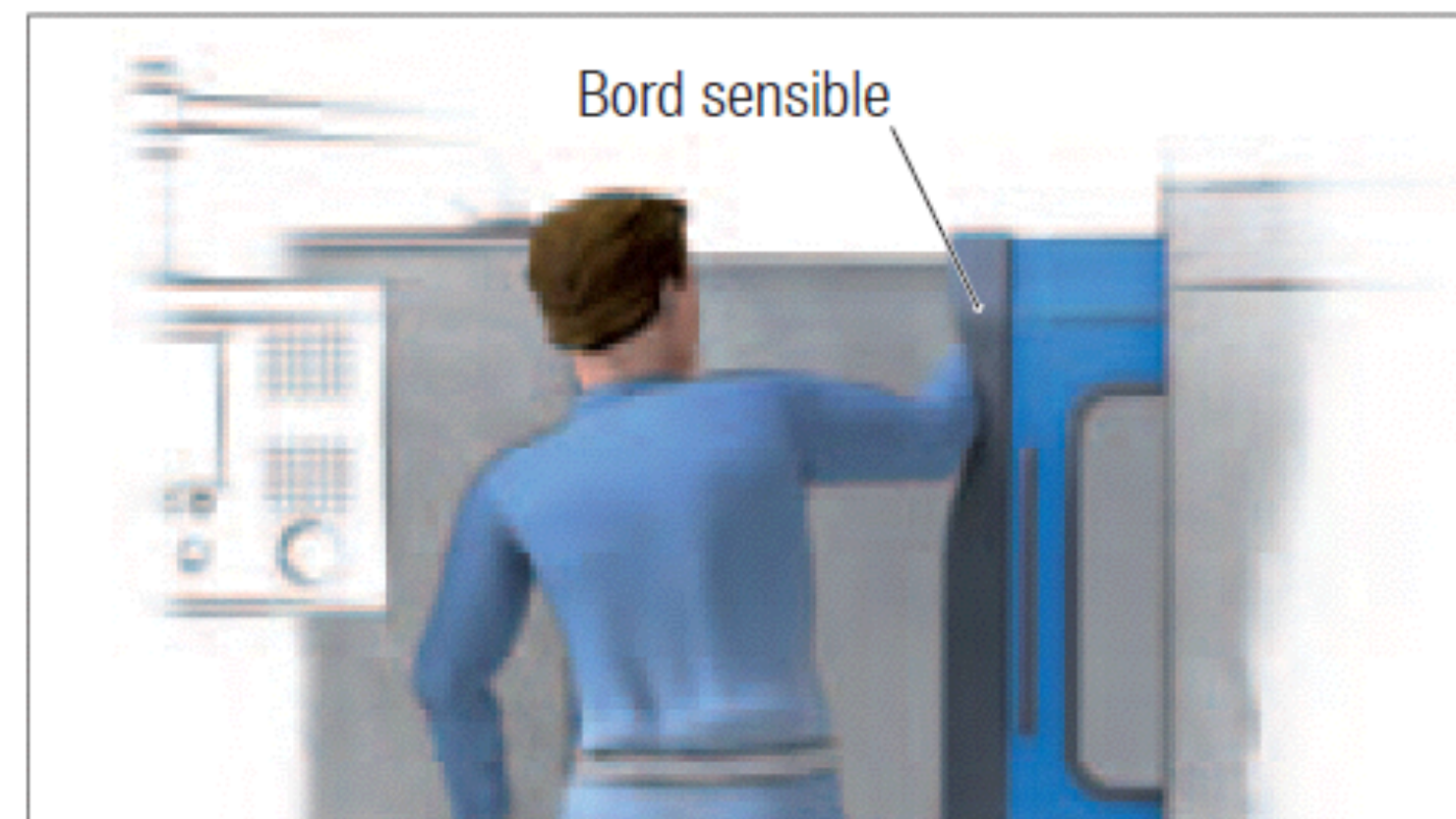
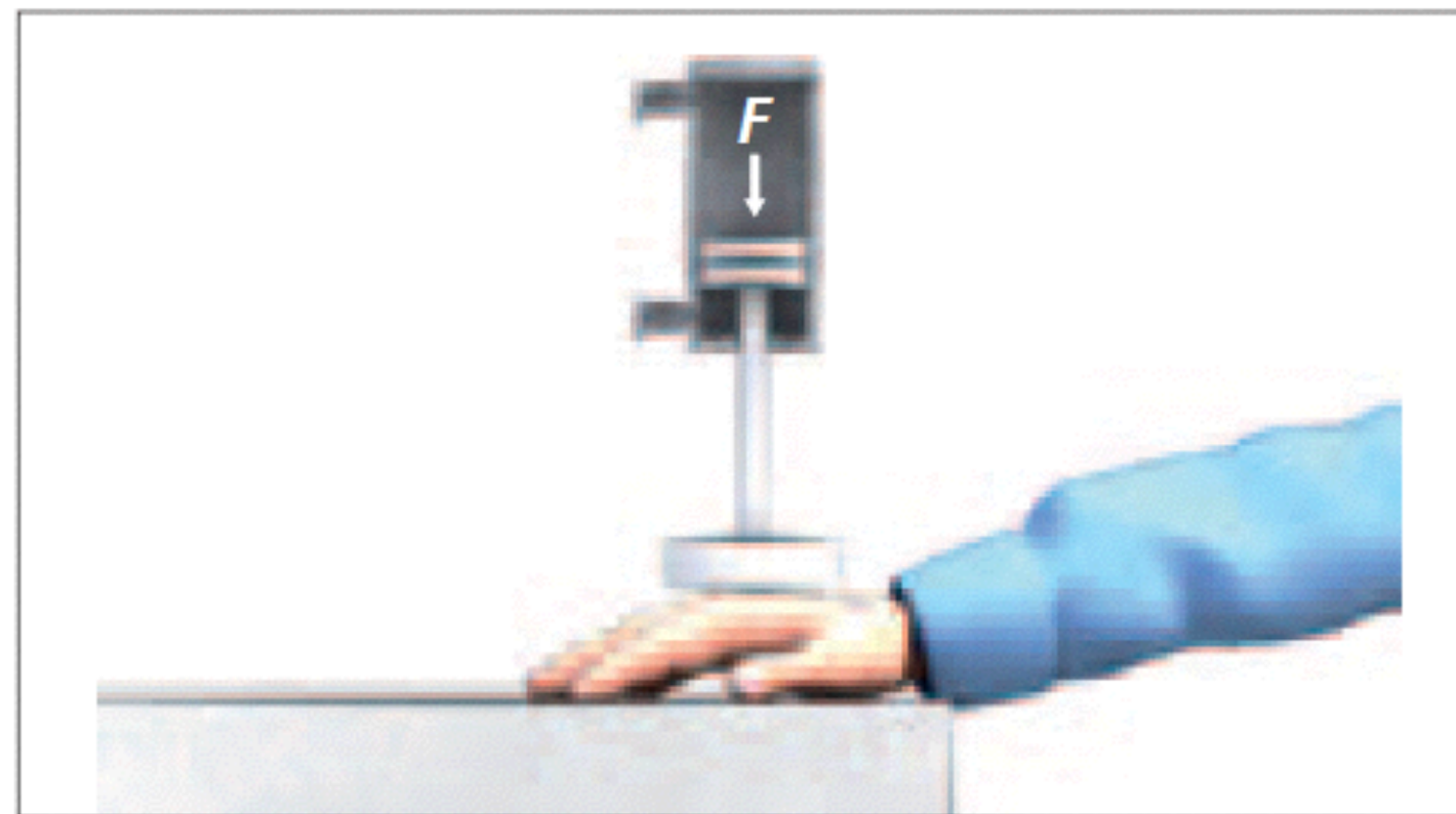
- Facteurs d'influence identifiés
 - **Présence ou non de protecteurs** (fixes, avec verrouillage ou interverrouillage)
 - ex. : observation dans une entreprise pour un nettoyage de rouleau
2 500 mm/s en présence d'un protecteur d'angle rentrant
133 mm/s ailleurs sur la même machine en présence d'un cylindre presseur et d'un angle rentrant
 - Valeurs plus grandes en présence d'un **dispositif d'arrêt d'urgence** facilement accessible

V. Discussion

- Facteurs d'influence identifiés
- **Inversion automatique du mouvement**
 - ex. : ISSA, 1994, INRS ED6122

Avec inversion du mouvement : 150 N, 50 N/cm², 10 J

Sans inversion du mouvement : 50 N, 25 N/cm², 4 J



(Illustration : Guide ED6122 de l'INRS)

V. Discussion

- Facteurs d'influence identifiés
- **Type de commande**
 - Une commande à action maintenue ou une commande bimanuelle plutôt qu'un mode d'avance continue
 - ex. : NF EN 1010-5
 - Action maintenue : 83 mm/s
 - Avance continue : 8,3 mm/s

V. Discussion

- Constatations à la suite des visites
 - La **vitesse réduite** est plus utilisée que la réduction d'autres types d'énergies
 - Le **choix** de la vitesse réduite dépend de certaines contraintes techniques liées à :
 - la **qualité du produit**
 - l'**efficacité des ajustements**
 - la **durée de l'intervention**

V. Discussion

- La réduction des énergies permet de :
 - Réduire le dommage possible
 - Effort réduit = dommage réduit
 - Vitesse réduite = énergie cinétique réduite = dommage réduit
 - Augmenter la possibilité d'évitement du dommage
 - Vitesse réduite = plus de temps pour réagir
 - Réduire l'exposition au phénomène dangereux
 - ex. : Vitesse réduite de rotation d'une bobine de papier = suppression du phénomène dangereux de fouettement en cas de bris de la bande de papier

V. Recommandations

- Utiliser les valeurs prescrites par les normes lorsqu'une norme existe pour la machine et la situation étudiée
- Extrapoler les valeurs **avec prudence**
 - Chaque valeur est liée à un contexte précis
 - Faire une analyse et une comparaison très rigoureuses des situations pour justifier le choix d'une valeur
- Il est primordial que les **3 conditions décrites** dans l'article 186 soient respectées simultanément
- Respecter une 4^e condition décrite dans les autres réglementations

« (...) empêcher toute mise en œuvre des fonctions dangereuses par une action volontaire ou involontaire sur les capteurs de la machine. » (Directive 2006/42/CE)

VI. Conclusion

- Pour la première fois une étude théorique et pratique des interventions en mode de fonctionnement à énergies réduites
 - Extrait et interprétation d'une importante quantité de données sur ce que constituent les vitesses, efforts, énergies et pressions réduites
 - Facteurs d'influence et leur impact ont été identifiés
 - Entreprises utilisent principalement des vitesses réduites
 - Autres conditions de l'article 186 ne sont pas toujours respectées
 - Certaines interventions se font à la vitesse de production
 - Machines modifiées pour ajouter ce mode de fonctionnement à énergie réduite

VI. Conclusion

- Essor des robots collaboratifs
- La question des vitesses et efforts réduits est au cœur de la sécurité des cobots
- **Retombées**
 - Commentaires et suggestions pour l'élaboration d'une fiche technique : *Intervention sur des machines en imprimerie – L'utilisation de la vitesse réduite*. El Ahrache, K., ASP Imprimerie, 2014
 - Article de revue scientifique **soumis** à la revue *Safety Science*