

Sécurité des machines

Prévention des phénomènes dangereux
d'origine mécanique



Protecteurs fixes et
distances de sécurité



CSST

irsst

Sécurité des machines

Prévention des phénomènes dangereux d'origine mécanique

Protecteurs fixes et
distances de sécurité

Recherche et rédaction

Laurent Giraud, Ph. D., ingénieur stagiaire, chercheur, Service de la recherche, IRSST

Gestion de projet

Benoît Laflamme, ingénieur, conseiller en prévention-inspection, Direction de la prévention-inspection, CSST

Collaboration

Jean Desputeau, inspecteur, Direction régionale de l'Île-de-Montréal, CSST

Donald Duchesne, ingénieur, conseiller en prévention-inspection, Direction de la prévention-inspection, CSST

Gilles Gagnon, ingénieur, conseiller en prévention-inspection, Direction de la prévention-inspection, CSST

Pierre Guay, ingénieur, chef d'équipe en prévention-inspection, Direction régionale de la Yamaska, CSST

Benoît Laflamme, ingénieur, conseiller en prévention-inspection, Direction de la prévention-inspection, CSST

André Paillé, ingénieur, inspecteur, Direction régionale de Lanaudière, CSST

Conrad Trudel, ergonomiste, chef d'équipe en prévention-inspection, Direction régionale de Longueuil, CSST

François Trudel, ingénieur, inspecteur, Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, CSST

Coordination

Catherine Bérubé, conseillère en communication, Direction des communications, CSST

Révision linguistique

Claudette Lefebvre, Direction des communications, CSST

Correction des épreuves

Fanny Provençal

Conception graphique et infographie

Diane Urbain, Direction des communications, CSST

Illustrations

Steve Bergeron

Suivi d'impression et de distribution

Marie-France Pineault, Direction des communications, CSST

Remerciements

Nous tenons à remercier l'INRS de nous avoir autorisés à utiliser la brochure ED 807 intitulée *Sécurité des machines et des équipements de travail – Moyens de protection contre les risques mécaniques*, qui a servi de fondement scientifique au présent ouvrage.

Nous tenons également à remercier M. Réal Bourbonnière, ing., de sa contribution à la rédaction de la section des principes généraux de gestion du risque inspirée du guide R-405 de l'IRSST, intitulé *Guide de conception des circuits de sécurité : introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1:1999* (version corrigée).

© Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2008

ISBN 978-2-550-51563-0

Avant-propos

Le présent guide traite principalement de la prévention des phénomènes dangereux d'origine mécanique. On y décrit les méthodes de suppression à la source des phénomènes dangereux ou de réduction de ces phénomènes ainsi que la façon de s'en protéger en utilisant des protecteurs fixes.

Les principes de réduction du risque ou de protection par éloignement présentés dans le guide sont généraux et conviennent à la majorité des machines. Pour certaines machines (par exemple, les convoyeurs, les presses à métaux, les foreuses, les machines à caoutchouc, etc.), il convient, avant d'appliquer les solutions génériques proposées dans ce guide, de consulter la réglementation québécoise, les normes propres à ces machines (ISO, CSA, ANSI, etc.) ou des guides techniques publiés par la CSST, comme les guides *Sécurité des convoyeurs à courroie*, ou par d'autres organismes (ASP, INRS, IRSST, etc.), qui peuvent fournir des précisions sur la manière d'assurer la sécurité de ces machines.

Ce guide ne constitue pas un recueil exhaustif de solutions, mais il reprend un certain nombre des principes de protection connus à ce jour. Pour plus d'information sur la sécurité des machines, se reporter à la bibliographie à la fin de l'ouvrage ou consulter le site Web : www.centredoc.csst.qc.ca.

Table des matières

Introduction 9

Section 1 Généralités 11

- 1.1 Plan du guide 11
- 1.2 Lois et règlements en vigueur 12
- 1.3 Définitions de termes utilisés dans le guide 14

Section 2 Principes généraux de gestion du risque 19

- 2.1 Appréciation du risque 20
 - 2.1.1 Analyse du risque 20
 - 2.1.2 Évaluation du risque 23
- 2.2 Réduction du risque 24
 - 2.2.1 Élimination du phénomène dangereux et réduction du risque 24
 - 2.2.2 Protecteurs et dispositifs de protection 24
 - 2.2.3 Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle 25
 - 2.2.4 Formation et information 25
 - 2.2.5 Vérification du résultat final 25

Section 3 Protecteurs 27

- 3.1 Protecteurs fixes 28
- 3.2 Choix du type de protecteurs 30

Section 4 Protection contre les risques d'écrasement 31

- 4.1 Protection par écartement minimal entre les pièces mobiles 31
- 4.2 Protection par limitation des forces et des niveaux d'énergie des pièces mobiles 33

Section 5 Protection par éloignement 35

- 5.1 Atteinte vers le haut 35
- 5.2 Atteinte par-dessus un protecteur fixe de maintien à distance 36
- 5.3 Atteinte à travers une des ouvertures d'un protecteur 38
 - 5.3.1 Ouvertures dans le protecteur 38
 - 5.3.2 Protection par tunnel 40
 - 5.3.3 Limitation du mouvement 41
- 5.4 Atteinte par-dessous un protecteur 41
 - 5.4.1 Membres inférieurs et supérieurs 42
 - 5.4.2 Membres inférieurs seulement 43
 - 5.4.3 Limitation du mouvement 43

Section 6 Protection des angles rentrants 45

- 6.1 Formation des angles rentrants 45
- 6.2 Délimitation de la zone d'entraînement 47
- 6.3 Généralités sur l'utilisation des protecteurs fixes d'angle rentrant 49
 - 6.3.1 Protection de deux cylindres en contact 50
 - 6.3.2 Protection de deux cylindres sans contact 51
 - 6.3.3 Protection d'un cylindre proche d'une partie fixe 51
 - 6.3.4 Protection d'un cylindre en contact avec une surface plane fixe 52
 - 6.3.5 Protection d'un cylindre en contact avec une courroie ou une partie plane mobile 52

Annexes

- Annexe A Aide-mémoire : phénomènes dangereux 53
- Annexe B Annexe B de la norme ISO 14120:2002 59
- Annexe C Figure 3 de la norme CSA Z432-04 61
- Annexe D Exemples d'utilisation des tableaux 5-1 et 5-2 63

Références 67

Bibliographie 69

Figure I	Hiérarchie de réduction du risque	9
Figure 1	Emplacement possible de la zone dangereuse	11
Figure 2-1	Gestion de réduction du risque	19
Figure 2-2	Éléments du risque	21
Figure 2-3	Logigramme de risque	21
Figure 3-1	Protecteur fixe enveloppant	28
Figure 3-2	Protecteur fixe de maintien à distance	29
Figure 3-3	Protecteur fixe d'angle rentrant	29
Figure 4-1	Écartements minimaux pour éviter les risques d'écrasement	31
Figure 4-2	Modifications possibles d'une vis sans fin pour protéger la main seulement	32
Figure 4-3	Écartement minimal entre le robot et le protecteur (zone de refuge prévue dans l'enceinte de sécurité)	32
Figure 4-4	Protection par limitation des forces et des niveaux d'énergie des pièces mobiles	34
Figure 5-1	Emplacement possible de la zone dangereuse	35
Figure 5-2	Atteinte vers le haut	35
Figure 5-3	Atteinte par-dessus un protecteur	36
Figure 5-4	Atteinte à travers un protecteur	38
Figure 5-5	Forme des ouvertures dans les protecteurs (fente, carré ou cercle)	38
Figure 5-6	Sécurimètre	40
Figure 5-7	Ouverture irrégulière	40
Figure 5-8	Protection par tunnel	40
Figure 5-9	Protection par éloignement d'une vis sans fin	41
Figure 5-10	Broyeur de plastique muni de chicanes	41
Figure 5-11	Atteinte par-dessous un protecteur	41
Figure 6-1	Angle rentrant formé par deux cylindres en contact	45
Figure 6-2	Angles rentrants formés par deux cylindres sans contact (identiques, ayant un revêtement différent ou un diamètre différent)	45
Figure 6-3	Angle rentrant formé par un cylindre proche d'un objet fixe	46
Figure 6-4	Angle rentrant formé par l'enroulement du matériel	46
Figure 6-5	Utilisation d'un cylindre escamotable à la jonction de deux convoyeurs	46
Figure 6-6	Périmètre de la zone d'entraînement	47
Figure 6-7	Angle rentrant formé par deux cylindres en contact	47
Figure 6-8	Angle rentrant formé par un cylindre en contact avec une courroie	48
Figure 6-9	Angle rentrant formé par deux cylindres en contact avec une bande	48
Figure 6-10	Angle rentrant formé par deux cylindres sans contact	49
Figure 6-11	Protecteur d'angle rentrant – Espacement et géométrie	49
Figure 6-12	Protecteur d'angle rentrant pour deux cylindres en contact	50
Figure 6-13	Prévention à l'étape de la conception pour deux cylindres sans contact	51
Figure 6-14	Prévention à l'étape de la conception pour un cylindre et une partie fixe	51
Figure 6-15	Protecteurs d'angle rentrant pour un cylindre en contact avec une surface plane fixe	52
Figure 6-16	Protecteurs d'angle rentrant pour un cylindre en contact avec une courroie	52

Figure B	Diagramme pour le choix des protecteurs en fonction du nombre et de la localisation des points phénomènes dangereux	59
Figure C	Lignes directrices pour le choix des mesures de protection contre les phénomènes dangereux engendrés par des pièces mobiles	61
Figure D-1	Protecteur fixe de maintien à distance – Exemple 1	64
Figure D-2	Protecteur fixe de maintien à distance – Exemple 2	65

Liste des tableaux

Tableau 1	Lois et règlements en vigueur	12
Tableau 4	Forces et niveaux d'énergie maximaux	34
Tableau 5-1	Risques élevés – Distances de sécurité en cas d'atteinte possible par-dessus un protecteur	37
Tableau 5-2	Risques faibles – Distances de sécurité en cas d'atteinte possible par-dessus un protecteur	37
Tableau 5-3	Ouverture maximale en fonction de la distance de sécurité « ds »	39
Tableau 5-4	Distances de sécurité en cas d'atteinte possible par-dessous un protecteur (membres inférieurs uniquement)	42

Introduction

Lorsque les risques mécaniques liés aux machines (voir l'aide-mémoire à l'annexe A) ne peuvent pas être supprimés par prévention intrinsèque, ils doivent alors être réduits à un niveau acceptable ou les phénomènes dangereux qui les causent doivent être isolés des travailleurs par des protecteurs qui permettent de respecter des distances de sécurité minimales.

La plupart des risques liés aux phénomènes dangereux d'origine mécanique peuvent être réduits à des forces ou à des niveaux d'énergie acceptables (voir le tableau 4 au point 4.2) en appliquant une stratégie de réduction du risque (voir la figure I). Si c'est impossible, il faut isoler les phénomènes dangereux des personnes à l'aide de protecteurs qui maintiennent une distance de sécurité entre la zone dangereuse et ces dernières, ce qui a pour principal effet de réduire l'accès à la zone dangereuse.

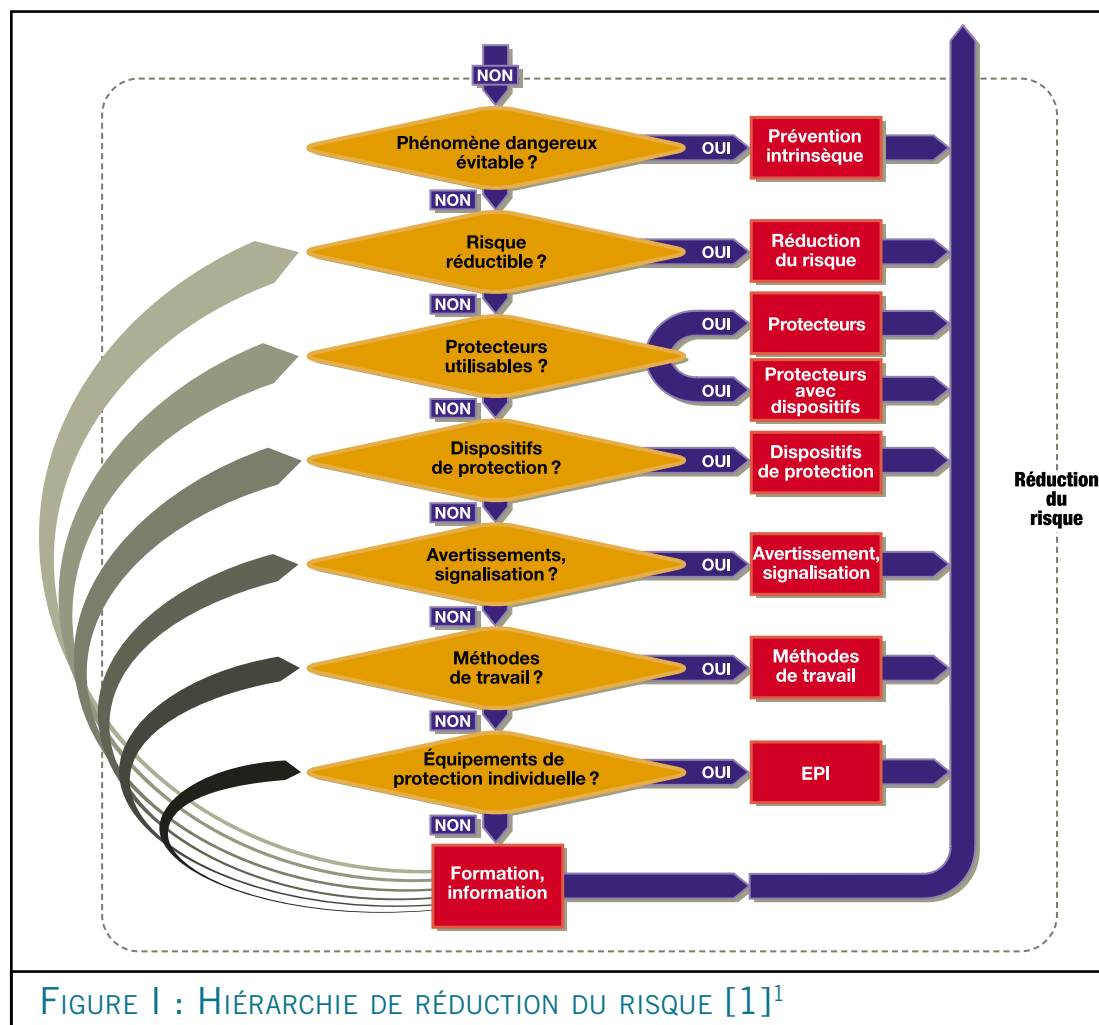


FIGURE I : HIÉRARCHIE DE RÉDUCTION DU RISQUE [1]¹

Les principaux facteurs à prendre en compte pour que des protecteurs soient efficaces sont :

- ▶ l'accessibilité de la zone dangereuse par les différentes parties du corps humain ;
- ▶ les dimensions anthropométriques des différentes parties du corps humain ;
- ▶ les dimensions des zones dangereuses ainsi que leur position dans l'espace et par rapport au sol ou par rapport à la plateforme de travail.

1. Dans ce guide, les renvois sont numérotés entre crochets [] et la liste des références se trouve à la fin.

Section I

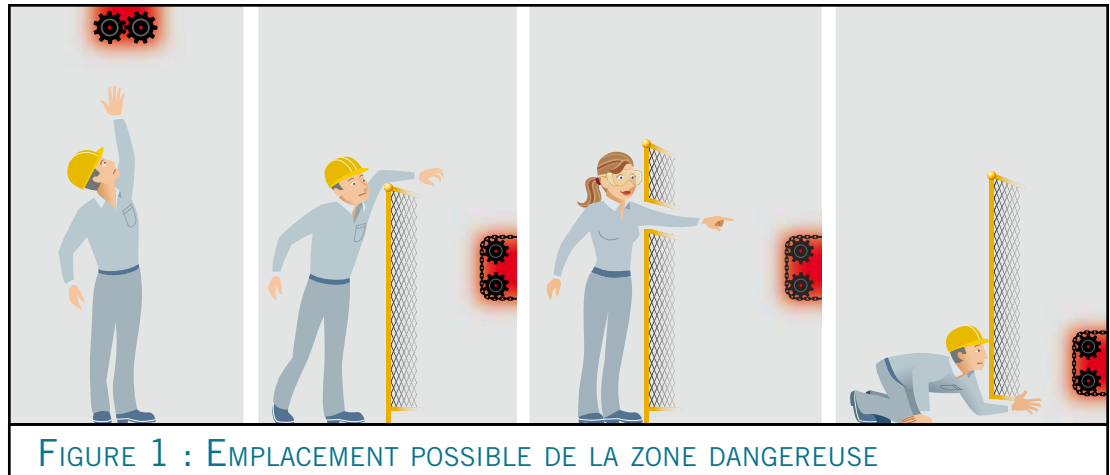
Généralités

La liste des lois et des règlements s'appliquant à la sécurité des machines permet de situer la prévention des phénomènes dangereux d'origine mécanique dans un contexte législatif. La série de définitions inspirées de normes a pour objectif de faciliter la compréhension des notions abordées dans ce guide.

1.1 Plan du guide

Après les principes généraux de réduction du risque, brièvement expliqués à la section 2, les principes de protection à l'aide de protecteurs sont traités à la section 3, puis les risques d'écrasement sont exposés à la section 4. Ensuite, les différentes situations dans lesquelles le principe de la protection par éloignement s'applique (voir la figure 1) sont abordées.

- ▶ La zone dangereuse, qui se trouve en hauteur, est-elle accessible par le dessous ? (Voir le point 5.1.)
- ▶ L'accès à la zone dangereuse est-il possible par-dessus le protecteur ? (Voir le point 5.2.)
- ▶ L'accès à la zone dangereuse est-il possible à travers une des ouvertures du protecteur ? (Voir le point 5.3.)
- ▶ L'accès à la zone dangereuse est-il possible par-dessous le protecteur ? (Voir le point 5.4.)



Enfin, la protection contre certains phénomènes dangereux précis, comme les risques de happement ou d'entraînement dans des angles rentrants, est traitée à la section 6.

1.2 Lois et règlements en vigueur

Au Québec, l'article 63 de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* (L.R.Q., c. S-2.1) prévoit que : « Nul ne peut fabriquer, fournir, vendre, louer, distribuer ou installer un produit, un procédé, un équipement, un matériel, un contaminant ou une matière dangereuse à moins que ceux-ci ne soient sécuritaires et conformes aux normes prescrites par le règlement. »

De plus, les machines peuvent compromettre la sécurité des personnes. À ce sujet, la *Loi sur les ingénieurs* (L.R.Q., c. I-9) indique notamment que « les ouvrages ou équipements industriels impliquant la sécurité du public ou des employés » sont inclus dans l'exercice de la profession d'ingénieur.

Le tableau ci-dessous présente la liste des principaux articles qui s'appliquent aux machines dans les différents textes législatifs.

TABLEAU 1 : LOIS ET RÈGLEMENTS EN VIGUEUR

Texte législatif	Principaux articles s'appliquant aux machines et objet de l'article
<i>Loi sur la santé et la sécurité du travail</i> (L.R.Q., c. S-2.1)	Art. 2 : Objet de la loi
	Art. 49 : Obligations du travailleur
	Art. 51 : Obligations de l'employeur
	Art. 63 : Le fournisseur (Matière dangereuse)
	Art. 190 : Ordonnance
<i>Règlement sur la santé et la sécurité du travail</i> (c. S-2.1, r. 19.01)	Section XXI – MACHINES
	§1. Protecteurs et dispositifs de protection
	Art. 172 : (Zone dangereuse)
	Art. 173 : Dispositions applicables
	Art. 174 : Protecteur fixe
	Art. 175 : Protecteur à interverrouillage
	Art. 176 : Protecteur à enclenchement
	Art. 177 : Protecteur à fermeture automatique
	Art. 178 : Protecteur réglable
	Art. 179 : Dispositif sensible
	Art. 180 : Commande bimanuelle
	Art. 181 : Commande bimanuelle multiple
	Art. 182 : Contrôle de la zone dangereuse
	Art. 183 : Mesure de sécurité équivalente
	Art. 184 : Mise en place
	Art. 185 : Cadenassage
	Art. 186 : Réglage, déblocage, maintenance, apprentissage et réparation
	Art. 187 : Attributs d'un protecteur
	Art. 188 : Pièce de rechange

	§ 2. Dispositifs de commande
	Art. 189 : Dispositifs de commande
	Art. 190 : Dispositif de mise en marche et d'arrêt
	Art. 191 : Appareil avertisseur
	Art. 192 : Arrêt d'urgence
	Art. 193 : Groupe de machines
	§ 4. Machines à meuler et meules
	Art. 197 : Machines à meuler
	§ 5. Tourets à meuler
	Art. 201 : Protecteurs et dispositifs de protection
	Art. 202 : Carter
	Art. 203 : Pare-étincelles
	Art. 204 : Réglage de l'espacement
	Art. 205 : Écran transparent
	§ 6. Machines à travailler le bois et scies utilisées à diverses fins
	Art. 207 : Scie à ruban
	Art. 208 : Scie circulaire
	Section XXIII – MANUTENTION ET TRANSPORT DU MATÉRIEL
	§ 3. Convoyeurs
	Art. 266 : Organes de transmission
	Art. 267 : Protection contre les chutes d'objets
	Art. 270 : Arrêt d'urgence (Convoyeur)
	Art. 271 : Convoyeur à godets
	Section XXVIII – AUTRES TRAVAUX À RISQUE PARTICULIER
	Art. 323 : Travaux de maintenance ou de réparation
<i>Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines (c. S-2.1, r. 19.1)</i>	Art. 373 : (Protecteurs et dispositifs de protection sur les convoyeurs)
<i>Code de sécurité pour les travaux de construction (c. S-2.1, r. 6)</i>	Art. 3.10 : Équipement de construction
	Art. 3.10.13 : Dispositifs de sécurité et protecteurs
	Art. 3.10.14 : Meules
	Art. 3.10.15 : Scies
	Art. 3.16.9 : Convoyeur
	Art. 8.7.2 : (Protection des échelles et des escaliers)
<i>Loi sur les ingénieurs (L.R.Q., c. I-9)</i>	Section II – EXERCICE DE LA PROFESSION D'INGÉNIEUR

1.3 Définitions de termes utilisés dans le guide

Ces définitions sont inspirées des normes : ISO 13849-1:1999 [2], ISO 14121:1999 [3], ISO 12100-1:2003 [4], EN 1010-1:2004 [5] et ISO 11161:2007 [6].

- ▶ **Analyse du risque**
Combinaison de la détermination des limites de la machine, du repérage des phénomènes dangereux (aussi appelé identification) et de l'estimation du risque.
- ▶ **Angle rentrant ou zones de convergence**
Points de danger au niveau des rouleaux, des bobines, des cylindres ou des tambours dont les mouvements forment un rétrécissement et sont à l'origine d'un risque d'entraînement des parties du corps ou du corps entier entre :
 - ▶ deux rouleaux tournant en sens opposés, motorisés ou non ;
 - ▶ un rouleau tournant et une pièce de machine fixe ;
 - ▶ des rouleaux tournant dans le même sens ou des tapis convoyeurs avançant dans la même direction et dont la vitesse ou les surfaces sont différentes (frottement) ;
 - ▶ un rouleau et des courroies de transmission, un tapis transporteur et, éventuellement, une bande du matériau [...].

Il existe également des zones de convergence sur les rouleaux non motorisés (rouleaux de guidage) entraînés par la bande du matériau. Le niveau de risque peut être fonction de différents facteurs tels que, par exemple, le type et la résistance du matériau, l'angle d'enroulement, la vitesse de la bande et le moment d'inertie.
- ▶ **Appréciation du risque**
Processus global d'analyse et d'évaluation du risque.
- ▶ **Dispositif de protection**
Moyen de protection autre qu'un protecteur.
- ▶ **Domage**
Blessure physique ou atteinte à la santé.
- ▶ **Estimation du risque**
Définition de la gravité probable d'un dommage et de la probabilité de ce dommage.
- ▶ **Évaluation du risque**
Action destinée à établir, à partir de l'analyse du risque, si les objectifs de réduction du risque ont été atteints.
- ▶ **Événement dangereux**
Événement susceptible de causer un dommage.
- ▶ **Fiabilité (d'une machine)**
Aptitude d'une machine ou de ses composants ou équipements à accomplir sans défaillance une fonction requise, dans des conditions données et pendant un laps de temps déterminé.
- ▶ **Fonction de sécurité**
Fonction d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du ou des risques.

▶ **Mauvaise utilisation raisonnablement prévisible**
Utilisation d'une machine d'une manière ne correspondant pas aux intentions du concepteur, mais pouvant résulter d'un comportement humain aisément prévisible.

▶ **Mise en marche inattendue ou intempestive**
Toute mise en marche qui, à cause de son caractère inattendu, crée un phénomène dangereux. Une telle mise en marche peut être causée, par exemple, par :

- ▶ un ordre de mise en marche résultant d'une défaillance du système de commande ou d'une influence extérieure sur ce système ;
- ▶ un ordre de mise en marche résultant d'une action humaine inopportune sur un organe de service de mise en marche ou sur un autre élément de la machine, par exemple, sur un capteur ou un préactionneur ;
- ▶ le rétablissement de l'alimentation en énergie après une interruption ;
- ▶ des influences externes ou internes (par exemple, gravité terrestre, vent, autoallumage dans les moteurs à combustion interne) s'exerçant sur des éléments de la machine.

Note. – La mise en marche automatique d'une machine en mode de fonctionnement normal n'est pas intempestive, mais peut être considérée comme inattendue du point de vue du travailleur. Dans ce cas, la prévention des accidents relève de l'application de mesures de protection (voir la norme ISO 12100-2:2003, article 5 [7]).

▶ **Moyen de protection**
Protecteur ou dispositif de protection.

▶ **Phénomène dangereux²**
Source possible de dommage.

Note 1. – L'expression phénomène dangereux et le terme risque (au sens de phénomène dangereux) peuvent être qualifiés de manière à faire apparaître l'origine (par exemple, mécanique, électrique) ou la nature du risque possible (par exemple, choc électrique, coupure, intoxication, incendie).

Note 2. – Le phénomène dangereux envisagé dans cette définition :

- *existe en permanence pendant l'utilisation normale de la machine (par exemple, déplacement d'éléments mobiles dangereux, arc électrique pendant une phase de soudage, posture contraignante, émission de bruit, température élevée); ou*
- *peut apparaître de manière inattendue (par exemple, explosion, risque d'écrasement résultant d'une mise en marche intempestive ou inattendue, projection résultant d'une rupture, accélération ou décélération soudaine).*

2. Dans la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* (LSST) [8], le terme « risque » est pris au sens de « phénomène dangereux ».

▶ **Protecteur³**

Barrière physique conçue comme un élément de la machine et assurant une fonction de protection.

Note 1. – Un protecteur peut exercer son effet :

- *seul. Il n'est alors efficace que lorsqu'il est maintenu en place de façon sûre, s'il s'agit d'un protecteur fixe ;*
- *associé à un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage. Dans ce cas, la protection est assurée, quelle que soit la position du protecteur.*

Note 2. – Suivant sa destination, un protecteur peut être appelé carter, blindage, couvercle, écran, porte, enceinte.

Note 3. – Voir les normes ISO 12100-2:2003, article 5.3.2, et ISO 14120:2002 sur les différents types de protecteurs et les exigences qui s'y appliquent.

▶ **Protecteur fixe⁴**

Protecteur fixé de telle manière (par exemple, au moyen de vis ou d'écrous ou par soudage) qu'il ne puisse être ouvert ou démonté qu'à l'aide d'outils ou par destruction des moyens de fixation.

▶ **Protecteur mobile**

Protecteur pouvant être ouvert sans l'aide d'outils.

▶ **Protecteur muni d'un dispositif de verrouillage (équivalent du « protecteur à interverrouillage⁵ » défini dans le RSST)**

Protecteur associé à un dispositif de verrouillage de manière à assurer, avec le système de commande de la machine, les fonctions suivantes :

- ▶ les fonctions dangereuses de la machine dont le protecteur permet de se protéger ne peuvent pas être activées tant que le protecteur n'est pas fermé ;
- ▶ un ordre d'arrêt est donné si l'on ouvre le protecteur pendant que les fonctions dangereuses de la machine sont activées ;
- ▶ les fonctions dangereuses de la machine dont le protecteur permet de se protéger peuvent être activées lorsque le protecteur est fermé, mais la fermeture du protecteur ne provoque pas à elle seule leur activation.

Note. – La norme ISO 14119:1998 [10] contient des indications détaillées sur le sujet.

3. Voir l'article 172 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (RSST) [9].

4. Voir l'article 174 du RSST [9].

5. Voir l'article 175 du RSST [9].

▶ **Protecteur muni d'un dispositif d'interverrouillage (équivalent du « protecteur à enclenchement⁶» défini dans le RSST)**

Protecteur associé à un dispositif de verrouillage et à un dispositif de blocage de manière à assurer, avec le système de commande de la machine, les fonctions suivantes :

- ▶ les fonctions dangereuses de la machine dont le protecteur permet de se protéger ne peuvent pas être activées tant que le protecteur n'est pas fermé et bloqué ;
- ▶ le protecteur reste bloqué en position de fermeture jusqu'à ce que le risque attribuable aux fonctions dangereuses de la machine dont le protecteur permet de se protéger ait disparu ;
- ▶ quand le protecteur est bloqué en position de fermeture, les fonctions dangereuses dont le protecteur permet de se protéger peuvent s'accomplir. La fermeture et le blocage du protecteur ne déclenchent pas par eux-mêmes l'activation des fonctions dangereuses de la machine.

Note. – La norme ISO 14119:1998 contient des indications détaillées sur le sujet.

▶ **Protection**

Mesures de prévention faisant appel à des moyens de protection pour préserver les travailleurs des phénomènes dangereux qui ne peuvent raisonnablement pas être éliminés ou des risques qui ne peuvent être suffisamment réduits par l'application de mesures de prévention intrinsèque.

▶ **Risque**

Combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage.

▶ **Situation dangereuse**

Situation dans laquelle un travailleur est exposé à au moins un phénomène dangereux. L'exposition à ce ou à ces phénomènes dangereux peut entraîner un dommage, immédiatement ou à plus long terme.

▶ **Système de fabrication intégré**

Groupe de machines fonctionnant ensemble de façon coordonnée, reliées par un dispositif de manutention de matériel et interconnectées par des organes de service (c'est-à-dire des commandes), en vue de la fabrication, du traitement, du déplacement ou du conditionnement de différents composants ou assemblages.

▶ **Utilisation normale d'une machine**

Utilisation d'une machine conformément aux indications données dans les instructions d'utilisation.

▶ **Zone dangereuse⁷**

Tout espace, à l'intérieur ou autour d'une machine, dans lequel un travailleur peut être exposé à un phénomène dangereux.

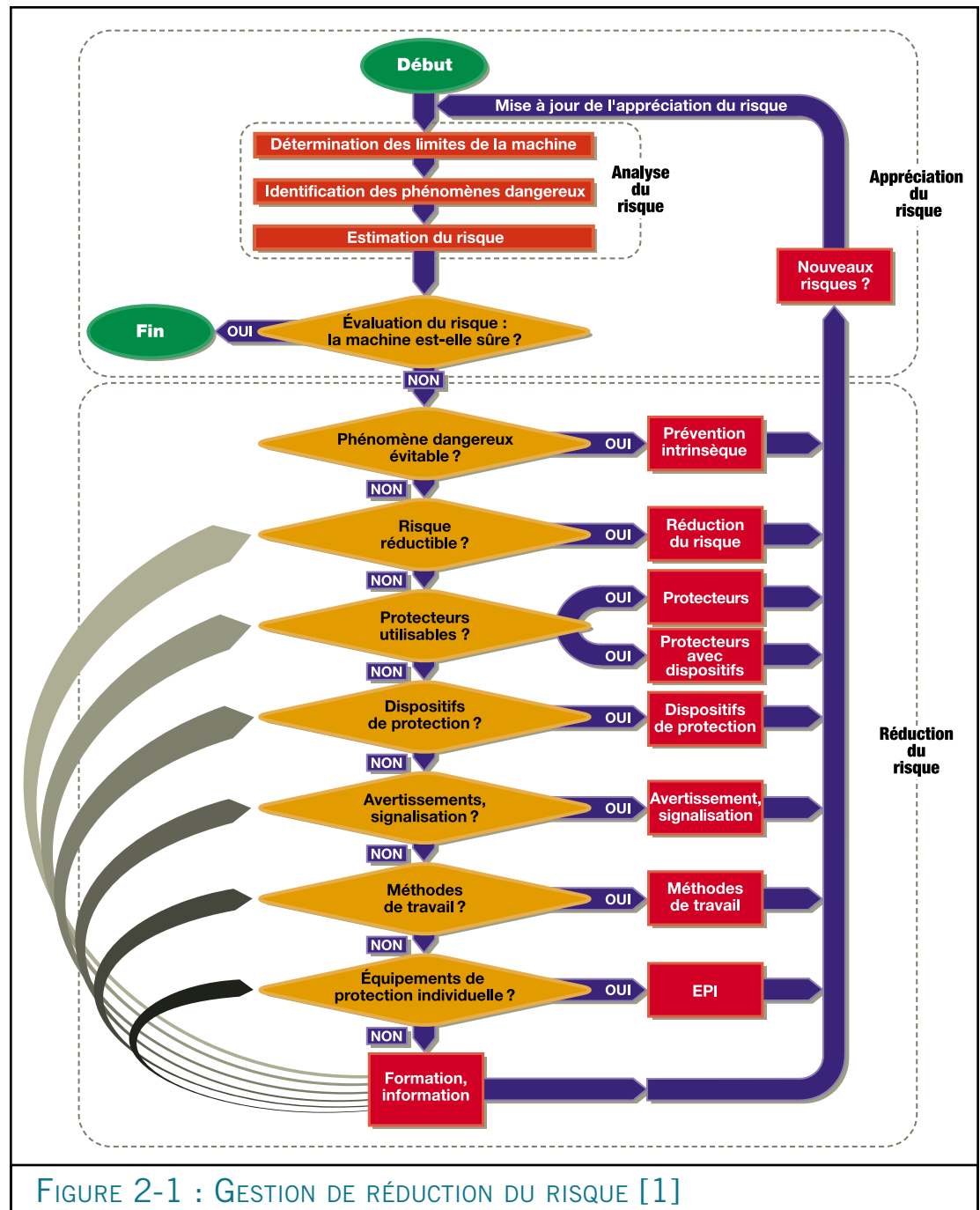
6. Voir l'article 176 du RSST [9].

7. Voir l'article 172 du RSST [9].

Section 2

Principes généraux de gestion du risque

La gestion du risque comporte deux grandes étapes (voir la figure 2-1) : l'appréciation du risque [3] et la réduction du risque [4, 7].



2.1 Appréciation du risque

De façon générale, toute amélioration de la sécurité d'une machine commence par une appréciation du risque. Cette opération comprend une analyse du risque, suivie d'une évaluation du risque.

2.1.1 Analyse du risque

L'analyse du risque comporte trois étapes :

- ▶ détermination des limites de la machine ;
- ▶ repérage (identification) des phénomènes dangereux ;
- ▶ estimation du risque.

2.1.1.1 Détermination des limites de la machine

La toute première étape de la démarche de gestion du risque consiste à fixer les balises de l'appréciation du risque. À la fin de cette étape, il faudrait être en mesure de décrire les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée : qui utilisera la machine, pendant combien de temps, avec quels matériaux, etc. Le cycle de vie de la machine (conception, installation, utilisation, déblocage, entretien et mise au rebut), les utilisations prévisibles et le niveau attendu d'expérience des utilisateurs sont également établis.

Ce n'est qu'une fois ces conditions déterminées que le repérage des phénomènes dangereux et l'estimation du risque peuvent commencer.

2.1.1.2 Repérage des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux sont à l'origine de toutes les situations dangereuses. Exposé à un phénomène dangereux, un travailleur se trouve dans une situation dangereuse et l'apparition d'un événement dangereux mène à un accident qui peut entraîner des dommages.

Le repérage des phénomènes dangereux est l'une des étapes les plus importantes de la démarche de gestion du risque. La liste des phénomènes dangereux doit être minutieusement établie. La pochette de la CSST [1] peut être utile dans ce but.

Qu'il s'agisse de pièces en mouvement (risque d'origine mécanique), d'éléments sous tension (risque d'origine électrique), de parties d'une machine trop chaudes ou trop froides (risque d'origine thermique), de bruit, de vibrations, de rayonnements visibles (laser) ou invisibles (électromagnétiques), de matières dangereuses ou de postures contraignantes (risque ergonomique), la liste de toutes les sources d'énergie ou de toutes les interfaces homme-machine qui peuvent porter atteinte à la santé et à la sécurité des travailleurs exposés doit être dressée avec soin. On associe ensuite ces phénomènes dangereux aux situations dangereuses auxquelles les travailleurs sont exposés.

2.1.1.3 Estimation du risque

L'estimation du risque consiste à comparer entre elles les différentes situations dangereuses repérées. Cette comparaison relative permet, par exemple, d'établir une priorité d'action.

Le risque est défini comme la combinaison de la gravité d'un dommage (**G**) et de la probabilité d'occurrence de ce dommage (voir la figure 2-2). La probabilité d'occurrence du dommage [3] peut être scindée en trois parties :

1. la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux (**F**) ;
2. la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (**O**) ;
3. la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage (**P**).

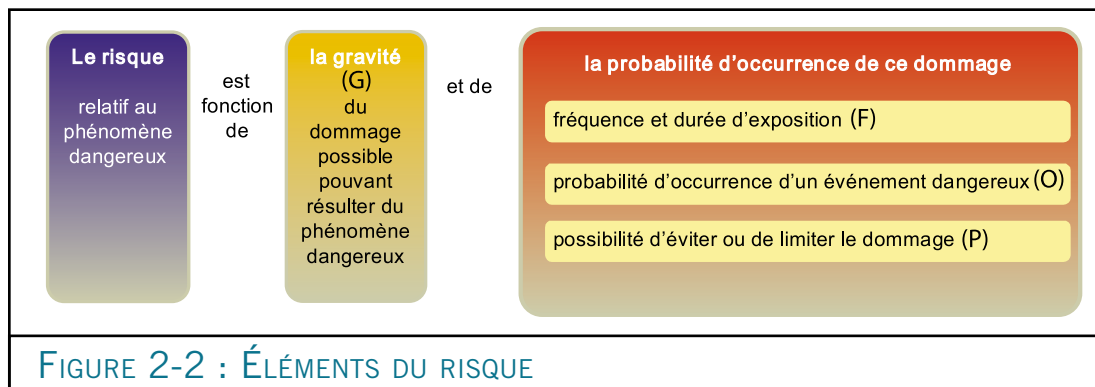


FIGURE 2-2 : ÉLÉMENTS DU RISQUE

Pour faciliter cette estimation, un indice de risque peut être défini pour chaque situation dangereuse. Le document ED 807 de l'INRS [11] propose une plage de valeurs à associer aux composants du risque. Lorsque les plages de valeurs sont définies, il est possible d'utiliser des outils d'estimation du risque. Ces outils peuvent être graphiques [1] (voir la figure 2-3), matriciels, etc.

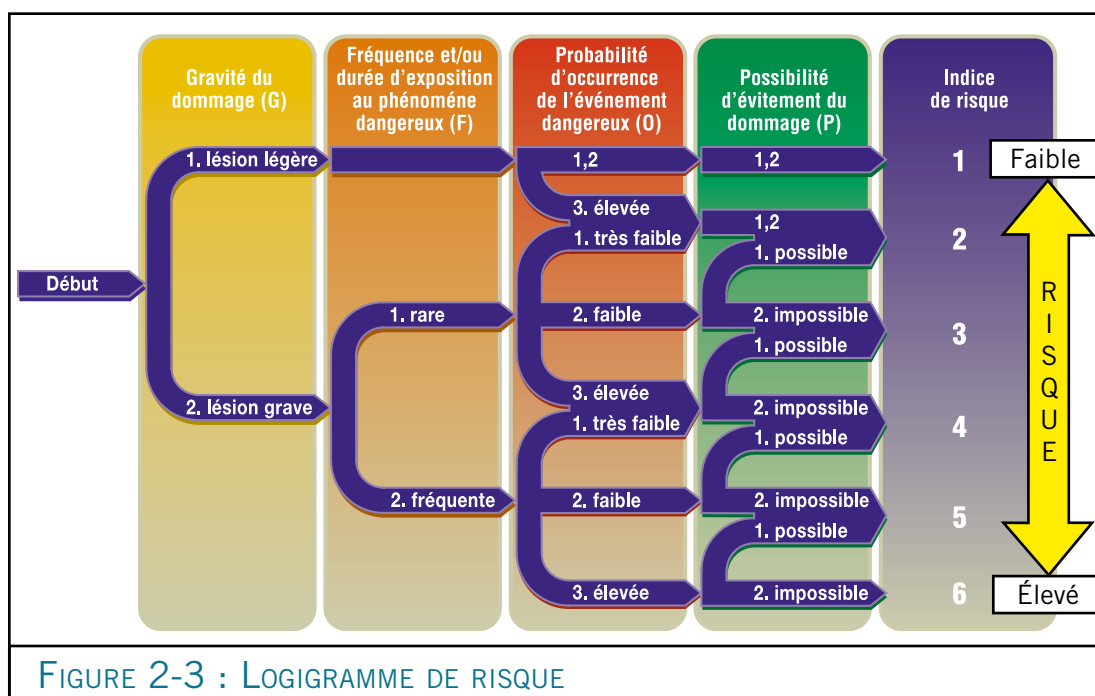


FIGURE 2-3 : LOGIGRAMME DE RISQUE

Dans la pratique, il est important de fixer d'avance des limites objectives aux facteurs **G**, **F**, **O** et **P** en consultant des références. Vous trouverez aux pages suivantes des exemples montrant l'utilisation du logigramme de risque de la figure 2-3.

► **Gravité du dommage (G)**

La gravité du dommage peut être estimée en prenant en compte la gravité des lésions ou de l'atteinte à la santé. Les choix proposés sont :

- G1** Lésion légère (normalement réversible). Par exemple : écorchure, lacération, ecchymose, blessure légère, etc. ;
- G2** Lésion grave (normalement irréversible, y compris le décès). Par exemple : membre brisé, arraché ; blessure grave avec points de suture, etc.

► **Fréquence ou durée d'exposition au phénomène dangereux (F)**

L'exposition peut être estimée en prenant en compte :

- le besoin d'accéder à la zone dangereuse (par exemple, pour le fonctionnement normal, la maintenance ou la réparation) ;
- la raison de l'accès (par exemple, l'alimentation manuelle de matières) ;
- le temps passé dans la zone dangereuse ;
- le nombre de personnes devant y accéder ;
- la fréquence d'accès.

Les choix proposés sont :

- F1** De rare à assez fréquente ou courte durée d'exposition ;
- F2** De fréquente à continue ou longue durée d'exposition.

► **Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (O)**

La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux peut être estimée en tenant compte :

- des données de fiabilité et d'autres données statistiques ;
- de l'historique des accidents ;
- de l'historique des atteintes à la santé ;
- d'une comparaison des risques avec ceux que présente une machine similaire (si certaines conditions sont remplies).

Les choix proposés sont :

- O1** Très faible (de très faible à faible). Technologie stable, éprouvée et reconnue pour les applications de sécurité, robustesse du matériel ;
- O2** Faible (de faible à moyenne). Événement dangereux lié à une défaillance technique ou événement entraîné par l'action d'un travailleur qualifié, expérimenté, formé, ayant une conscience du risque élevée, etc. ;
- O3** Élevée (de moyenne à élevée). Événement dangereux entraîné par l'action d'un travailleur sans expérience ni formation particulière.

► Possibilité d'évitement du dommage (P)

La possibilité d'évitement permet d'empêcher que le dommage se produise ou de le limiter, en fonction :

- des travailleurs qui utilisent la machine ;
- de la rapidité d'apparition de l'événement dangereux ;
- de la conscience de l'existence du phénomène dangereux ;
- de la possibilité pour le travailleur d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple, action, réflexe, agilité, possibilité de fuite).

Les choix proposés sont :

P1 Possible dans certaines conditions ;

P2 Impossible ou rarement possible.

En combinant le résultat obtenu pour les quatre paramètres, l'indice de risque est défini en utilisant le logigramme de risque (voir la figure 2-3), qui permet de définir six indices de risque croissant (variant de 1 à 6).

Les outils d'estimation du risque, comme celui qui est présenté à la figure 2-3, sont souvent utilisés au moment de l'évaluation du risque. La référence [3] donne plus d'indications sur les conditions qui aident à déterminer si l'objectif de sécurité est atteint.

Par exemple, un compresseur à air se trouve dans l'aire de travail ; deux angles rentrants existent entre la courroie et les poulies :

- Gravité du dommage : **G2**, élevée (perte d'un doigt au minimum) ;
- Durée d'exposition : **F2**, car le compresseur est dans l'aire de travail où circulent les travailleurs ;
- Occurrence : **O3**, car le travailleur n'est pas formé pour utiliser la machine visée ;
- Possibilité d'évitement : **P2**, car il est impossible de retirer le doigt de l'angle rentrant une fois qu'il a été happé si le départ du compresseur est automatique ;
- Indice de risque calculé : 6.

Lorsque toutes les situations dangereuses ont été estimées, les différents indices de risque doivent être comparés pour assurer une cohérence à l'ensemble de l'analyse.

2.1.2 Évaluation du risque

La dernière étape du processus d'appréciation du risque consiste à porter un jugement sur le niveau de risque estimé. C'est à cette étape que l'on détermine si ce risque est tolérable ou non.

Lorsque le risque est jugé intolérable (indice de risque élevé, comme dans le cas du compresseur dans l'exemple précédent), des mesures de réduction du risque doivent être choisies et mises en œuvre. Afin de s'assurer que les solutions choisies permettent d'atteindre les objectifs de réduction du risque sans créer de nouvelles situations dangereuses, la procédure d'appréciation du risque doit être répétée après l'application des solutions.

2.2 Réduction du risque

Une fois l'étape de l'appréciation du risque terminée, si l'évaluation prescrit une réduction du risque (que l'on juge intolérable), il faut choisir les moyens à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de réduction du risque. La figure 2-1 illustre la hiérarchie des moyens permettant de réduire le risque.

2.2.1 Élimination du phénomène dangereux et réduction du risque

Comme le prévoit l'article 2 de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* au Québec [8]⁸, l'élimination du phénomène dangereux est le premier objectif à atteindre. Il s'agit d'éliminer le phénomène de façon à rendre la situation sécuritaire : c'est ce que l'on appelle la prévention intrinsèque.

Selon l'article 4.1 de la norme ISO 12100-2:2003 [7] : « La prévention intrinsèque que constitue la première et la plus importante étape de réduction du risque [...] consiste à éviter les phénomènes dangereux ou à réduire les risques par un choix judicieux des caractéristiques de conception de la machine [...]. »

C'est donc à l'étape de la conception de la machine que la sécurité du travailleur est assurée. Le concepteur cherche à améliorer les caractéristiques de la machine : écartement des pièces mobiles pour éliminer les zones de coincement, suppression des arêtes vives, limitation des efforts d'entraînement ou limitation des niveaux d'énergie (masse, vitesse, accélération) des éléments mobiles.

2.2.2 Protecteurs et dispositifs de protection

Les protecteurs, qu'ils soient fixes ou équipés de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage⁹, suivent de près la prévention intrinsèque en termes d'efficacité dans la hiérarchie des moyens de réduction du risque. Viennent ensuite les dispositifs de protection tels que les barrages immatériels, les tapis sensibles, les détecteurs surfaciques ou les commandes bimanuelles. Le document *Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection*¹⁰ présente une introduction à l'utilisation de ces dispositifs.

2.2.2.1 Protecteurs fixes et protecteurs munis de dispositifs

L'un des meilleurs moyens de réduire l'exposition à un phénomène dangereux est d'en empêcher l'accès par l'installation d'un protecteur. Idéalement, il est « fixe » et il faut utiliser un outil pour le retirer. Cependant, il peut être nécessaire d'ouvrir le protecteur pour avoir accès périodiquement à la zone dangereuse, par exemple, pour des besoins de production, de dégagement ou de maintenance.

Ces protecteurs « mobiles » (munis de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage) doivent donner un signal d'arrêt à la machine dès qu'ils sont ouverts. Si le temps d'arrêt de la machine est suffisamment court pour que le phénomène dangereux cesse avant que le travailleur puisse l'atteindre, un dispositif de verrouillage est utilisé. Si, par contre, le temps d'arrêt du phénomène dangereux est plus long, on utilise un dispositif d'interverrouillage qui, en plus de remplir les fonctions du dispositif de verrouillage, bloque le protecteur en position fermée jusqu'à ce que le phénomène dangereux ait complètement disparu.

8. « La présente loi a pour objet l'élimination à la source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. », LSST, article 2.

9. Au sens des définitions figurant dans ce guide.

10. *Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection*, IRSST et CSST, accessible à l'adresse suivante : www.csst.qc.ca.

2.2.2.2 Dispositifs de protection

Si l'utilisation d'un protecteur, qu'il soit fixe ou mobile, n'est pas envisageable, il faut déterminer si l'utilisation d'un dispositif de protection l'est. Les dispositifs de protection¹¹ se définissent comme tout autre moyen de protection, différent d'un protecteur. Il peut s'agir, par exemple, d'un dispositif de protection optoélectronique (barrage immatériel, détecteur surfacique), d'un dispositif de validation, d'un tapis sensible, d'une commande bimanuelle, etc. Ces dispositifs sont conçus spécialement pour réduire le risque associé à une situation dangereuse.

2.2.3 Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle

Les procédures, les avertissements, les méthodes de travail et les équipements de protection individuelle ne sont pas considérés comme les moyens les plus efficaces. Bien qu'essentiels dans des situations où aucune autre solution ne semble apporter de résultats satisfaisants, leurs effets sur l'amélioration de la sécurité sont jugés de moindre importance. Ils sont souvent utilisés en complément d'autres moyens de réduction du risque.

2.2.4 Formation et information

Dans tous les cas où le phénomène dangereux ne peut pas être éliminé, les travailleurs doivent recevoir une formation afin de les informer de la nature du risque résiduel auquel ils sont exposés et des moyens de réduction de ce risque utilisés pour y parer. Cette formation s'ajoute à la formation générale que l'employeur doit donner aux travailleurs en vue de l'utilisation de la machine¹².

2.2.5 Vérification du résultat final

Afin de s'assurer que les solutions choisies permettent d'atteindre les objectifs de réduction du risque sans créer de nouvelles situations dangereuses, la procédure d'appréciation du risque doit être répétée une fois les solutions appliquées.

11. Voir l'article 180 du RSST [9], qui traite des dispositifs sensibles.

12. Voir l'article 51.9° de la LSST [8].

Section 3

Protecteurs

Dans la hiérarchie de réduction du risque, les protecteurs ne viennent qu'en troisième position, après la prévention intrinsèque et la réduction du risque. La décision d'utiliser des protecteurs ne doit donc être prise que si les deux premières mesures ne peuvent raisonnablement pas être appliquées.

Un protecteur ne doit pas créer de risques supplémentaires (coupure, coincement, écrasement, etc.) ni inciter les utilisateurs de la machine à le détourner de son usage. Les parties mobiles d'un protecteur doivent être conçues de sorte que leurs dimensions et leur poids en facilitent la manipulation.

Un protecteur doit être conçu en tenant compte de l'ensemble des contraintes environnementales ou liées au fonctionnement de la machine (possibilités de projections de matières solides ou liquides) auxquelles il est soumis durant toute la vie utile de la machine. Il doit aussi être conçu pour prendre en compte, dans la mesure du possible, toutes les utilisations normales et les mauvaises utilisations de la machine raisonnablement prévisibles et tous les gestes involontaires des travailleurs.

Un protecteur doit être conçu et construit de manière à offrir une bonne visibilité du processus et de la machine. Ce type de conception permet de limiter le démontage du protecteur tout en permettant de vérifier si la machine fonctionne bien ou de détecter un dysfonctionnement dès son apparition. Le protecteur peut être constitué d'un matériau transparent, perforé ou grillagé (voir les dimensions admissibles au point 5.3.1). Il est suggéré de peindre le cadre du protecteur d'une couleur vive et la partie perforée ou grillagée d'une couleur plus sombre que la zone à observer (noir mat ou gris charbon).

Il existe deux types de protecteurs.

- ▶ Les protecteurs fixes :
 - ▶ protecteur fixe enveloppant ;
 - ▶ protecteur fixe de maintien à distance ;
 - ▶ protecteur fixe d'angle rentrant.
- ▶ Les protecteurs mobiles :
 - ▶ munis d'un dispositif de verrouillage ;
 - ▶ munis d'un dispositif d'interverrouillage ;
 - ▶ motorisés ;
 - ▶ à fermeture automatique.



Les caractéristiques et les particularités des protecteurs mobiles ne sont pas traitées dans le présent guide.

3.1 Protectors fixes

Un protecteur fixe est celui qui ne peut être enlevé sans l'aide d'un outil ou qui est maintenu en place de façon permanente, par exemple par soudure (RSST, article 174).

Note. – *Suivant la forme qu'on lui donne, le protecteur peut être appelé carter, capot, couvercle, porte, écran ou enceinte.*

▶ **Protecteur fixe enveloppant**

Protecteur fixe qui interdit l'accès à la zone dangereuse de toutes parts (voir la figure 3-1) [12].

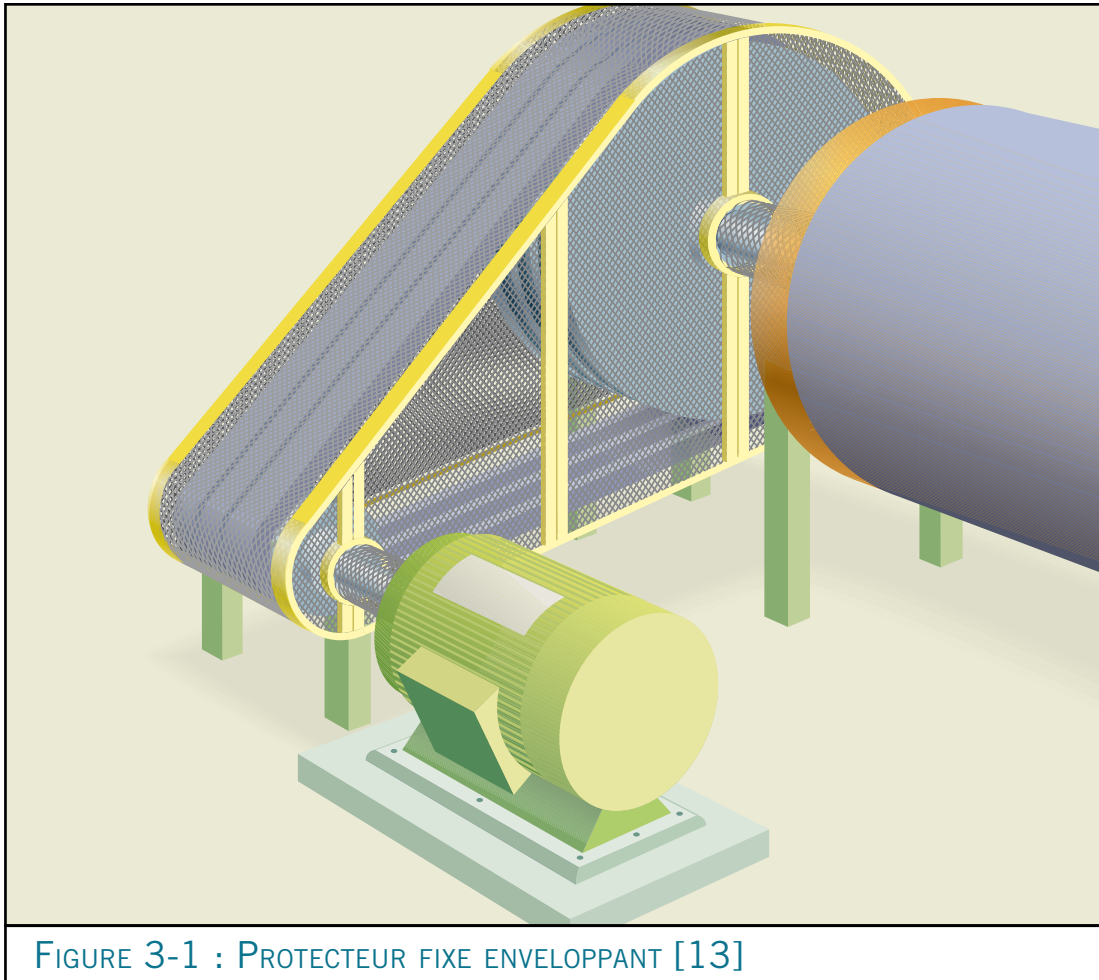


FIGURE 3-1 : PROTECTEUR FIXE ENVELOPPANT [13]

- ▶ **Protecteur fixe de maintien à distance**
Protecteur fixe qui n'enferme pas complètement une zone dangereuse, mais qui en empêche ou en limite l'accès grâce à ses dimensions et à son éloignement de cette zone.
Exemple : une enceinte périphérique (voir la figure 3-2).

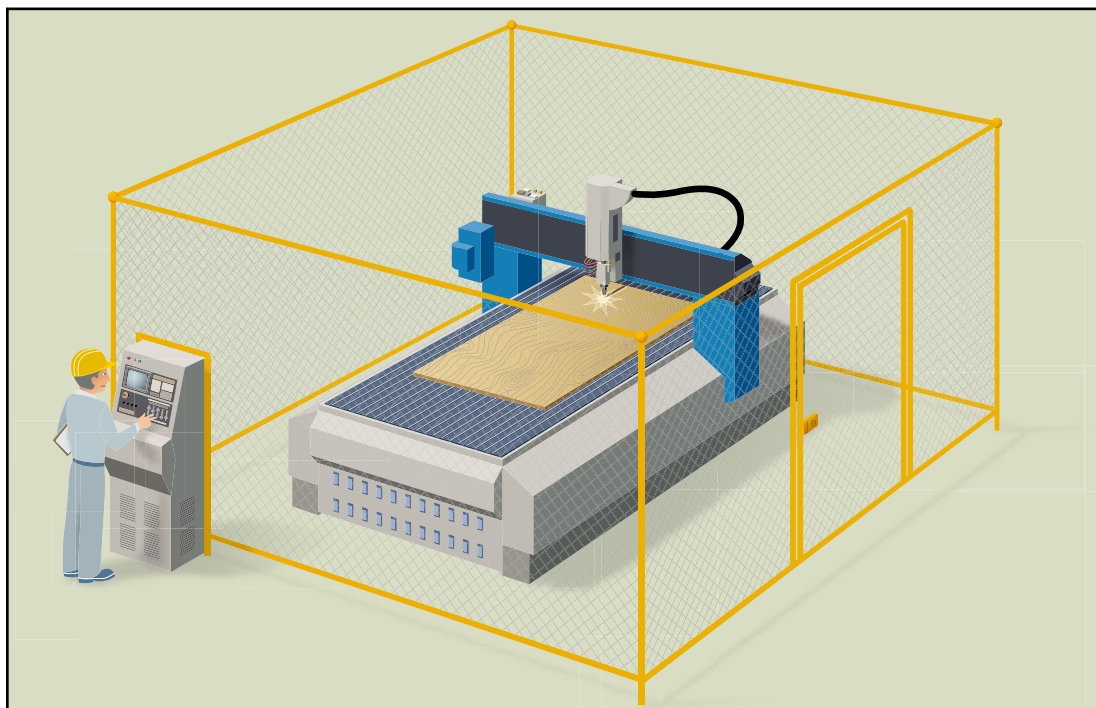


FIGURE 3-2 : PROTECTEUR FIXE DE MAINTIEN À DISTANCE

- ▶ **Protecteur fixe d'angle rentrant**
Protecteur fixe placé à proximité d'un angle rentrant pour empêcher l'accès à l'angle rentrant qui forme la zone dangereuse (voir la figure 3-3).

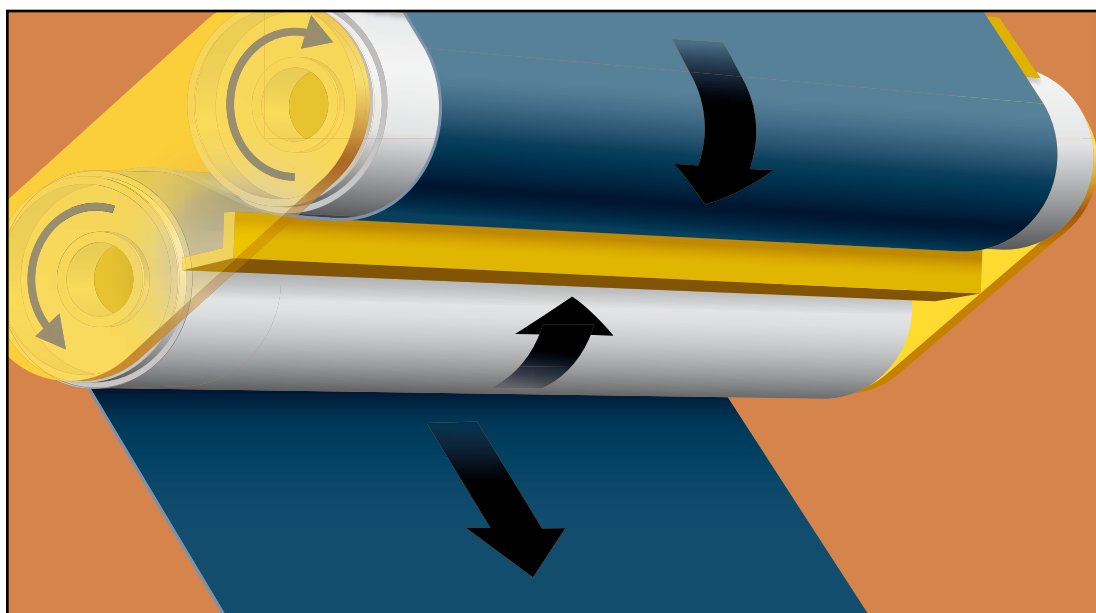


FIGURE 3-3 : PROTECTEUR FIXE D'ANGLE RENTRANT

3.2 Choix du type de protecteurs

Le choix du type de protecteurs adaptés à la zone dangereuse et aux phénomènes dangereux existants peut être fait, par exemple, en utilisant l'annexe B et, au besoin, le guide de l'IRSST [14] pour les protecteurs munis de dispositifs.

Il est recommandé [12] de choisir les protecteurs fixes dans l'ordre de priorité suivant (voir la figure à l'annexe B) :

1. Protecteurs enveloppant chaque zone dangereuse si le nombre de zones dangereuses est faible.
2. Protecteur enveloppant unique pour toutes les zones dangereuses si le nombre ou les dimensions de ces zones sont importants.
3. Protecteurs de maintien à distance multiples, si l'utilisation d'un protecteur enveloppant n'est pas possible et si le nombre de zones dangereuses est peu élevé (chaque protecteur protège une partie de la machine).
4. Protecteur de maintien à distance unique (enceinte, par exemple), si l'utilisation d'un protecteur enveloppant n'est pas possible et si le nombre ou la dimension des zones dangereuses est important (voir la figure 3-2).

La figure A.1 de l'annexe A de la norme ISO 14120:2002 [12] ou l'annexe C de ce guide peuvent faciliter le choix d'un protecteur fixe ou d'un protecteur mobile (muni d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage).

Il peut être utile de recourir à une combinaison de différents types de protecteurs selon la configuration de la machine (ou du système de fabrication intégré) et les exigences de production et de maintenance (accès à l'une des zones dangereuses pendant que la machine doit fonctionner).

Après l'installation d'un protecteur, il est suggéré de vérifier s'il joue bien son rôle, s'il est bien placé et s'il empêche l'accès à la zone dangereuse sans créer de nouveaux risques.



Lorsqu'il est possible qu'un travailleur reste à l'intérieur de la zone dangereuse (entre le protecteur et la machine), il faut prévoir un dispositif interdisant la remise en marche de la machine¹³.

13. Cette mesure ne dispense pas de l'obligation d'appliquer les dispositions prévues par les articles 185 et 186 du RSST [9].

Section 4

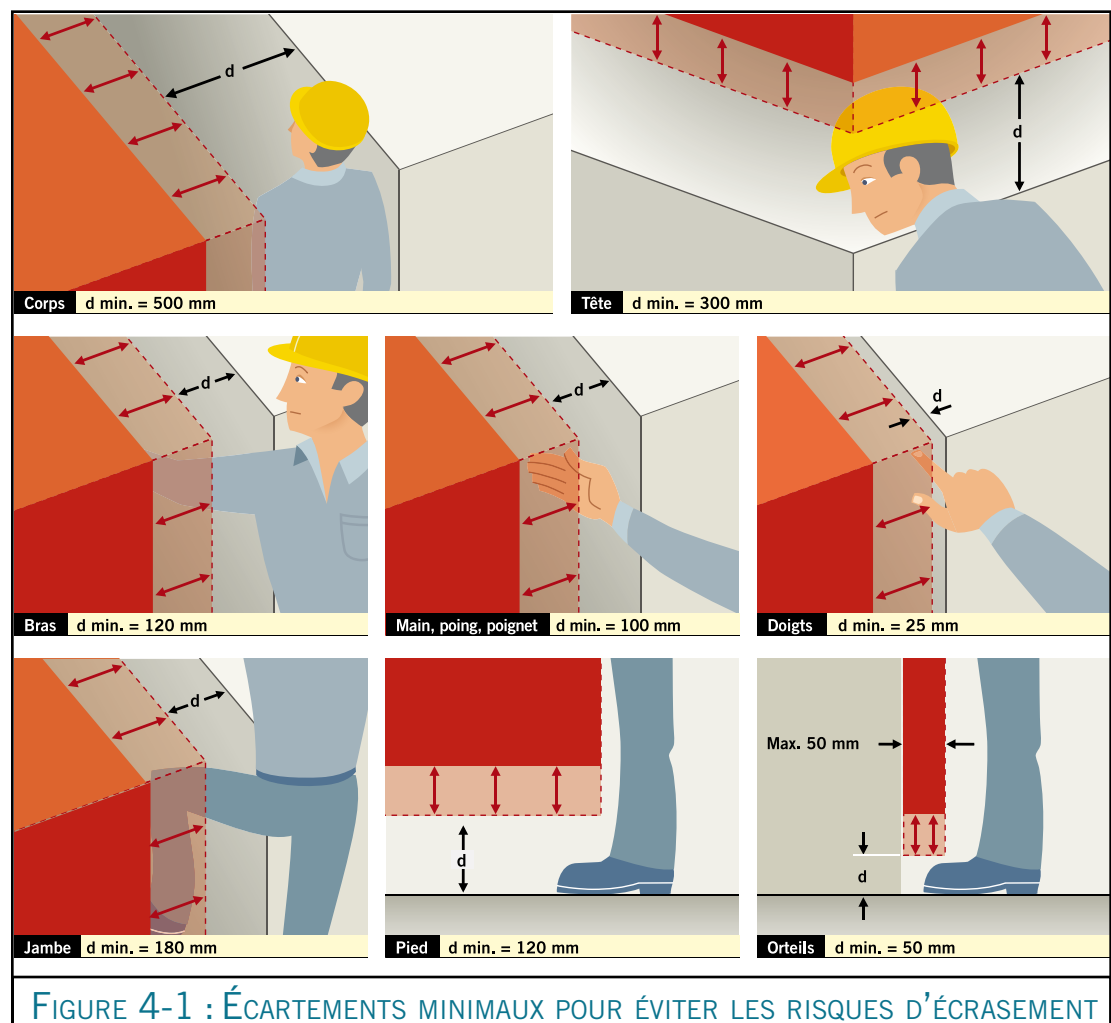
Protection contre les risques d'écrasement

La protection du corps humain contre les risques d'écrasement peut être assurée de deux façons. Il est possible de laisser un écartement minimal entre les pièces mobiles afin d'éviter tout contact entre les pièces mobiles et le corps humain ou il est possible de limiter les efforts ou les niveaux d'énergie des pièces mobiles afin de limiter les conséquences du contact avec le corps humain. La première de ces deux mesures est une mesure de prévention intrinsèque, car le phénomène dangereux est supprimé, alors que la seconde mesure est une mesure de réduction du risque à un niveau acceptable, c'est-à-dire de façon à ne pas créer de dommages irréversibles au corps humain.

4.1 Protection par écartement minimal entre les pièces mobiles

La possibilité d'un risque d'écrasement doit être prise en compte pour faire l'appréciation du risque afin de déterminer la partie du corps visée. De plus, les conditions qui augmentent les risques (port de vêtements épais ou volumineux, port de chaussures de sécurité avec des embouts, etc.) doivent aussi être prises en compte.

Les écartements minimaux suivants « d » (voir la figure 4-1) doivent être prévus pour éviter les risques d'écrasement de parties du corps humain [15].



Lorsqu'il est possible d'accéder à une zone de coincement avec plusieurs parties du corps, il faut choisir l'écartement « d » le plus grand (par exemple, s'il est possible d'accéder à la zone de coincement avec la main ou le bras, l'espace « d » doit alors être de 120 mm).

L'application de ces dimensions est illustrée à la figure 4-2 pour les vis sans fin [16] (protection de la main seulement, lorsque la nature du produit transporté le permet) et à la figure 4-3 pour les robots [17].

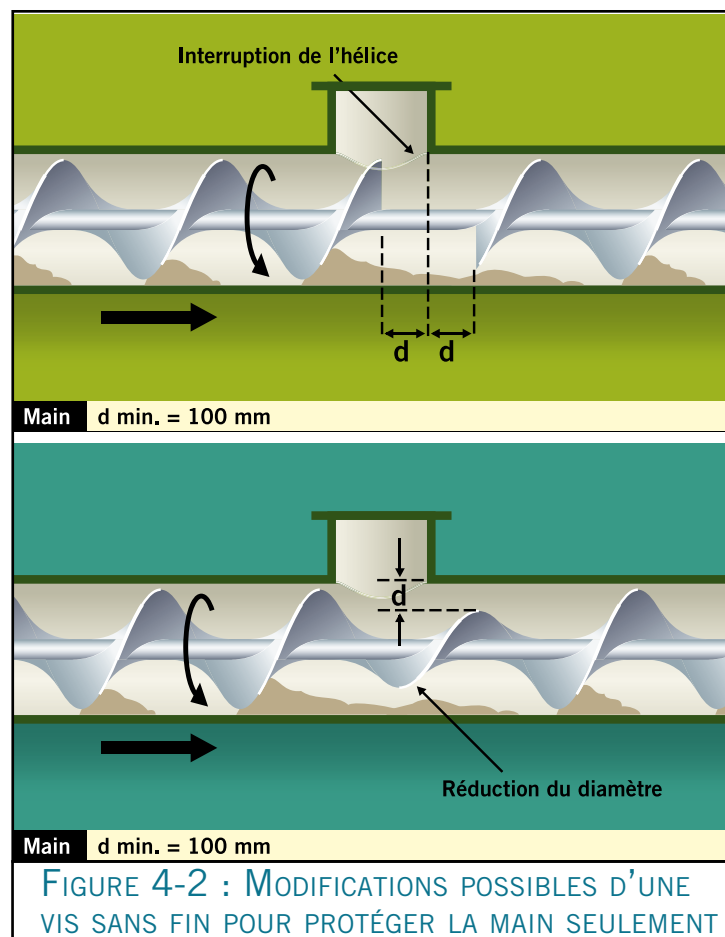


FIGURE 4-2 : MODIFICATIONS POSSIBLES D'UNE VIS SANS FIN POUR PROTÉGER LA MAIN SEULEMENT

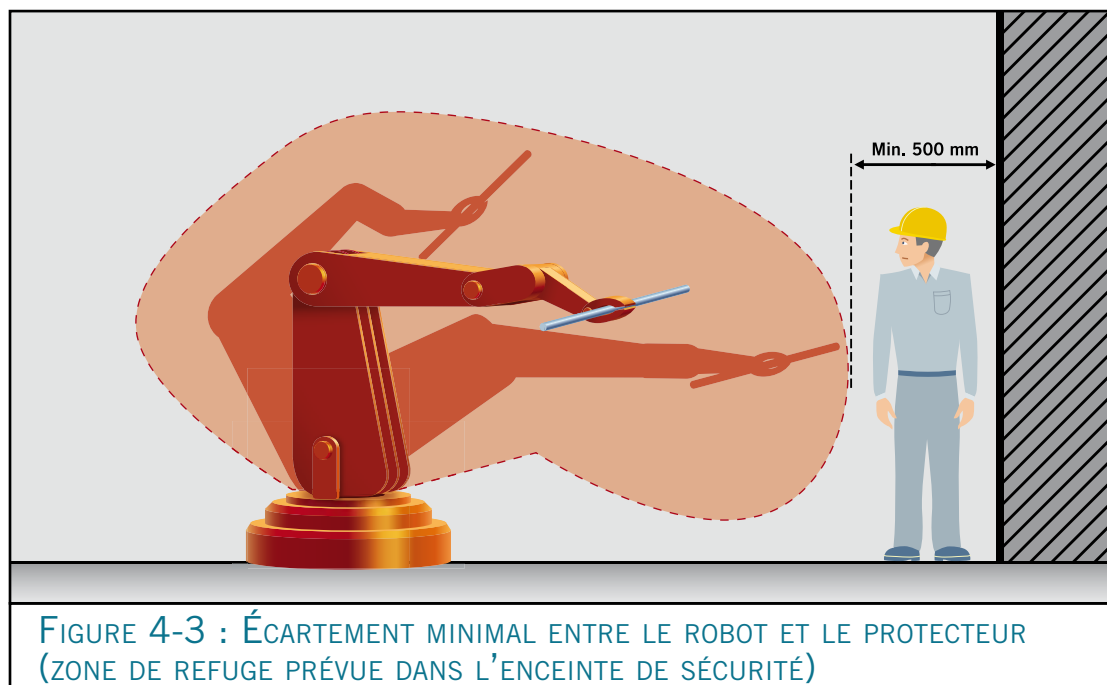


FIGURE 4-3 : ÉCARTEMENT MINIMAL ENTRE LE ROBOT ET LE PROTECTEUR (ZONE DE REFUGE PRÉVUE DANS L'ENCEINTE DE SÉCURITÉ)

4.2 Protection par limitation des forces et des niveaux d'énergie des pièces mobiles

Dans certains cas, il est possible de limiter les forces et les niveaux d'énergie des pièces mobiles de façon à éliminer les dommages au corps humain. Ce principe, qui relève de la réduction du risque, ne peut être appliqué que si les pièces mobiles possèdent des caractéristiques permettant d'assurer la fonction de sécurité requise (absence d'angles aigus, de parties coupantes, etc.).

Dans ce cas, les facteurs suivants doivent être pris en compte :

- ▶ accessibilité de la zone dangereuse ;
- ▶ dimensions anthropométriques ;
- ▶ énergie cinétique ;
- ▶ pression sur des parties du corps ;
- ▶ formes et dimensions des surfaces de contact ;
- ▶ fiabilité du système (facultatif) ;
- ▶ temps de réponse des mécanismes (facultatif).

Si les pièces mobiles ne sont pas munies d'un dispositif permettant de détecter la présence du corps humain (par exemple, machine à cercler les boîtes, à la figure 4-4), alors les données¹⁴ de la colonne « valeurs maximales permanentes » doivent être utilisées (voir le tableau 4).

Si les pièces mobiles sont munies d'un dispositif sensible (bord sensible) permettant de détecter le corps humain (voir la figure 4-4) et qu'elles peuvent se rétracter automatiquement¹⁵ dans une position sécuritaire, alors les données de la colonne « valeurs maximales temporaires » doivent être utilisées (voir le tableau 4). Dans ce cas, il faut tenir compte de la fiabilité du système de commande¹⁶ qui permet aux pièces mobiles de reprendre une position sécuritaire.

Dans les deux cas, il faut tenir compte des parties du corps (doigts, mains, etc.) qui peuvent être mises en contact accidentellement avec la partie mobile de la machine et se demander si les forces qui entrent en jeu sont acceptables.

14. Les données sont tirées de la norme ISO 14120:2002 [12].

15. Certaines normes prescrivent un délai d'une seconde avant la rétractation de la pièce mobile.

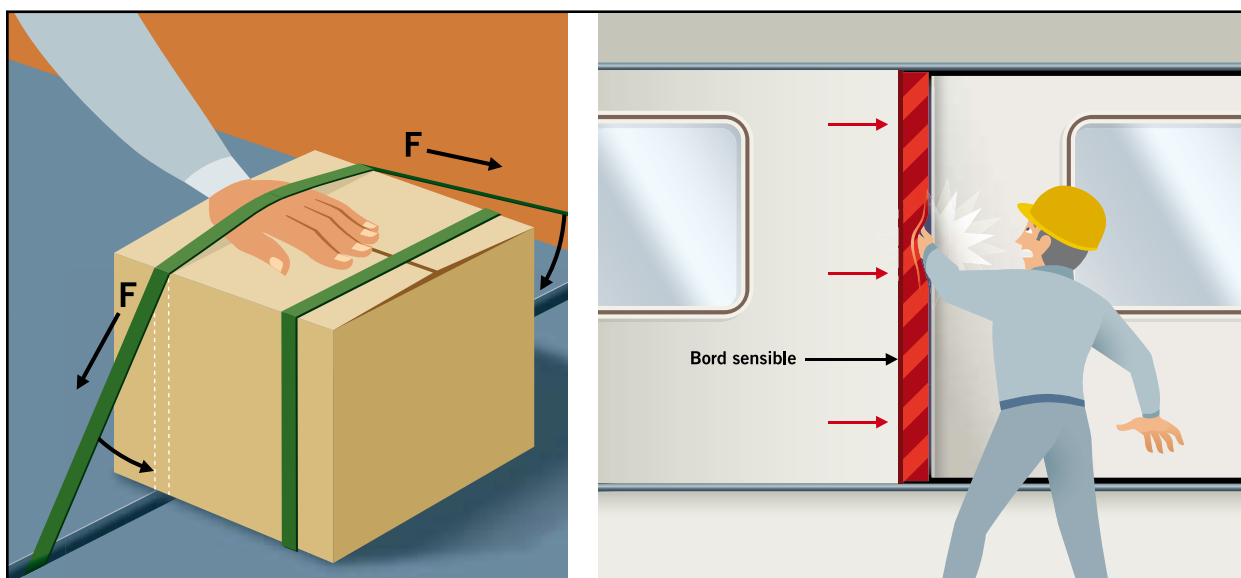
16. Voir le *Guide de conception des circuits de sécurité : introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1:1999* (version corrigée) publié par l'IRSST [14].

TABLEAU 4 : FORCES ET NIVEAUX D'ÉNERGIE MAXIMAUX¹⁷

Valeurs maximales permanentes	Valeurs maximales temporaires
Force maximale s'exerçant sur les parties du corps* 75 N	Force maximale s'exerçant sur les parties du corps 150 N
Énergie cinétique maximale de la partie mobile* 4 J	Énergie cinétique maximale de la partie mobile 10 J
Pression de contact maximale** 50 N/cm²	Pression de contact maximale 50 N/cm²

* Dans le cas des ascenseurs, le *Code de sécurité sur les ascenseurs et monte-charge* (CSA B44-00) [18] prévoit, à l'article 2.13.3.1.1, que la force de fermeture maximale doit être de 135 N. De plus, à l'article 2.13.4.2.1 c), il est mentionné que « en l'absence d'un dispositif de réouverture ou si le dispositif de réouverture est inopérant [...], l'énergie cinétique calculée pour la vitesse de fermeture moyenne [...] ne doit pas dépasser 3,5 J ».

** Dans le cas des cercluses, la norme PR EN 415-8:2004 prescrit que la pression maximale de contact doit être de 25 N/cm² pour les valeurs maximales permanentes.

**FIGURE 4-4 : PROTECTION PAR LIMITATION DES FORCES ET DES NIVEAUX D'ÉNERGIE DES PIÈCES MOBILES**

17. Conversion : 1 N = 0,102 Kgf et 1 N = 0,225 lbf.

Section 5

Protection par éloignement

La protection par éloignement fait appel à un protecteur fixe ou mobile. Plusieurs situations sont possibles (voir la figure 5-1).

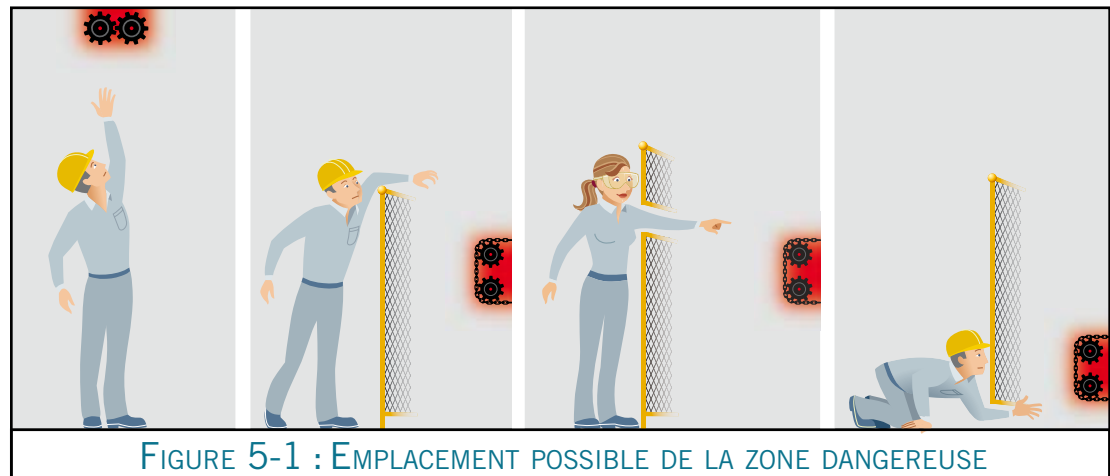


FIGURE 5-1 : EMLACEMENT POSSIBLE DE LA ZONE DANGEREUSE



Dans tous les cas suivants, la distance de sécurité déterminée tient compte du fait qu'aucun geste volontaire ne sera fait dans le but d'atteindre la zone dangereuse et qu'aucun accessoire (outil, gant, perche, etc.) ou objet faisant office de marchepied (escabeau, chaise, etc.) ne sera utilisé pour atteindre la zone dangereuse.

5.1 Atteinte vers le haut

La détermination de la distance de sécurité entre le sol, la passerelle ou la plateforme fixe de travail et le bas de la zone dangereuse est fonction de la hauteur à laquelle se trouve la zone dangereuse (voir la figure 5-2) et de son accessibilité prévisible.

Toute zone dangereuse située à moins de 2,5 m [19] du sol, de la passerelle ou de la plateforme fixe de travail doit être rendue inaccessible par un protecteur ou par un dispositif de protection.

Toute zone dangereuse située à plus de 2,5 m du sol, de la passerelle ou de la plateforme fixe de travail doit être rendue inaccessible par un protecteur ou par un dispositif de protection si son accès est prévisible (par exemple, intervention régulière de maintenance préventive par un travailleur au moyen d'une plateforme élévatrice dans la zone dangereuse ou à proximité de la zone dangereuse). Au besoin, une analyse complète du risque peut être effectuée pour définir les moyens de protection adéquats.

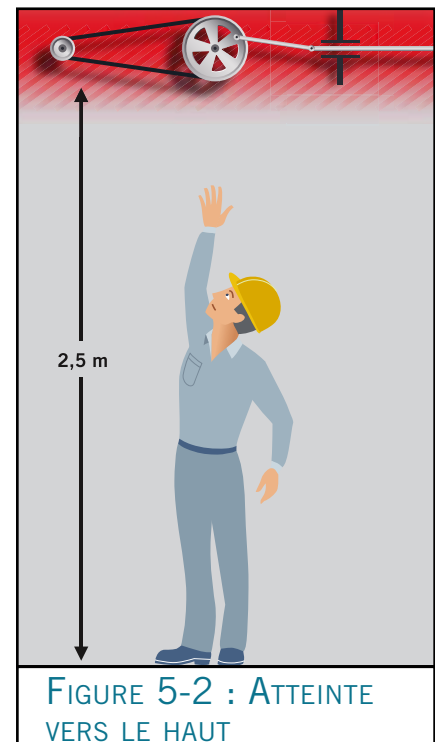


FIGURE 5-2 : ATTEINTE VERS LE HAUT

5.2 Atteinte par-dessus un protecteur fixe de maintien à distance

Pour traiter de l'accessibilité par le dessus du protecteur (voir la figure 5-3), les symboles suivants sont utilisés pour désigner les dimensions critiques :

- ▶ « a » est la hauteur de la zone dangereuse par rapport au sol ou à la plateforme de travail ;
- ▶ « b » est la hauteur du protecteur ;
- ▶ « c » est la distance horizontale entre le protecteur et la zone dangereuse.

En règle générale, un protecteur de maintien à distance qui protège une zone dangereuse doit être d'une hauteur minimale de 1800 mm¹⁸ et les valeurs « a¹⁹ » et « c » **en gras** du tableau 5-1²⁰ doivent être utilisées.

Cependant, après avoir effectué une analyse du risque, il est possible d'utiliser, en tant que valeurs minimales, l'ensemble des valeurs contenues dans le tableau 5-1 lorsque le risque est élevé ou celles du tableau 5-2 lorsque le risque est faible.

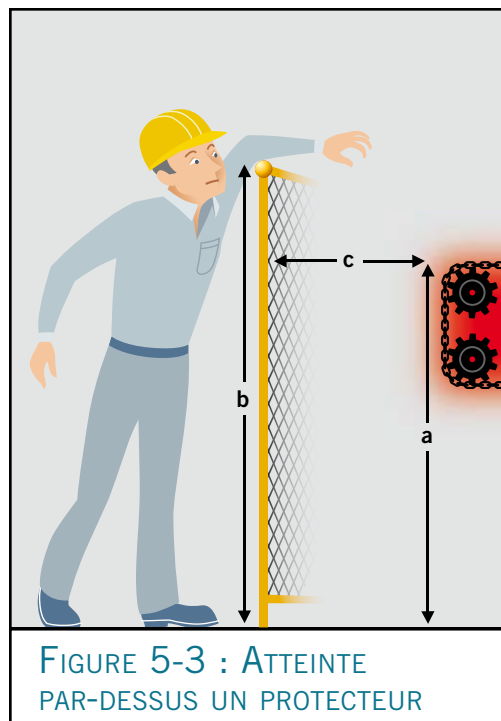


FIGURE 5-3 : ATTEINTE PAR-DESSUS UN PROTECTEUR

Aucune interpolation ne doit être faite à partir des valeurs indiquées dans ces tableaux. Si les données « a », « b » ou « c » se situent entre deux valeurs, il faut retenir, dans tous les cas, celle qui permet d'assurer la plus grande sécurité (voir les exemples explicatifs à l'annexe D).



Certaines valeurs « c » représentent une distance assez grande pour permettre qu'une personne puisse se tenir entre le protecteur de maintien à distance et la zone dangereuse. Cette possibilité doit être prise en considération au moment du choix du protecteur de maintien à distance. Il faut prévoir un dispositif interdisant la remise en marche de la machine²¹.

18. La norme CSA Z432-04 [21] mentionne à l'article 10.2.1 que « Les protecteurs doivent [...] être placés de façon que [...] la partie supérieure du protecteur ne soit pas à moins de 1,8 m au-dessus des surfaces de circulation adjacentes [...] »

19. Il faut prendre en considération la partie la plus accessible de la zone dangereuse (le bas ou le haut de la zone dangereuse).

20. Une nouvelle version des normes ISO 13852:1996 [19] et ISO 13853:1998 [22] est en cours d'élaboration et devrait être publiée prochainement sous la nouvelle référence ISO 13857.

21. Cette mesure ne dispense pas de l'obligation d'appliquer les dispositions prévues par les articles 185 et 186 du RSST [9].

TABLEAU 5-1 : RISQUES ÉLEVÉS – DISTANCES DE SÉCURITÉ EN CAS D'ATTEINTE POSSIBLE PAR-DESSUS UN PROTECTEUR [19]

Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b* » (mm)							
	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c** » (mm)								
2700	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	700	600	600	500	400	300	100	ds
2400	900	800	700	600	400	300	100	ds
2200	1000	900	800	600	400	300	ds	ds
2000	1100	900	800	600	400	ds	ds	ds
1800	1100	900	800	600	ds	ds	ds	ds
1600	1100	900	800	500	ds	ds	ds	ds
1400	1100	900	800	ds	ds	ds	ds	ds
1200	1100	900	700	ds	ds	ds	ds	ds
1000	1000	800	ds	ds	ds	ds	ds	ds
800	900	600	ds	ds	ds	ds	ds	ds
600	800	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
400	400	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
200	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
0	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds

TABLEAU 5-2 : RISQUES FAIBLES – DISTANCES DE SÉCURITÉ EN CAS D'ATTEINTE POSSIBLE PAR-DESSUS UN PROTECTEUR²² [19]

Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b* » (mm)						
	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c** » (mm)							
2500	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	ds
2200	500	500	400	350	250	ds	ds
2000	700	600	500	350	ds	ds	ds
1800	900	900	600	ds	ds	ds	ds
1600	900	900	500	ds	ds	ds	ds
1400	900	800	100	ds	ds	ds	ds
1200	900	500	ds	ds	ds	ds	ds
1000	900	300	ds	ds	ds	ds	ds
800	600	ds	ds	ds	ds	ds	ds
600	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
400	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
200	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds
0	ds	ds	ds	ds	ds	ds	ds

* Les protecteurs de maintien à distance d'une hauteur inférieure à 1400 mm mentionnés dans la norme ISO 13852:1996 ne sont pas pris en compte, car ils ne limitent pas suffisamment les mouvements.

** L'abréviation « ds » signifie distance de sécurité. Elle est définie au point 5.3.

22. D'après la norme ISO/DIS 13857 [20], article 4.1.2, note 1, « Les risques faibles résultent de risques tels que le frottement ou l'abrasion dans les cas où les dommages corporels à long terme ou irréversibles ne sont pas prévisibles. » [Traduction libre].

5.3 Atteinte à travers une des ouvertures d'un protecteur

La détermination de la distance de sécurité de la zone dangereuse par rapport au protecteur dans le cas d'une atteinte à travers le protecteur (voir la figure 5-4) est fonction de la dimension et de la forme de l'ouverture.

Les symboles suivants sont utilisés :

- ▶ « ds » est la distance de sécurité, soit la distance entre le protecteur et la zone dangereuse ;
- ▶ « e » est la plus petite dimension de l'ouverture .

5.3.1 Ouvertures dans le protecteur

Les protecteurs peuvent comprendre, pour alimenter la machine ou pour des raisons de visibilité de la zone dangereuse ou du processus, des ouvertures régulières (carrées, rondes, en forme de fente ou de rainure) ou irrégulières.

La dimension « e » correspond à la plus petite dimension d'une ouverture rectangulaire (en forme de fente), au côté d'une ouverture en forme de carré et au diamètre d'une ouverture en forme de cercle (voir la figure 5-5).

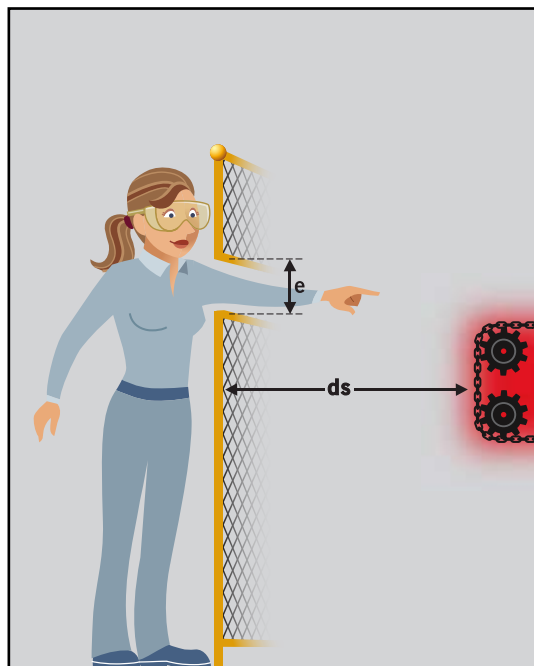


FIGURE 5-4 : ATTEINTE À TRAVERS UN PROTECTEUR

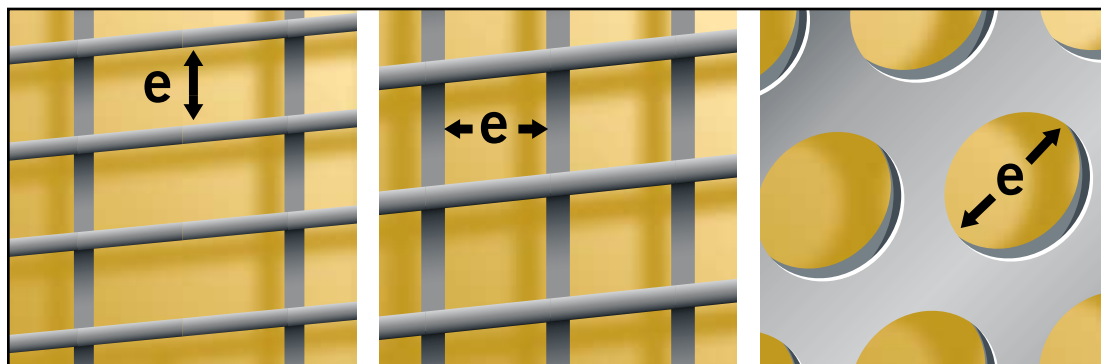


FIGURE 5-5 : FORME DES OUVERTURES DANS LES PROTECTEURS (FENTE, CARRÉ OU CERCLE)

Le tableau 5-3 permet de déterminer :

- ▶ l'ouverture maximale acceptable (forme et dimensions) en fonction de la distance de sécurité « ds » choisie ;
- ▶ la distance de sécurité « ds » en fonction de l'ouverture existante (forme et dimensions).

TABEAU 5-3 : OUVERTURE MAXIMALE EN FONCTION DE LA DISTANCE DE SÉCURITÉ « ds »

Ouverture en forme de fente ou de rainure (tiré de la norme CSA Z432-04 [21])			
Distance de sécurité « ds » (mm)	Ouverture maximale possible (mm)	Ouverture (mm)	Distance de sécurité « ds » minimale (mm)
Moins de 13	S. O.*	De 0 à 6	≥ 13
De 13 à 63,9	6	De 6,1 à 11	≥ 64
De 64 à 88,9	11	De 11,1 à 16	≥ 89
De 89 à 165,9	16	De 16,1 à 32	≥ 166
De 166 à 444,9	32	De 32,1 à 49	≥ 445
De 445 à 914,9	49	De 49,1 à 132**	≥ 915
≥ 915	132**		

Ouverture de forme carrée (tiré de la norme CSA Z432-04 [21])			
Distance de sécurité « ds » (mm)	Ouverture maximale possible (mm)	Ouverture (mm)	Distance de sécurité « ds » minimale (mm)
Moins de 13	S. O.*	De 0 à 6	≥ 13
De 13 à 47,9	6	De 6,1 à 11	≥ 48
De 48 à 65,9	11	De 11,1 à 16	≥ 66
De 66 à 165,9	16	De 16,1 à 32	≥ 166
De 166 à 444,9	32	De 32,1 à 49	≥ 445
De 445 à 914,9	49	De 49,1 à 132**	≥ 915
≥ 915	132**		

Ouverture en forme de cercle (tiré de la norme ISO 13852:1996 [19])			
Distance de sécurité « ds » (mm)	Ouverture maximale possible (mm)	Ouverture (mm)	Distance de sécurité « ds » minimale (mm)
Moins de 2	0	0 - 4	≥ 2
De 2 à 4,9	4	4,1 < e ≤ 8	≥ 5
De 5 à 19,9	8	8,1 < e ≤ 10	≥ 20
De 20 à 79,9	10	10,1 < e ≤ 12	≥ 80
De 80 à 119,9	12	12,1 < e ≤ 40	≥ 120
De 120 à 849,9	40	40,1 < e ≤ 120***	≥ 850
≥ 850	120***		

* Le protecteur doit être situé à plus de 13 mm du phénomène dangereux.

** La taille maximale des ouvertures en forme de fente et de forme carrée est de 132 mm.

*** La taille maximale des ouvertures en forme de cercle ou irrégulière est de 120 mm.

Note. – La norme CSA Z432-04 ne traite pas le cas des ouvertures rondes ou irrégulières, d'où la référence à la norme ISO 13852:1996. Cependant, il convient de noter que ces deux normes contiennent des valeurs limites différentes.

Pour vérifier si le protecteur est bien placé par rapport à la zone dangereuse en fonction des ouvertures « e », il est suggéré d'utiliser un gabarit de vérification (voir la figure 5-6) tel que le sécurimètre.



FIGURE 5-6 : SÉCURIMÈTRE

Dans le cas d'une ouverture irrégulière (voir la figure 5-7), la distance de sécurité « ds » à retenir est la plus courte des trois distances déterminées à partir des dimensions « e » déduites du diamètre de la plus petite ouverture circulaire, du côté de la plus petite ouverture carrée et de la largeur de la fente la plus étroite dans lesquelles l'ouverture irrégulière peut être inscrite complètement.

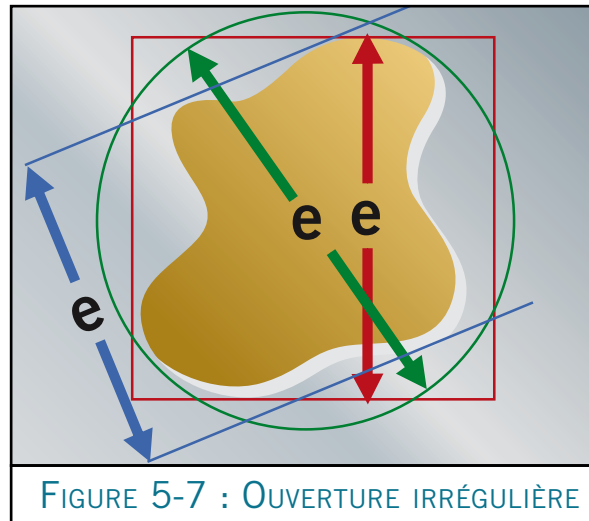


FIGURE 5-7 : OUVERTURE IRRÉGULIÈRE

5.3.2 Protection par tunnel

Un protecteur en forme de tunnel permet le passage du matériau ou de la pièce travaillée tout en empêchant le travailleur d'atteindre la zone dangereuse (voir la figure 5-8). Dans ce cas, la distance de sécurité « ds » est constituée par l'éloignement du tunnel par rapport à la zone dangereuse « ds1 » et par la longueur du tunnel « ds2 ».

La distance de sécurité « ds » dépend donc de la forme et des dimensions « e » du tunnel. Il convient d'utiliser les données du tableau 5-3 pour déterminer « e » en fonction de « ds » ou inversement. Si des ouvertures sont pratiquées dans le protecteur, il faut aussi que le protecteur soit éloigné de la zone dangereuse (voir les données du tableau 5-3).

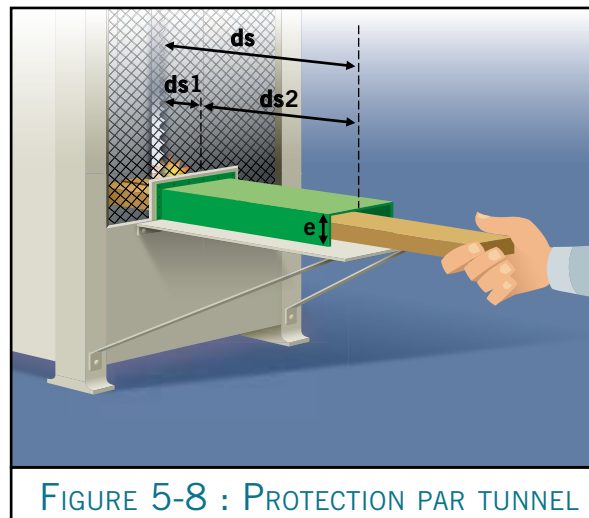


FIGURE 5-8 : PROTECTION PAR TUNNEL

La figure 5-9 illustre la protection par éloignement d'une vis sans fin [16].

5.3.3 Limitation du mouvement

Il est aussi possible de limiter les mouvements libres des membres supérieurs dans l'espace (bras, mains, doigts) en disposant des éléments supplémentaires (appui, chicane, déflecteur, plaque, etc.) entre le protecteur fixe et la zone dangereuse (voir la figure 5-10). Les tableaux 3 et 6 de la norme ISO 13852:1996 [19] fournissent des exemples.

5.4 Atteinte par-dessous un protecteur

Il peut être nécessaire de ne pas prolonger le protecteur fixe de maintien à distance jusqu'au sol pour plusieurs raisons : facilitation du nettoyage et de la récupération de pièces au sol, coût, etc. L'existence de cet espace entre le sol et le protecteur doit être prise en compte pour l'appréciation du risque afin de déterminer la distance de sécurité entre la zone dangereuse et le protecteur dans le cas d'une atteinte par le dessous du protecteur (voir la figure 5-11).

Pour limiter la nécessité de pratiquer des ouvertures sous le protecteur, il peut être utile de penser d'abord à éliminer les causes de nettoyage ou de récupération des pièces en réglant au mieux le procédé de production ou la machine. Ensuite, il faut penser à ramener automatiquement vers le protecteur et vers l'extérieur de la zone protégée les matériaux ou les pièces qui peuvent encore tomber ou s'accumuler dans la zone dangereuse. Des panneaux inclinés peuvent être utilisés pour diriger la chute des matériaux ou des pièces.

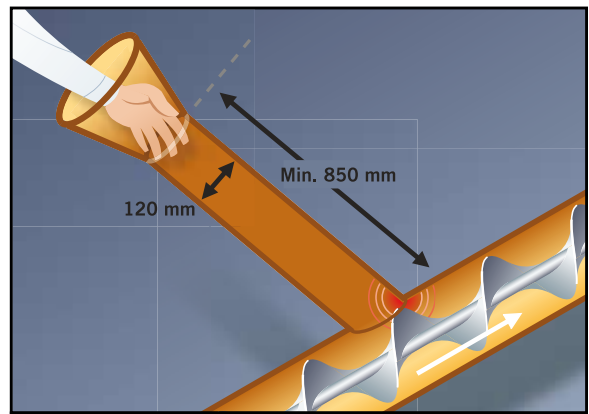


FIGURE 5-9 : PROTECTION PAR ÉLOIGNEMENT D'UNE VIS SANS FIN

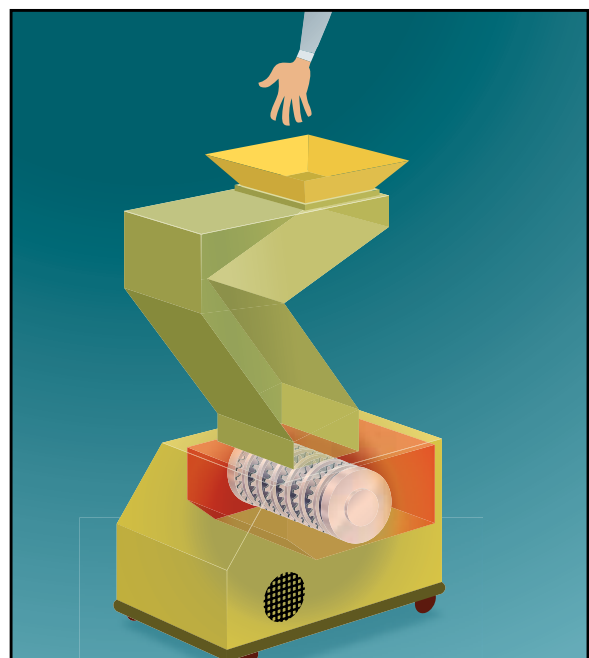


FIGURE 5-10 : BROYEUR DE PLASTIQUE MUNI DE CHICANES

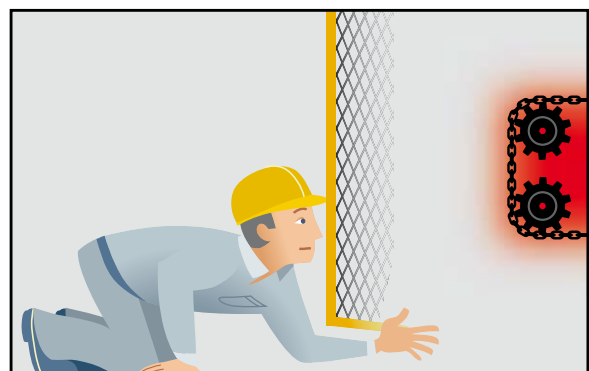


FIGURE 5-11 : ATTEINTE PAR-DESSOUS UN PROTECTEUR

5.4.1 Membres inférieurs et supérieurs

Si l'appréciation du risque permet de déterminer l'existence d'un risque d'atteinte de la zone dangereuse par-dessous le protecteur pour les membres inférieurs et les membres supérieurs, la distance de sécurité « ds » minimale, pour une ouverture de dimensions données, doit être la plus grande des distances de sécurité figurant dans le tableau 5-3 ou dans le tableau 5-4.

La dimension « e » de l'ouverture correspond au côté d'une ouverture carrée, au diamètre d'une ouverture circulaire et à la plus petite dimension d'une ouverture en forme de fente (voir la figure 5-7).

TABLEAU 5-4 : DISTANCES DE SÉCURITÉ EN CAS D'ATTEINTE POSSIBLE PAR-DESSOUS UN PROTECTEUR (MEMBRES INFÉRIEURS UNIQUEMENT) [22]				
Partie du membre inférieur	Illustration	Ouverture (mm)	Distance de sécurité « ds » (mm)	
			Fente	Carrée ou ronde
Extrémité de l'orteil		$e \leq 5$	0	0
Orteil		$5 < e \leq 15$	≥ 10	0
		$15 < e \leq 35$	$\geq 80^*$	≥ 25
Pied		$35 < e \leq 60$	≥ 180	≥ 80
		$60 < e \leq 80$	≥ 650	≥ 180
Jambe jusqu'au genou		$80 < e \leq 95$	≥ 1100	≥ 650
Jambe jusqu'à l'entre-jambe		$95 < e \leq 180$	≥ 1100	≥ 1100
		$180 < e \leq 240$	Interdit	≥ 1100
Corps entier		Attention : une ouverture en forme de fente dont « e » > 180 mm ou une ouverture carrée ou circulaire dont « e » > 240 mm permettent le passage du corps entier. Ces dimensions sont donc à proscrire.		

* Si la longueur de l'ouverture en forme de fente est inférieure à 75 mm, alors la distance de sécurité peut être \geq à 50 mm.

5.4.2 Membres inférieurs seulement

Si l'appréciation du risque permet de déterminer l'existence d'un risque pour les membres inférieurs uniquement, la distance de sécurité « **ds** » minimale doit être tirée du tableau 5-4.

5.4.3 Limitation du mouvement

Il est aussi possible de limiter les mouvements des membres inférieurs et supérieurs (voir le point 5.3.3). Il faut cependant tenir compte des différences de géométrie des membres inférieurs et supérieurs au moment de la conception des limiteurs de mouvement.

Section 6

Protection des angles rentrants

Les angles rentrants, ou zones de convergence, ou points rentrants, sont des zones dangereuses dans lesquelles les parties du corps peuvent être entraînées ou écrasées. Les angles rentrants peuvent être nombreux sur les machines (convoyeurs, presses à imprimer, machines à papier, etc.).

6.1 Formation des angles rentrants

Les angles rentrants peuvent être formés soit :

- ▶ par des cylindres en contact (ou très proches) tournant en sens opposés (voir la figure 6-1) ;
- ▶ par une paire de cylindres sans contact (voir la figure 6-2) ;
- ▶ par un cylindre proche d'un objet fixe (voir la figure 6-3) ;
- ▶ par un cylindre en contact avec une courroie (chaîne) ou le matériau travaillé (voir la figure 6-4).

Des cylindres en contact, motorisés ou non, créent un angle rentrant qui peut entraîner le travailleur pénétrant dans la zone dangereuse. Si l'adhérence de la partie du corps (peau, cheveux, etc.) ou de la partie de vêtement entraînée est grande et que la pression exercée sur celle-ci par les rouleaux est importante, le risque d'écrasement est d'autant plus grand que le diamètre des cylindres est grand.

Une paire de cylindres sans contact tournant dans des sens contraires ou une paire de cylindres sans contact tournant dans le même sens²³, ayant des vitesses circonférentielles différentes ou des coefficients de friction différents, créent un angle rentrant qui peut entraîner le travailleur qui pénètre dans la zone dangereuse.

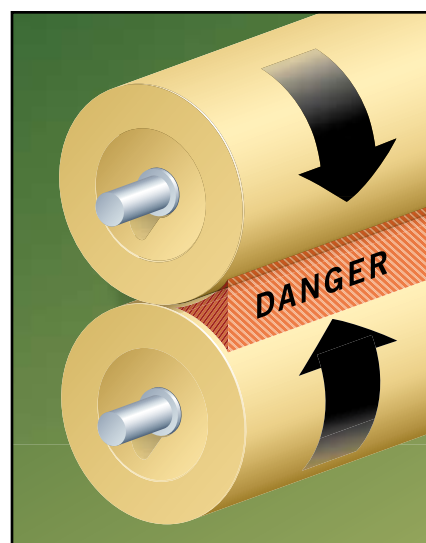


FIGURE 6-1 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR DEUX CYLINDRES EN CONTACT

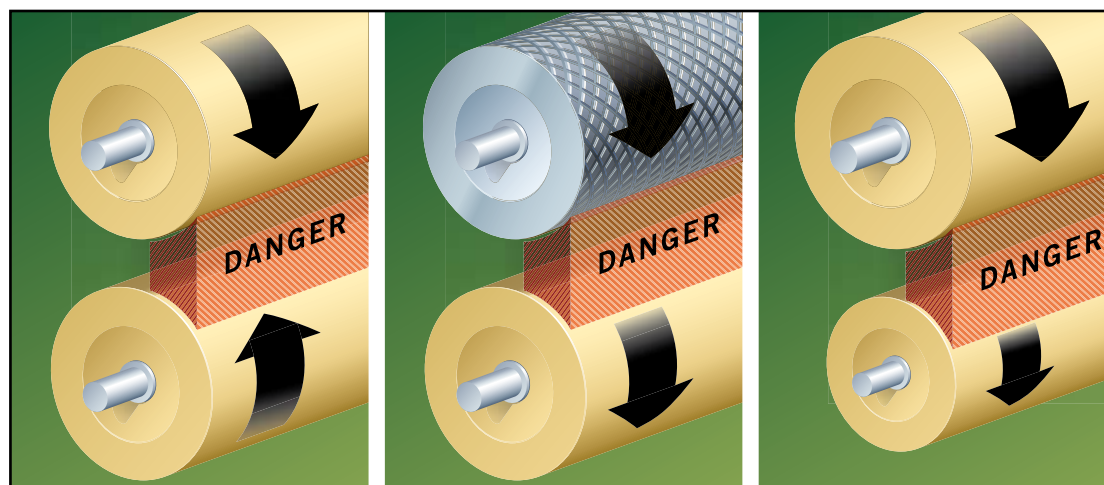


FIGURE 6-2 : ANGLES RENTRANTS FORMÉS PAR DEUX CYLINDRES SANS CONTACT (IDENTIQUES, AYANT UN REVÊTEMENT DIFFÉRENT OU UN DIAMÈTRE DIFFÉRENT)

23. Deux cylindres identiques tournant dans le même sens à la même vitesse ne créent pas d'angle rentrant entre eux.

De même, un cylindre tournant (dans un sens ou dans les deux) près d'une partie fixe crée un angle rentrant pouvant entraîner le travailleur qui pénètre dans la zone dangereuse.

Enfin, un cylindre en contact avec une courroie (conveyeur, courroie de transmission, chaîne, etc.) ou avec le matériau utilisé (feuille de papier ou de métal, tissu, etc.) crée aussi un angle rentrant, ou deux, si le cylindre tourne dans les deux sens.

En appliquant la hiérarchie de réduction du risque de la figure 1 (voir l'introduction), il est possible de protéger la zone dangereuse des angles rentrants par prévention intrinsèque, par un protecteur fixe enveloppant, par un protecteur fixe de maintien à distance ou par un protecteur fixe d'angle rentrant.

Si l'angle rentrant peut être supprimé à l'étape de la conception (par exemple, en remplaçant le rouleau par un patin de glissement), cette solution de prévention intrinsèque est à privilégier.

Si l'angle rentrant ne peut être supprimé à l'étape de la conception, mais que ses effets peuvent l'être (non entraînement des parties du corps exposées au phénomène dangereux, utilisation d'un cylindre escamotable – la force suggérée pour déplacer le cylindre doit être inférieure à 110 N [23]) –, cette solution de réduction du risque peut être utilisée (voir la figure 6-5).

Si l'angle rentrant ne peut pas être éliminé, l'utilisation d'un protecteur fixe enveloppant est à privilégier pour protéger les travailleurs des phénomènes dangereux. Enfin, il est possible d'utiliser un protecteur fixe d'angle rentrant si le risque résiduel est acceptable ou que le protecteur fixe enveloppant n'est pas compatible avec les fonctions de la machine ou avec les tâches des travailleurs.

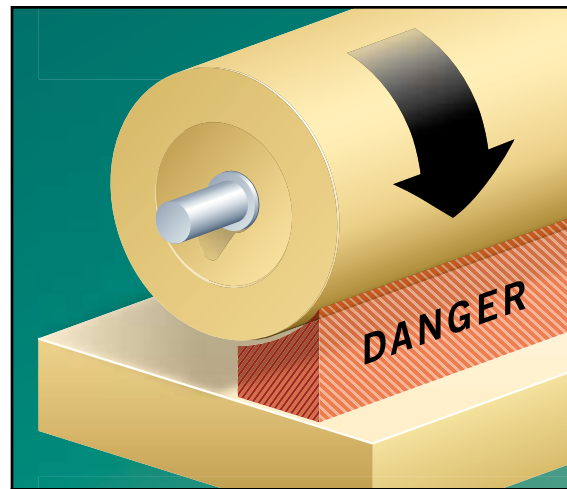


FIGURE 6-3 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR UN CYLINDRE PROCHE D'UN OBJET FIXE

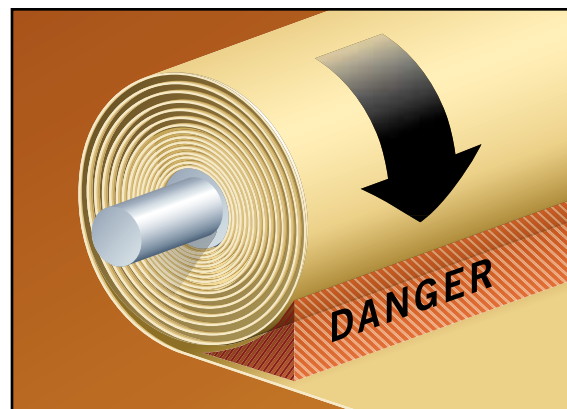


FIGURE 6-4 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR L'ENROULEMENT DU MATÉRIEL

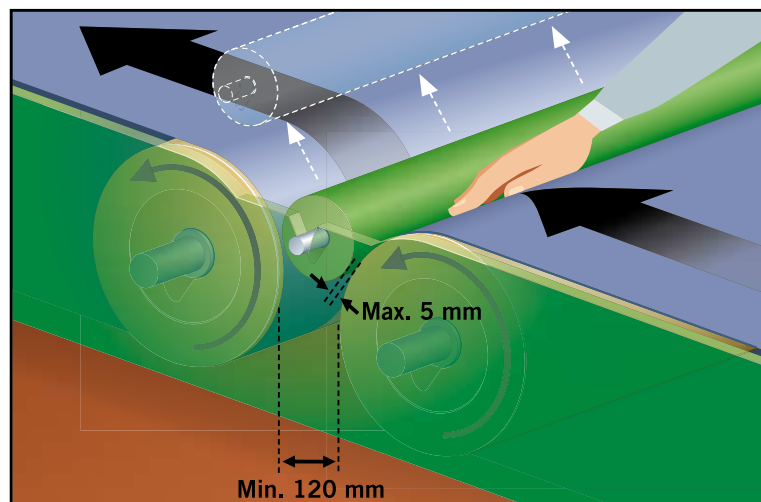
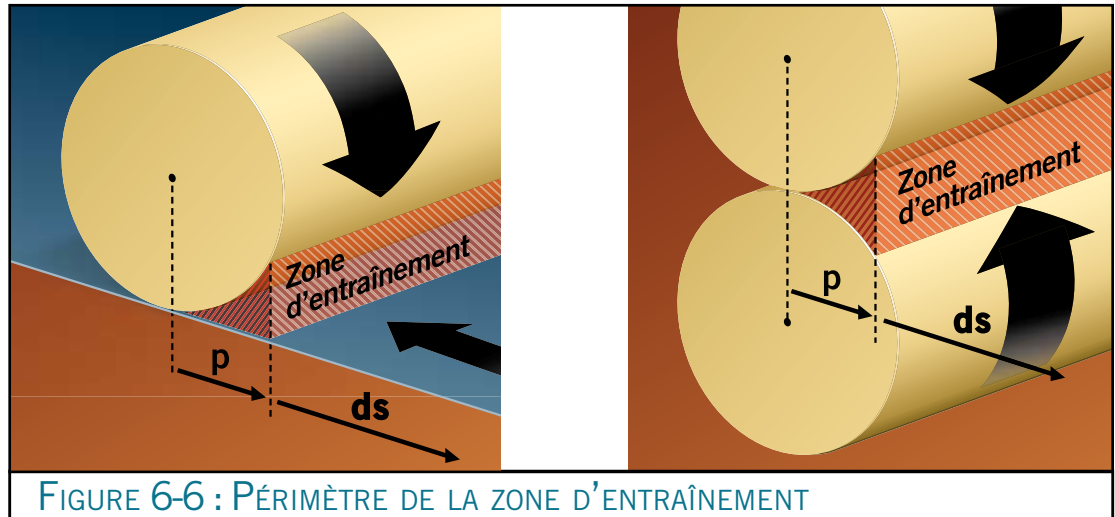


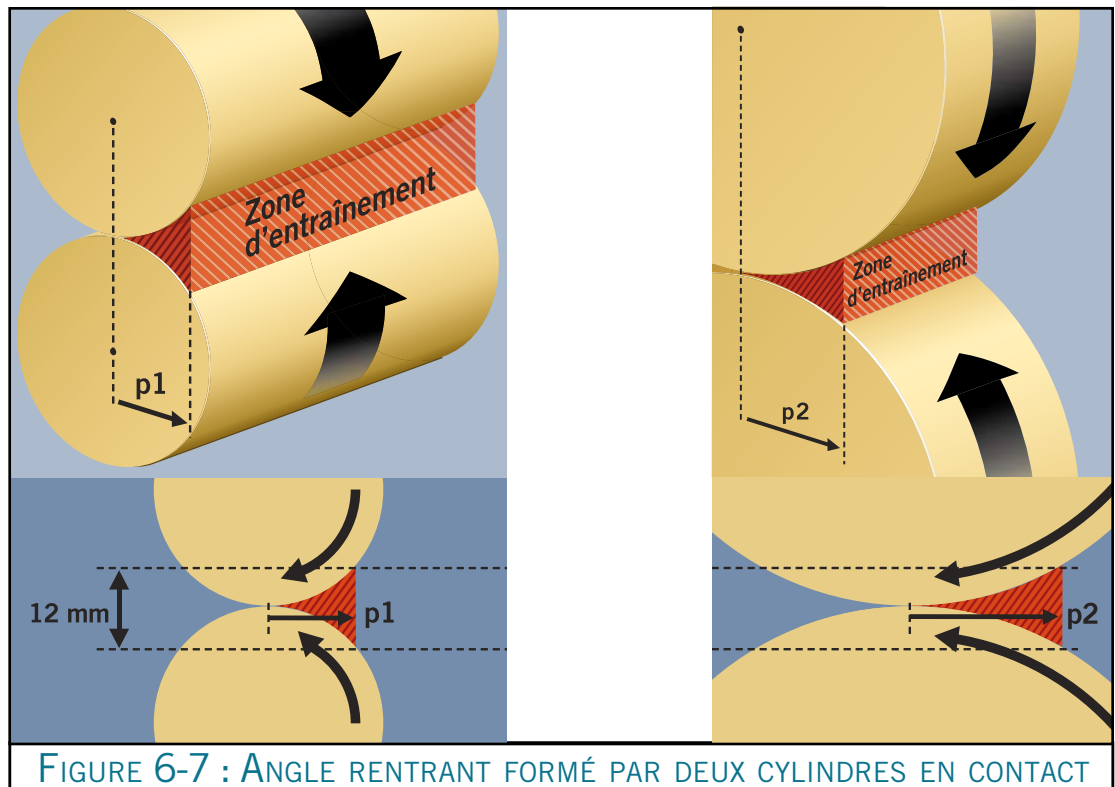
FIGURE 6-5 : UTILISATION D'UN CYLINDRE ESCAMOTABLE À LA JONCTION DE DEUX CONVOYEURS

6.2 Délimitation de la zone d'entraînement

Tous les angles rentrants créent une zone dangereuse, aussi appelée zone d'entraînement, dont la profondeur « p » varie en fonction du diamètre des cylindres. La distance de sécurité « ds » doit alors être mesurée par rapport à l'extrémité accessible de cette zone d'entraînement (appelée « périmètre de la zone d'entraînement »), et non pas par rapport à l'axe des cylindres de l'angle rentrant (voir la figure 6-6).



Dans le cas de deux cylindres en contact (voir la figure 6-7), la zone d'entraînement a la forme d'un coin d'autant plus aigu que les rayons des cylindres sont grands. La zone dangereuse est le coin compris entre les deux cylindres dont la hauteur est de 12 mm.



Le périmètre de la zone d'entraînement « $p1$ » ou « $p2$ » est déterminé par la distance de 12 mm et le diamètre des cylindres.

Dans le cas d'une bobineuse ou d'un cylindre en contact avec une courroie (voir la figure 6-8), la zone d'entraînement a la forme d'un triangle d'autant plus aigu que le rayon du cylindre est grand. La zone dangereuse est constituée du triangle compris entre le cylindre et la bande dont la hauteur est de 12 mm.

Dans le cas de deux cylindres en contact avec une bande de matériau (tissu, acier, courroie, matériau laminé, etc.), la zone d'entraînement est composée de deux parties (voir la figure 6-9), l'une en dessous de la bande et l'autre au-dessus.

Dans le cas de deux cylindres sans contact ou d'un cylindre proche d'une partie fixe, la profondeur de la zone d'entraînement varie en fonction :

- ▶ du diamètre des cylindres; et
- ▶ de l'écartement entre les cylindres; ou
- ▶ de l'écartement entre le cylindre et la partie fixe.

Ainsi, il est possible que la profondeur de la zone d'entraînement soit nulle (« p » = 0) et donc que le périmètre de la zone d'entraînement soit confondu avec l'axe des cylindres si l'écartement dépasse 12 mm (voir la figure 6-10).

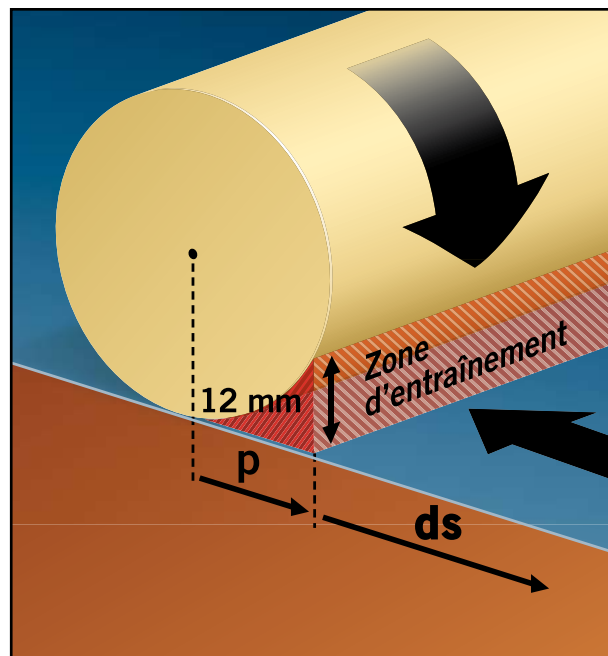


FIGURE 6-8 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR UN CYLINDRE EN CONTACT AVEC UNE COURROIE

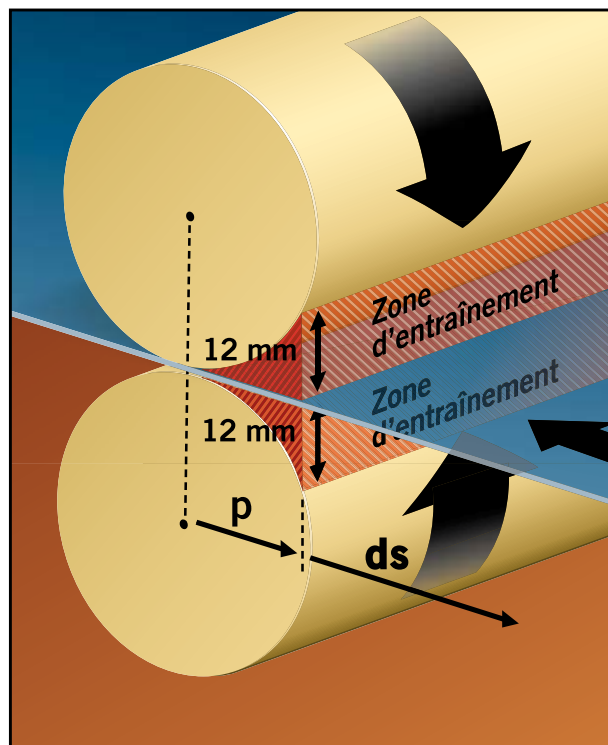


FIGURE 6-9 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR DEUX CYLINDRES EN CONTACT AVEC UNE BANDE

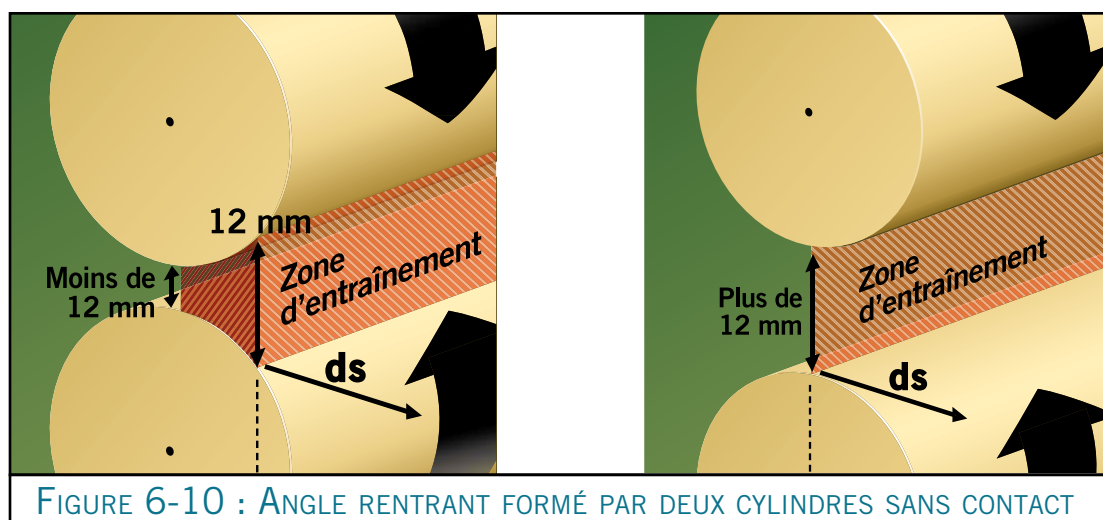


FIGURE 6-10 : ANGLE RENTRANT FORMÉ PAR DEUX CYLINDRES SANS CONTACT

6.3 Généralités sur l'utilisation des protecteurs fixes d'angle rentrant

Les protecteurs fixes d'angle rentrant (voir la figure 6-11) empêchent uniquement l'accès à la zone d'entraînement de l'angle rentrant. Ils doivent, dans la mesure du possible, remplir au maximum la zone d'entraînement²⁴ et doivent être suffisamment rigides²⁵ pour ne pas augmenter le jeu entre le protecteur et les cylindres ou la courroie. L'angle entre le protecteur et le cylindre, la courroie ou le matériau entraîné par le cylindre doit être au minimum de 60° et idéalement de 90°.

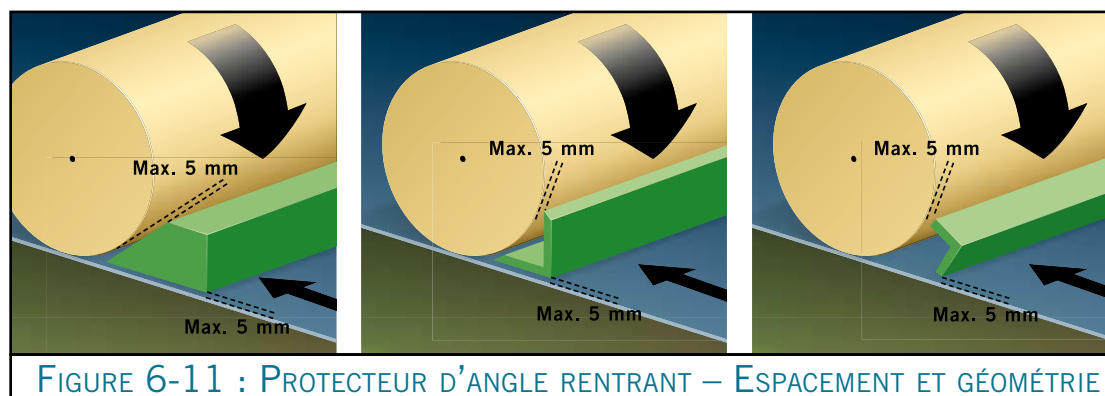


FIGURE 6-11 : PROTECTEUR D'ANGLE RENTRANT – ESPACEMENT ET GÉOMÉTRIE

Cependant, les protecteurs fixes d'angle rentrant ne protègent pas contre les risques de coincement entre le protecteur et le cylindre ou la courroie et des risques résiduels d'abrasion ou de brûlure peuvent subsister.

De plus, ils n'offrent pas une protection adéquate contre les risques d'entraînement des cheveux ou des vêtements. Il faut donc prendre en compte, au moment de l'analyse du risque, le fait que l'effet d'entraînement augmente avec le diamètre des rouleaux, leur rugosité, leur vitesse de rotation et les vêtements ou les équipements de protection individuelle portés (gants, par exemple).

L'utilisation d'un protecteur d'angle rentrant est interdite :

- ▶ s'il est impossible de conserver le jeu maximal de 5 mm entre le protecteur et la surface du cylindre et la courroie;
- ▶ si le cylindre ou la courroie n'est pas lisse (nervures, picots, aspérités, rainures, cannelures, caoutchouc gaufré, tissu abrasif, etc.)²⁶.

24. Il ne faut pas oublier qu'il est possible d'accéder à la zone dangereuse par les côtés de l'angle rentrant.

25. Voir le point 2.2 de [23] et le point 6.1 de [24].

26. Voir, par exemple, pour l'industrie textile la norme ISO 11111-1:2005 [25].

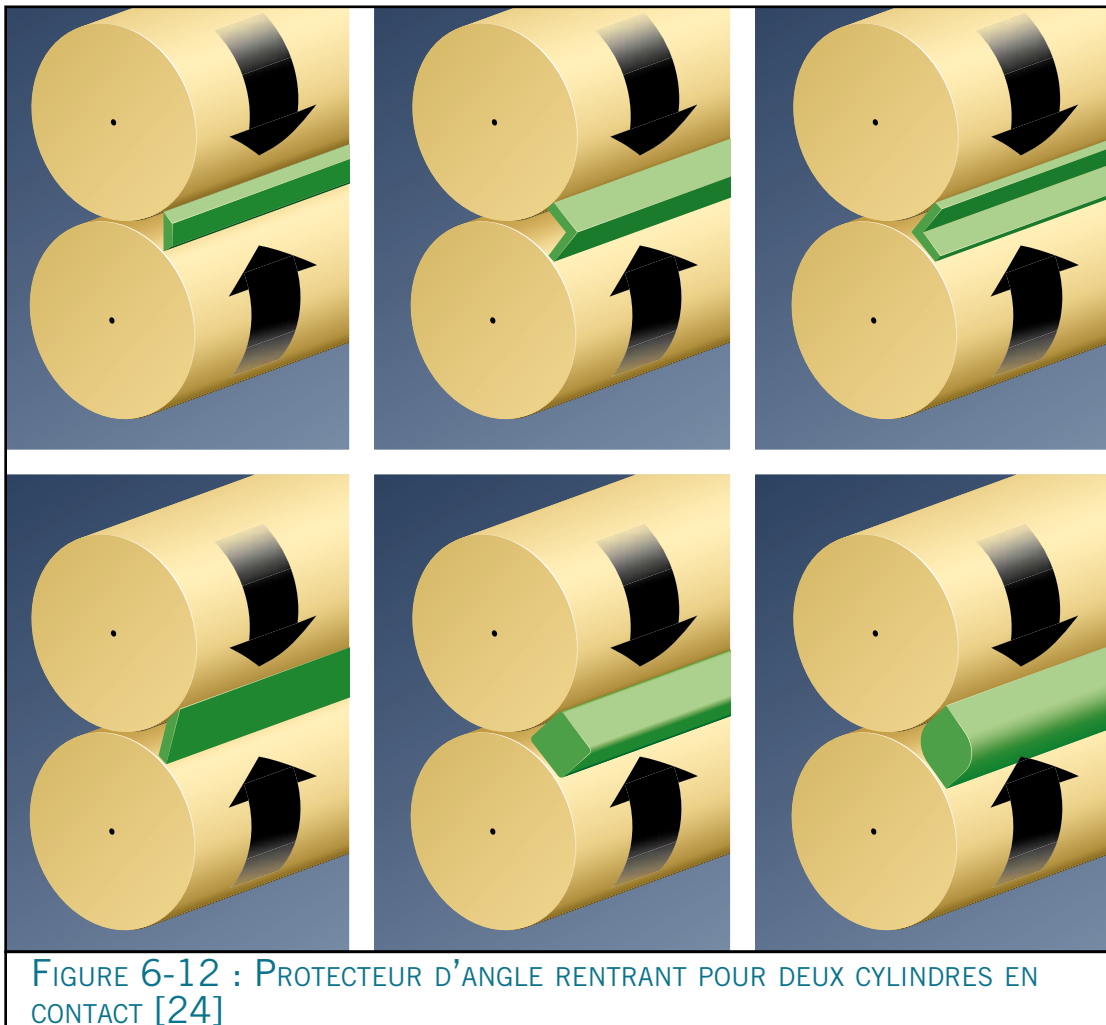
Pour limiter les risques de coincement, d'abrasion et de brûlure, le jeu entre le protecteur et le cylindre ou la courroie doit être le plus faible possible (5 mm au maximum) et l'angle entre le protecteur et la tangente au cylindre ou entre le protecteur et la courroie doit être de 90° ou d'un peu plus.

Les protecteurs d'angle rentrant conviennent particulièrement aux cylindres, aux tambours et aux rouleaux dont la paroi est lisse et complète. Ils peuvent être utilisés avec une courroie lisse, plate ou en auge, dans la mesure où ils suivent le profil de la courroie et dans la mesure où la courroie est bien tendue et ne vibre pas.

De plus, des dispositifs de protection (qui arrêtent la machine immédiatement – avant qu'un travailleur ne puisse atteindre la zone dangereuse) peuvent aussi être utilisés pour protéger l'accès à la zone dangereuse des angles rentrants (par exemple, barre d'arrêt, barre sensible²⁷ ou barrage immatériel).

6.3.1 Protection de deux cylindres en contact

Le protecteur d'angle rentrant doit empêcher l'accès à la totalité de la zone dangereuse. Il se situe à la distance de sécurité « **ds** » du périmètre de la zone d'entraînement qui concrétise le début de la zone d'entraînement. La distance de sécurité « **ds** » dépend de la dimension « **e** » et de la forme de l'ouverture (voir le point 5.3). La figure 6-12 illustre plusieurs formes de protecteur d'angle rentrant acceptables pour protéger deux cylindres en contact. L'utilisation d'une barre cylindrique est à proscrire.



27. Voir, par exemple, pour le secteur de l'imprimerie les normes EN 1010-1:2005 [5] et ANSI B65.1-2005 [24].

6.3.2 Protection de deux cylindres sans contact

L'entraînement de la main, du bras ou du corps entier entre deux cylindres sans contact peut être empêché à l'étape de la conception. Si la distance entre les deux rouleaux est au minimum de 100 mm, 120 mm ou 300 mm, alors l'angle rentrant ne sera plus considéré comme dangereux pour la main, le bras (voir la figure 6-13) ou le corps entier. Il faut cependant prévoir un autre moyen de protection pour limiter l'accès à la zone dangereuse si l'écartement est de moins de 300 mm.

Si la protection par écartement n'est pas possible ou que le risque résiduel (d'abrasion, de brûlure, d'entraînement, etc.) n'est pas acceptable, il faut alors utiliser un protecteur fixe d'angle rentrant (voir le point 6.3) ou une protection par éloignement (voir la section 5).

6.3.3 Protection d'un cylindre proche d'une partie fixe

Les possibilités d'entraînement de la main, du bras ou du corps entier entre un cylindre et une partie fixe proche peuvent être éliminées à l'étape de la conception. Si la distance entre le cylindre et la partie fixe est au minimum de 100 mm, 120 mm ou 300 mm, alors l'angle rentrant ne sera plus considéré comme dangereux pour la main, le bras (voir la figure 6-14) ou le corps entier. Il faut cependant prévoir un autre moyen de protection pour limiter l'accès à la zone dangereuse si l'écartement est de moins de 300 mm.

Si la protection par écartement n'est pas possible ou que le risque résiduel (d'abrasion, de brûlure, d'entraînement, etc.) n'est pas acceptable, il faut alors utiliser un protecteur fixe d'angle rentrant (voir le point 6.3) ou une protection par éloignement (voir la section 5).

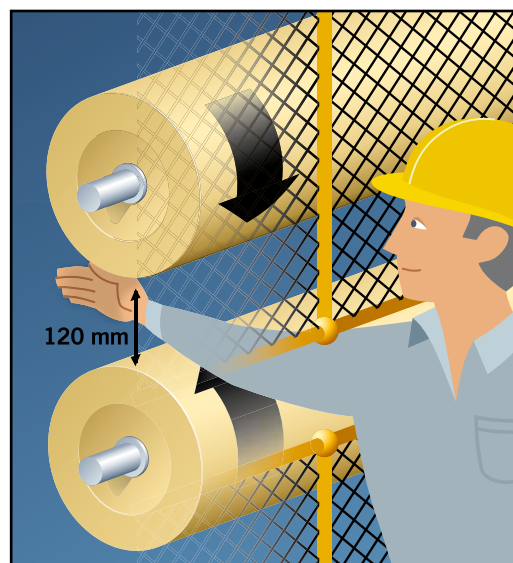


FIGURE 6-13 : PRÉVENTION À L'ÉTAPE DE LA CONCEPTION POUR DEUX CYLINDRES SANS CONTACT

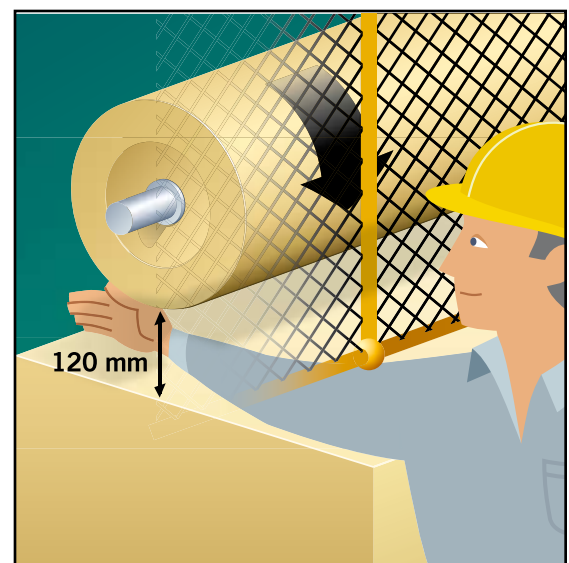


FIGURE 6-14 : PRÉVENTION À L'ÉTAPE DE LA CONCEPTION POUR UN CYLINDRE ET UNE PARTIE FIXE

6.3.4 Protection d'un cylindre en contact avec une surface plane fixe

Le protecteur d'angle rentrant doit se situer à la distance de sécurité « ds » de la zone d'entraînement (voir la figure 6-15). Les données relatives à la distance de sécurité « ds » sont précisées dans le tableau 5-3. Il ne faut pas oublier de tenir compte de l'épaisseur du matériau pour déterminer la hauteur « e » de l'ouverture ni de vérifier si la distance de sécurité « ds » est suffisante lorsque le matériau n'est pas présent.

6.3.5 Protection d'un cylindre en contact avec une courroie ou une partie plane mobile

Les protecteurs d'angle rentrant peuvent être constitués d'éléments pleins profilés ou de déflecteurs inclinés avec plaques latérales (voir la figure 6-16).

Dans le cas des convoyeurs, les solutions sont décrites dans le guide *Sécurité des convoyeurs à courroie, généralités, protection contre les phénomènes dangereux, guide de l'utilisateur* [13].

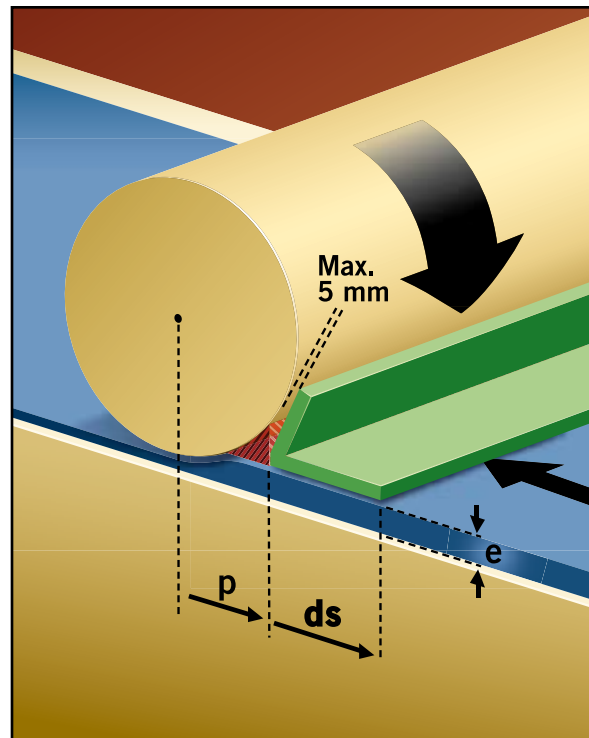


FIGURE 6-15 : PROTECTEURS D'ANGLE Rentrant POUR UN CYLINDRE EN CONTACT AVEC UNE SURFACE PLANE FIXE

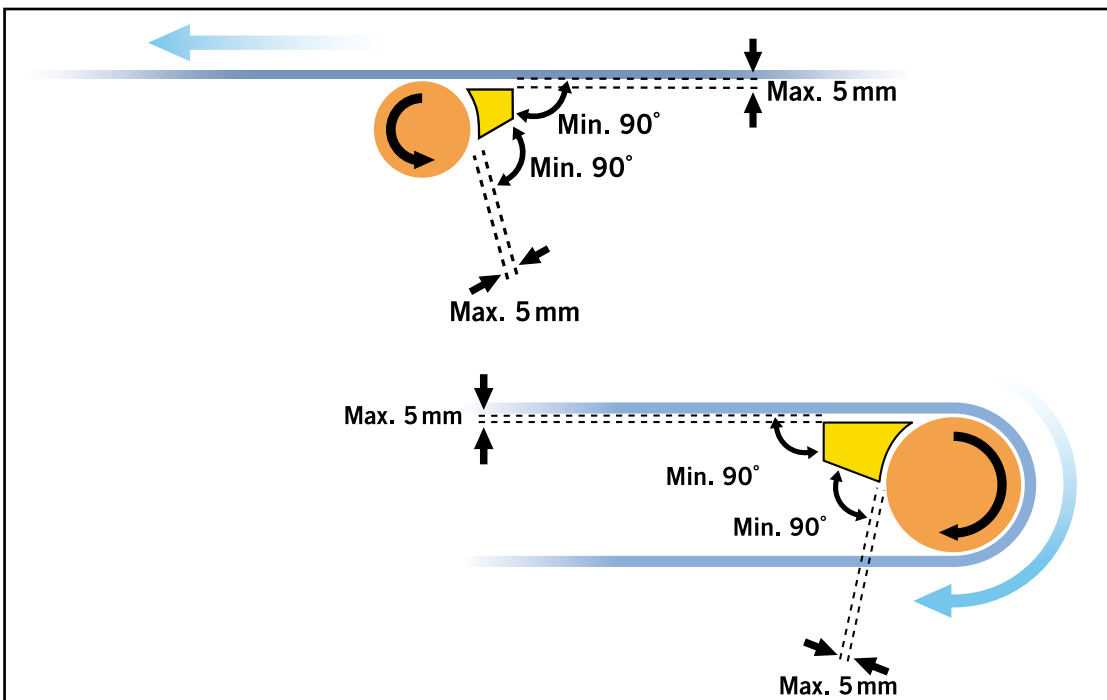


FIGURE 6-16 : PROTECTEURS D'ANGLE Rentrant POUR UN CYLINDRE EN CONTACT AVEC UNE COURROIE

AIDE-MÉMOIRE

PHÉNOMÈNES DANGEREUX

1. Phénomènes mécaniques dangereux

1.1 Facteurs à prendre en compte

- ◆ Masse, vitesse (énergie cinétique des éléments en mouvement contrôlé ou non contrôlé)
- ◆ Accélération, force
- ◆ Énergie potentielle, soit l'accumulation d'énergie à l'intérieur de la machine engendrée par :
 - des éléments élastiques (ressorts, etc.)
 - des gaz/des liquides sous pression (hydraulique, pneumatique, etc.)
 - l'effet du vide/d'une pression

1.2 Phénomènes associés à des pièces et à des outils

- ◆ Pièces et outils en mouvement
- ◆ Disposition relative des pièces et des outils en mouvement
- ◆ Angles rentrants (des rouleaux, des convoyeurs, etc.)
- ◆ Résistance mécanique inadéquate
- ◆ Formes dangereuses (tranchante, pointue, rugueuse, etc.)
(voir exemples)

1.3 Phénomènes associés à la gravité terrestre

- ◆ Masse et stabilité (chute d'éléments ou d'un travailleur sous l'effet de leur poids)
(voir exemples)

2. Phénomènes électriques dangereux

- ◆ Conducteurs sous tension
- ◆ Éléments de machine sous tension
- ◆ Phénomènes électrostatiques

3. Phénomènes thermiques dangereux

- ◆ Objets ou matériaux à des températures extrêmes (hautes ou basses)
- ◆ Présence de flamme ou explosion ; présence d'eau et de métal en fusion
- ◆ Rayonnement de sources de chaleur, ambiance de travail froide ou chaude, etc.

4. Bruit

5. Vibrations

6. Rayonnements

- ◆ Rayonnement de basse fréquence, de fréquence radio, micro-ondes, rayons X et gamma,
- ◆ Laser/lumière infrarouge, visible et ultraviolette, etc.

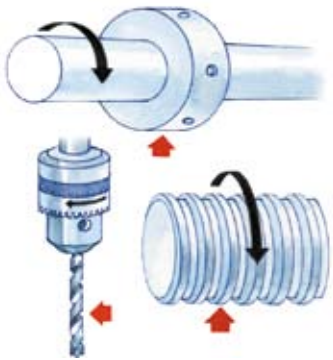
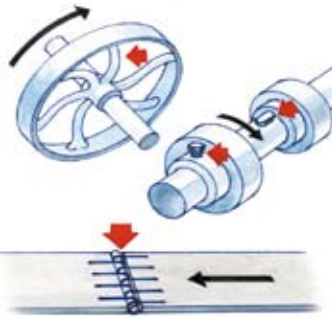
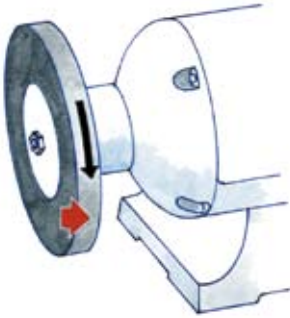
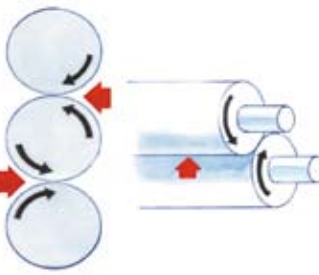
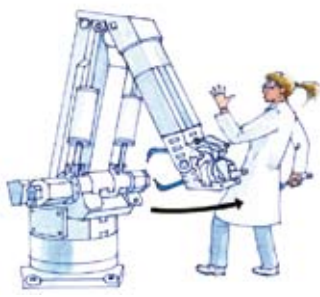

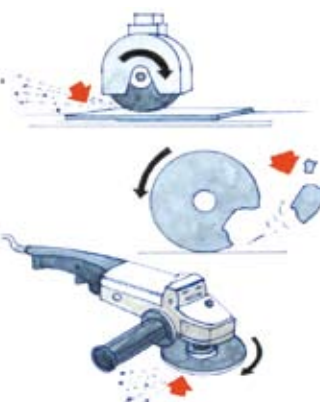
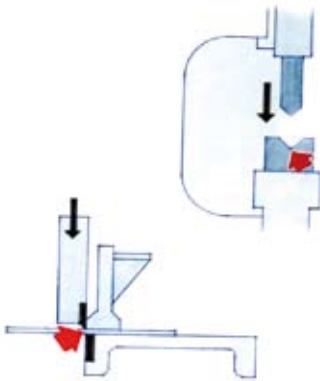
7. Phénomènes dangereux engendrés par des matériaux, des produits, des contaminants

- ◆ Matières dangereuses (nocives, toxiques, corrosives, réactives, humides, tératogènes, cancérogènes, mutagènes ou irritantes)
- ◆ Matières infectieuses et matières combustibles, inflammables, comburantes ou explosives, gaz comprimés, etc.

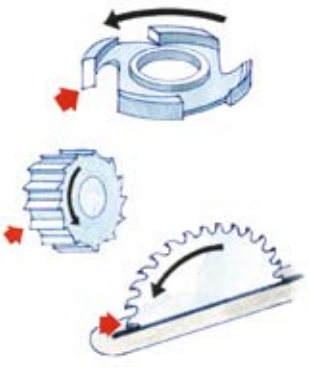
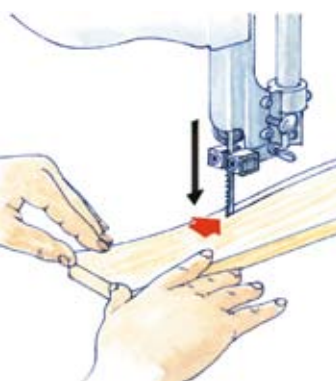
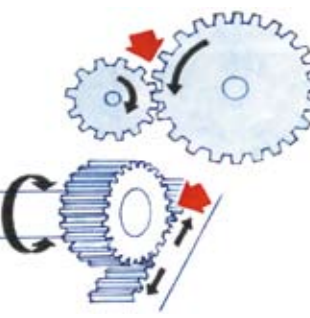
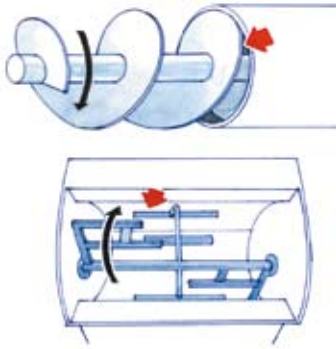
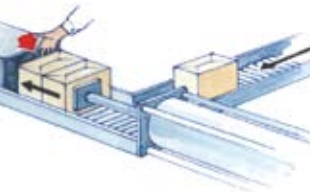
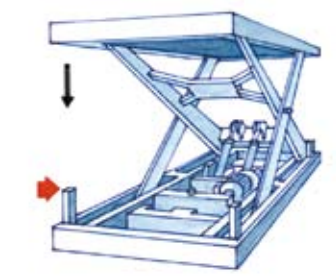
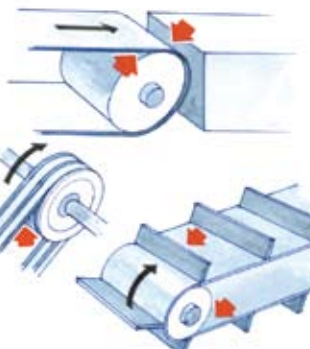
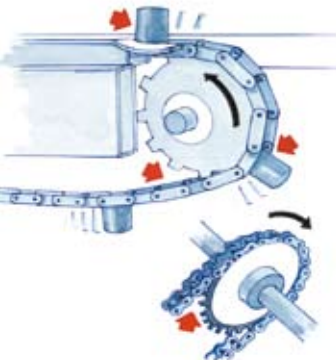
8. Phénomènes dangereux engendrés par le non-respect des principes ergonomiques

- ◆ Posture non neutre, force, répétition, absence de micro-pause, manutention fréquente
- ◆ Éclairage inadéquat, etc.
- ◆ Visibilité déficiente, mauvaise disposition des commandes
- ◆ Accès difficile à l'espace de travail, aménagement des lieux, etc.


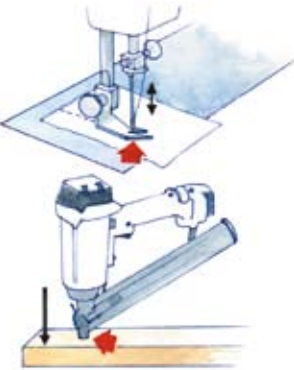
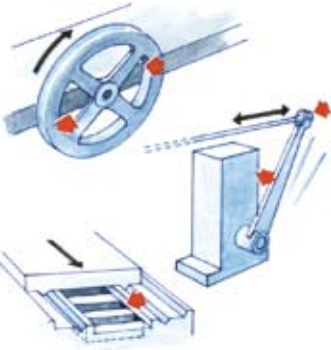
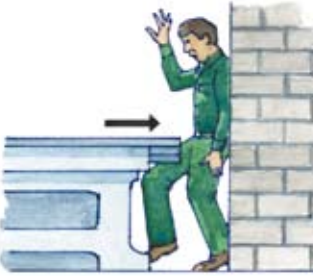
EXEMPLES DE PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES DANGEREUX ASSOCIÉS À DES PIÈCES ET À DES OUTILS

Phénomène dangereux	Conséquences possibles	Phénomène dangereux	Conséquences possibles
	<ul style="list-style-type: none"> ● Enroulement ● Happement ● Entraînement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Enroulement ● Happement ● Choc ● Écrasement ● Entraînement ● Brûlure ● Piqûre
	<ul style="list-style-type: none"> ● Happement ● Abrasion ● Entraînement ● Brûlure ● Projection 		<ul style="list-style-type: none"> ● Entraînement ● Écrasement ● Brûlure
	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc ● Écrasement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Entraînement ● Abrasion
	<ul style="list-style-type: none"> ● Perforation ● Projection ● Brûlure ● Choc 		<ul style="list-style-type: none"> ● Écrasement ● Cisaillement ● Sectionnement ● Projection


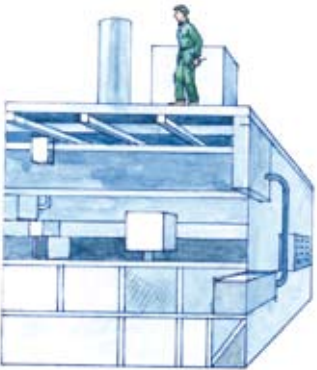




EXEMPLES DE PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES DANGEREUX ASSOCIÉS À DES PIÈCES ET À DES OUTILS

Phénomène dangereux	Conséquences possibles	Phénomène dangereux	Conséquences possibles
	<ul style="list-style-type: none"> ● Coupure ● Sectionnement ● Projection ● Entraînement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Coupure ● Sectionnement ● Projection
	<ul style="list-style-type: none"> ● Entraînement ● Écrasement ● Sectionnement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Enroulement ● Happement ● Choc ● Entraînement ● Sectionnement ● Cisaillement
	<ul style="list-style-type: none"> ● Cisaillement ● Sectionnement ● Entraînement ● Écrasement ● Choc 		<ul style="list-style-type: none"> ● Écrasement ● Cisaillement ● Sectionnement
	<ul style="list-style-type: none"> ● Entraînement ● Écrasement ● Arrachement ● Sectionnement ● Choc 		<ul style="list-style-type: none"> ● Entraînement ● Écrasement ● Arrachement ● Sectionnement ● Choc

EXEMPLES DE PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES DANGEREUX ASSOCIÉS À DES PIÈCES ET À DES OUTILS

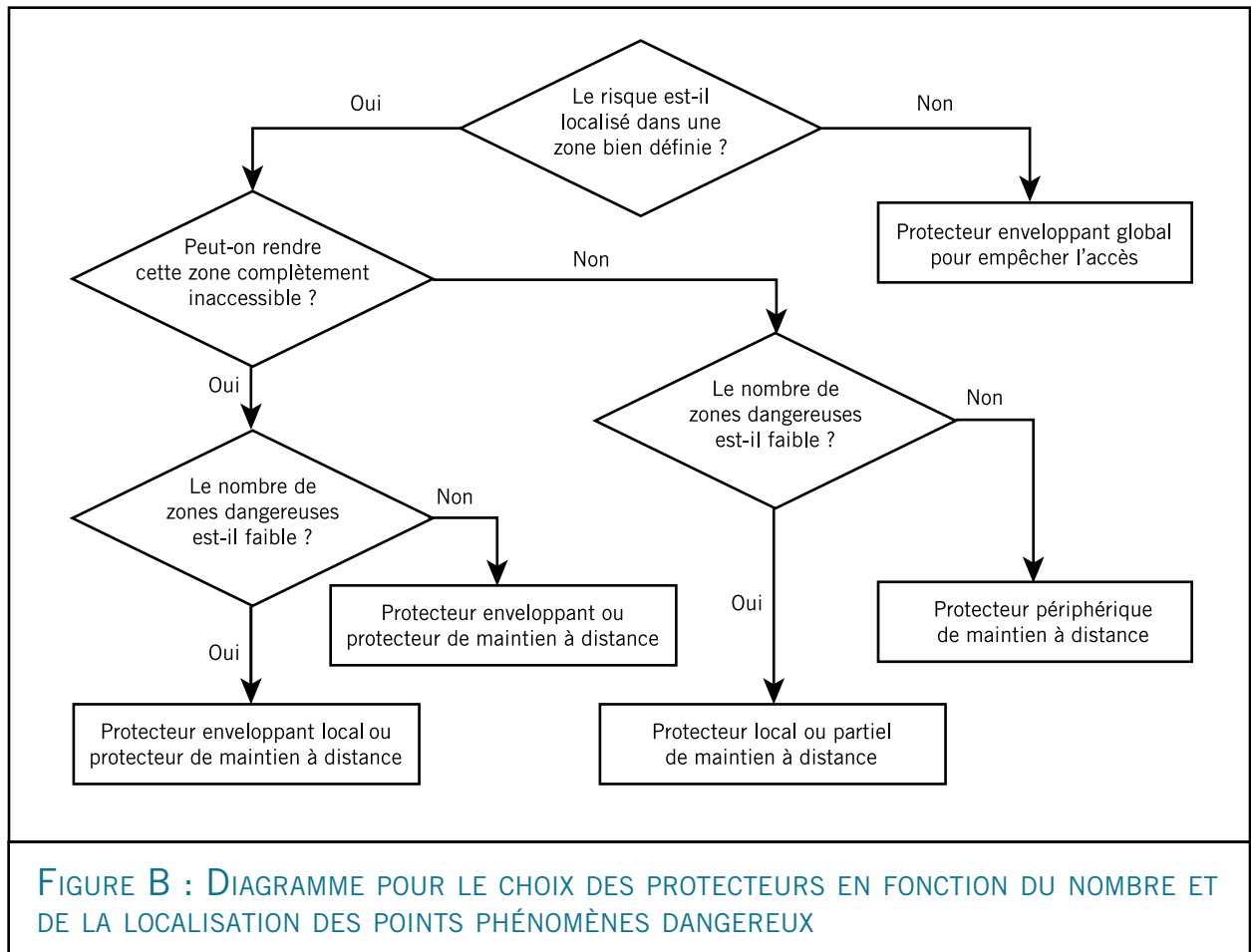
Phénomène dangereux	Conséquences possibles	Phénomène dangereux	Conséquences possibles
	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc ● Écrasement ● Entraînement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Perforation ● Piqûre ● Poinçonnement ● Projection
	<ul style="list-style-type: none"> ● Cisaillement ● Sectionnement ● Enroulement ● Happement ● Choc ● Écrasement ● Entraînement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Choc ● Écrasement

EXEMPLES DE PHÉNOMÈNES DANGEREUX ASSOCIÉS À LA GRAVITÉ TERRESTRE

Phénomène dangereux	Conséquences possibles	Phénomène dangereux	Conséquences possibles
	<ul style="list-style-type: none"> ● Effondrement ● Écroulement ● Affaissement ● Étouffement ● Coincement ● Écrasement ● Chute 		<ul style="list-style-type: none"> ● Chute ● Glissement ● Effondrement
	<ul style="list-style-type: none"> ● Écrasement ● Coincement ● Abaissement ● Effondrement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Chute ● Glissement ● Trébuchement
	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc ● Écrasement ● Effondrement 		<ul style="list-style-type: none"> ● Chute ● Trébuchement ● Glissement

Annexe B

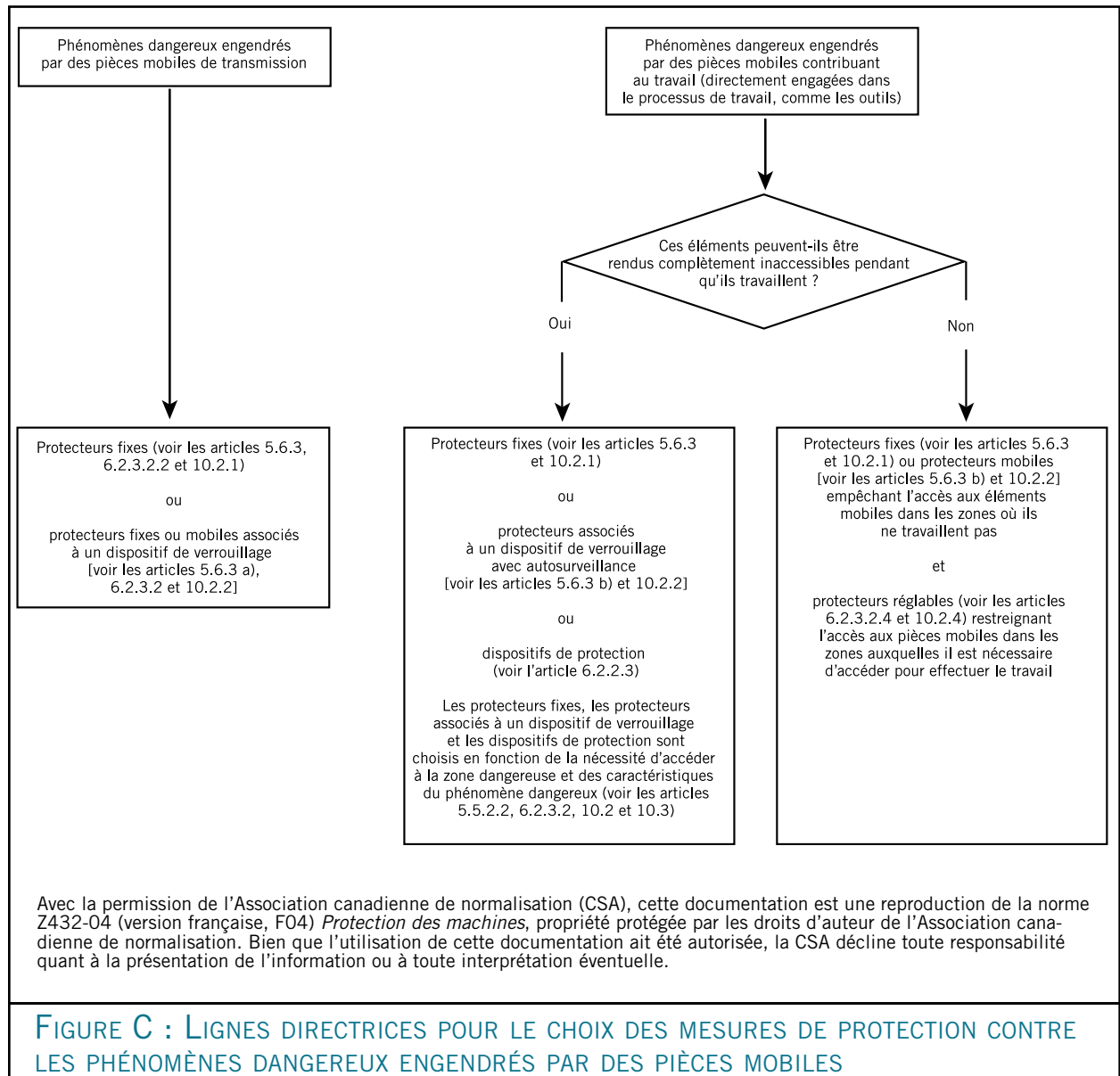
Annexe B de la norme ISO 14120:2002



Note. – La définition des termes utilisés dans cette annexe figure dans la norme [12].

Annexe C

Figure 3 de la norme CSA Z432-04



Note. – La définition des termes utilisés dans cette annexe figure dans la norme.
De même, les articles mentionnés dans la figure sont ceux de la norme [21].

Annexe D

Exemples d'utilisation des tableaux 5-1 et 5-2

EXEMPLE 1 Calcul de la hauteur « b » d'un protecteur – Risque faible

Données initiales

La hauteur « a » de la zone dangereuse est de 1500 mm et sa distance horizontale « c » par rapport au protecteur envisagé est de 700 mm.

Raisonnement

Il faut toujours choisir le protecteur assurant la plus grande sécurité. Puisque la hauteur « a » de la zone dangereuse ne figure pas dans le tableau 5-2 (pour les risques faibles), il faut tenir compte de la hauteur « a » inférieure la plus proche (1400 mm) et de la hauteur « a » supérieure la plus proche (1600 mm). Il faut ensuite trouver, pour chacune de ces deux hauteurs « a », dans quel intervalle du tableau 5-2 se situe la distance « c » horizontale de 700 mm ainsi que la hauteur « b » du protecteur correspondant à cet intervalle :

- ▶ Lorsqu'une zone dangereuse se trouve à une hauteur de 1400 mm et à une distance horizontale « c » comprise entre 100 mm et 800 mm, la hauteur « b » du protecteur doit être d'au moins 1800 mm ;
- ▶ Lorsqu'une zone dangereuse se trouve à une hauteur de 1600 mm et à une distance horizontale « c » comprise entre 500 mm et 900 mm, la hauteur « b » minimale du protecteur doit être d'au moins 1800 mm.

Dans cet exemple, on obtient dans les deux cas une hauteur « b » minimale de 1800 mm.

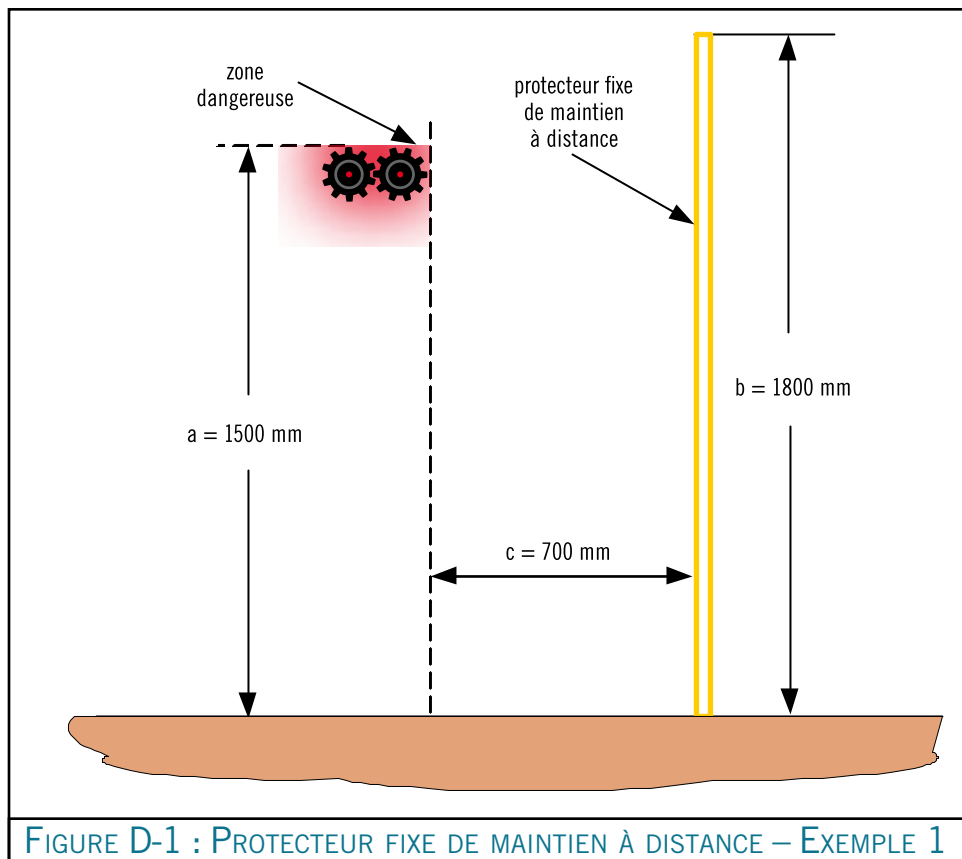
Solution

La hauteur minimale du protecteur fixe de maintien à distance « b » est donc de 1800 mm lorsque la hauteur « a » de la zone dangereuse est de 1500 mm et que sa distance horizontale « c* » par rapport au protecteur est de 700 mm (voir la figure D-1).

EXEMPLE 1 – EXTRAIT DU TABLEAU 5-2

Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b » (mm)			
	1400	1600	1800	2000
	Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c » (mm)			
2500	0	0	0	0
2400	100	100	100	100
2200	500	500	400	350
2000	700	600	500	350
1800	900	900	600	ds
1600	900	900	500	ds
1400	900	800	100	ds
1200	900	500	ds	ds

* Attention : La distance « c » est assez grande pour permettre qu'une personne puisse se tenir entre le protecteur de maintien à distance et la zone dangereuse. Cette possibilité doit être prise en considération au moment du choix du protecteur de maintien à distance (voir le point 3.2).



Si la distance horizontale « c* » entre la zone dangereuse et le protecteur envisagé est supérieure à 900 mm, la hauteur minimale du protecteur pourrait alors être de 1400 mm.

EXEMPLE 1 (SUITE) – EXTRAIT DU TABLEAU 5-2

Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b » (mm)			
	1400	1600	1800	2000
	Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c » (mm)			
2500	0	0	0	0
2400	100	100	100	100
2200	500	500	400	350
2000	700	600	500	350
1800	900	900	600	ds
1600	900	900	500	ds
1400	900	800	100	ds
1200	900	500	ds	ds

* Attention : La distance « c » est assez grande pour permettre qu'une personne puisse se tenir entre le protecteur de maintien à distance et la zone dangereuse. Cette possibilité doit être prise en considération au moment du choix du protecteur de maintien à distance (voir le point 3.2).

EXEMPLE 2 Calcul de la distance horizontale « c » entre le protecteur et la zone dangereuse – Risque faible

Données initiales

La hauteur « b » du protecteur est de 1500 mm et la hauteur « a » de la zone dangereuse est de 2100 mm.

Raisonnement

Dans le tableau 5-2 (pour les risques faibles), il faut considérer les distances « c » permises lorsque le protecteur a 1400 mm de haut (la dimension immédiatement inférieure à 1500 mm) et que la zone dangereuse est située à 2000 mm et 2200 mm. Il faut ensuite retenir la distance la plus sécuritaire.

Solution

La distance horizontale « c* » minimale entre la zone dangereuse et le protecteur est donc de 700 mm lorsque la hauteur « b » du protecteur est de 1500 mm et que la hauteur « a » de la zone dangereuse est de 2100 mm (voir la figure D-2).

EXEMPLE 2 – EXTRAIT DU TABLEAU 5-2				
Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b » (mm)			
	1400	1600	1800	2000
Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c » (mm)				
2500	0	0	0	0
2400	100	100	100	100
2200	500	500	400	350
2000	700	600	500	350
1800	900	900	600	ds

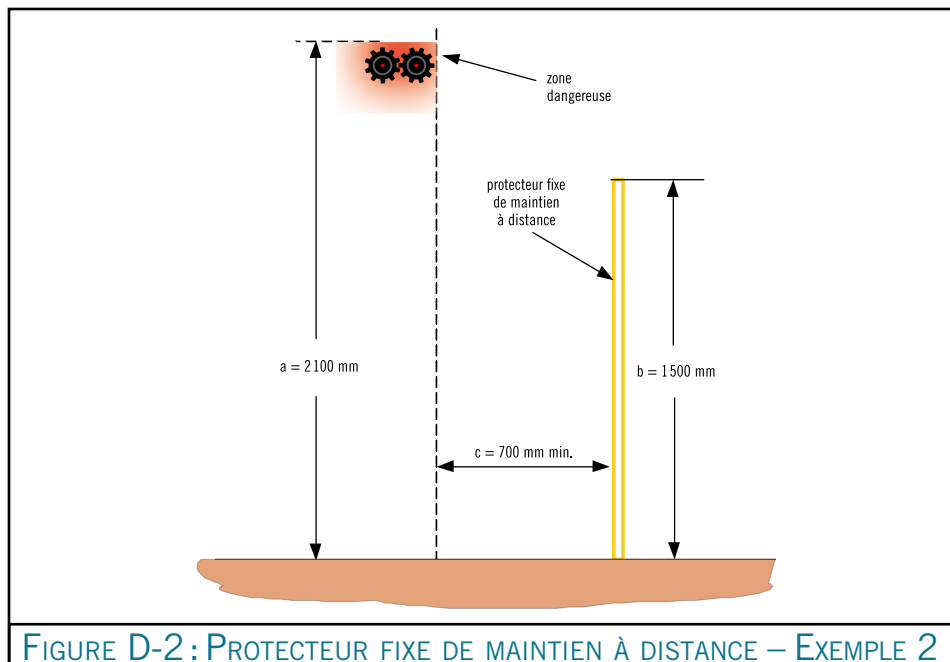


FIGURE D-2 : PROTECTEUR FIXE DE MAINTIEN À DISTANCE – EXEMPLE 2

* Attention : La distance « c » est assez grande pour permettre qu'une personne puisse se tenir entre le protecteur de maintien à distance et la zone dangereuse. Cette possibilité doit être prise en considération au moment du choix du protecteur de maintien à distance (voir le point 3.2).

Exemple 3 Calcul de la hauteur « a » admissible pour la zone dangereuse – Risque élevé

Données initiales

La hauteur « b » du protecteur est de 1700 mm et la distance horizontale « c » par rapport à la zone dangereuse est de 850 mm.

Raisonnement

Il faut tout d'abord utiliser les données du tableau 5-1 (pour les risques élevés), puis tenir compte des distances horizontales « c » admissibles lorsque les protecteurs ont 1600 mm et 1800 mm de haut. Les distances « c » admissibles étant plus grandes pour un protecteur de 1600 mm de haut, on peut se baser uniquement sur ces chiffres, puisqu'il faut toujours retenir la distance la plus sécuritaire.

Il faut alors vérifier, parmi les valeurs de « c », lesquelles sont inférieures ou égales à 850 mm. La zone dangereuse peut être située aux hauteurs « a » correspondantes.

Solution

Ainsi, la zone dangereuse doit être située à moins de 1000 mm ou à plus de 2400 mm lorsque la hauteur « b » du protecteur est de 1700 mm et que la distance horizontale « c* » par rapport à la zone dangereuse est de 850 mm.

Il sera même possible de réduire la distance « c » selon les indications données par le tableau 5-1 tout en restant sécuritaire. De plus, lorsque l'abréviation « ds » est indiquée dans le tableau (par exemple, lorsque la zone dangereuse est située à une hauteur « a » inférieure à 600 mm), il faut séparer la zone dangereuse du protecteur d'une distance qui soit fonction de la taille des ouvertures « e » dans ce dernier. La distance minimale « ds » entre la zone dangereuse et le protecteur est de 13 mm, même s'il ne comporte pas d'ouverture.

EXEMPLE 3 – EXTRAIT DU TABLEAU 5-1				
Hauteur de la zone dangereuse « a » (mm)	Hauteur du protecteur fixe de maintien à distance « b » (mm)			
	1400	1600	1800	2000
Distance horizontale par rapport à la zone dangereuse « c » (mm)				
2700	0	0	0	0
2600	700	600	600	500
2400	900	800	700	600
2200	1000	900	800	600
2000	1100	900	800	600
1800	1100	900	800	600
1600	1100	900	800	500
1400	1100	900	800	ds
1200	1100	900	700	ds
1000	1000	800	ds	ds
800	900	600	ds	ds
600	800	ds	ds	ds
400	400	ds	ds	ds
200	ds	ds	ds	ds
0	ds	ds	ds	ds

* Attention : La distance « c » est assez grande pour permettre qu'une personne puisse se tenir entre le protecteur de maintien à distance et la zone dangereuse. Cette possibilité doit être prise en considération au moment du choix du protecteur de maintien à distance (voir le point 3.2).

Références

- [1] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). *Sécurité des machines, aide-mémoire : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages*, 2004. (DC 900-337)
- [2] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 13849-1:1999, *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1, principes généraux de conception*, 1999. (NO-121022)
- [3] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 14121:1999, *Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque*, 1999. (NO-120614)
- [4] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 12100-1:2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1 : terminologie de base, méthodologie*, 2003. (NO-120663)
- [5] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. EN 1010-1:2005, *Sécurité des machines – Prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier – Partie 1 : prescriptions communes*, 2005. (NO-003684)
- [6] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 11161:2007, *Sécurité des machines – Systèmes de fabrication intégrés – Prescriptions fondamentales*, 2007. (NO-120784)
- [7] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 12100-2:2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 2 : principes techniques*, 2003. (NO-120777)
- [8] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, L.R.Q., c. S-2.1. (RJ-500017)
- [9] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*, décret 1120-2006, c. S-2.1, r. 19.01, décembre 2006. (RJ-510071)
- [10] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 14119:1998, *Sécurité des machines – Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs – Principe de conception et de choix*, 1998. (NO-120715)
- [11] LUPIN, Henri et Jacques MARSOT. *Sécurité des machines et des équipements de travail – Moyens de protection contre les risques mécaniques*, INRS, ED 807, 2006. (MO-127648)
- [12] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 14120:2002, *Sécurité des machines – Protecteurs – Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles*, 2002. (NO-121018)
- [13] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). *Sécurité des convoyeurs à courroie, généralités, protection contre les phénomènes dangereux, guide de l'utilisateur*, 2004. (DC 200-16227-1)
- [14] BOURBONNIÈRE, Réal et collaborateurs. *Guide de conception des circuits de sécurité : introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1:1999* (version corrigée), R405, IRSST, 2005.
- [15] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 13854:1996, *Sécurité des machines – Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain*, 1996. (NO-002192)
- [16] ASSOCIATION INTERNATIONALE DE SÉCURITÉ SOCIALE (AISS). *Prévention des risques mécaniques, solutions pratiques*, ISSA Prevention Series No. 2014 (F), Genève, AISS, 1994. (MO-018138)
- [17] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. CSA Z434-03, *Robots industriels et systèmes robotiques : exigences générales de sécurité*, 2003. (NO-120722)
- [18] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. CSA B44-00, *Code de sécurité sur les ascenseurs et monte-charge*, 2000. (NO-000895)

- [19] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 13852:1996, *Sécurité des machines – Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs*, 1996. (NO-002191)
- [20] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO/DIS 13857, *Sécurité des machines – Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses*, 2007.
- [21] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. CSA Z432-04, *Protection des machines*, 2004. (NO-001570)
- [22] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 13853:1998, *Sécurité des machines – Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs*, 1998. (NO-002202)
- [23] AUSTRALIAN STANDARD. AS 1755-2000, *Conveyors – Safety Requirements*, 2000. (NO-003915)
- [24] AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI B65.1-2005, *Graphic technology – Safety Standard – Printing Press Systems*, 2005. (NO-200001)
- [25] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 11111-1:2005, *Matériel pour l'industrie textile – Exigences de sécurité – Partie 1 : exigences communes*, 2005. (NO-003615)

Note. – Les documents publiés par la CSST peuvent être commandés en mentionnant le numéro du document (DC) ou consultés en ligne au www.csst.qc.ca. La majorité des documents peut être consultée au Centre de documentation de la CSST en mentionnant la cote. Les documents de l'IRSST ou de l'INRS peuvent être consultés dans leur site respectif.

Bibliographie

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Aide-mémoire : phénomènes dangereux*, 2004. (DC 100-482-1)

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Sécurité des convoyeurs à courroie, principes de conception pour améliorer la sécurité, guide du concepteur*, 2004. (DC 200-16226)

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction*, décret 873-2003, c. S-2.1, r. 6, 2003. (RJ-510413)

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines*, décret 119-2006, c. S-2.1, r. 19.1, 2006. (RJ-510068).

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 13855:2002, *Sécurité des machines – Positionnement des dispositifs de protection par rapport à la vitesse d’approche des parties du corps*, 2002. (NO-121019)

VAILLANCOURT, D.R. et S.H. SNOOK. “A review of Machine-guarding recommendations”, *Applied Ergonomics*, Vol. 26, No. 2, 1995, p. 141-145. (AP-048660)

Note. – Les documents publiés par la CSST peuvent être commandés en mentionnant le numéro du document (DC) ou consultés en ligne au www.csst.qc.ca. La majorité des documents peut être consultée au Centre de documentation de la CSST en mentionnant la cote.

Des solutions existent :
www.csst.qc.ca.

La prévention,
j'y travaille !