



Sécurité des machines et des équipements de travail

Moyens de protection
contre les risques mécaniques

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les CRAM-CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels. Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les CRAM. Pour les obtenir, adressez-vous au service prévention de la Caisse régionale ou de la Caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collègue représentant les employeurs et d'un collègue représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses régionales d'assurance maladie et les Caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.

Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).

La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de deux ans et d'une amende de 150 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2006. Maquette Michèle Billerey. Schémas Christiane Bourbon. Illustration de couverture Bernard Chadebec.

Sécurité des machines et des équipements de travail

Moyens de protection
contre les risques mécaniques

Henri Lupin, Jacques Marsot,
INRS

Sommaire

	Page
AVANT-PROPOS. AVERTISSEMENT	5
Chapitre 1 TERMINOLOGIE. DÉFINITIONS	6
Chapitre 2 STRATÉGIE POUR LE CHOIX DES MOYENS DE PROTECTION	8
2.1. Identification des phénomènes dangereux d'origine mécanique	9
2.2. Description et estimation du risque	12
2.3. Choix des moyens de protection	12
Chapitre 3 DISTANCES DE SÉCURITÉ, LIMITATION D'EFFORTS ET D'ÉNERGIE	15
3.1. Principe	15
3.2. Documents de référence	15
3.3. Protection par éloignement	15
3.4. Protection contre les risques d'écrasement	21
3.5. Protection par limitation des efforts et de l'énergie	22
3.6. Protection contre les zones de convergence	23
Chapitre 4 PROTECTEURS	27
4.1. Généralités	27
4.2. Choix du type de protecteur	28
4.3. Protecteur fixe	29
4.4. Protecteur mobile	29
4.5. Protecteur réglable sans outil	41
4.6. Comparaison de matériels entrant dans les dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage	42
Chapitre 5 ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION SENSIBLES CONÇUS POUR LA DÉTECTION DES PERSONNES	43
5.1. Équipements de protection sensibles optoélectroniques	43
5.2. Équipements de protection sensibles à la pression	49
5.3. Comparaison des équipements sensibles conçus pour la détection des personnes	54
Chapitre 6 DISPOSITIFS DE VALIDATION	57
6.1. Commandes bimanuelles	57
6.2. Autres dispositifs de validation	60
Chapitre 7 DISPOSITIFS D'ARRÊT D'URGENCE	65
7.1. Définitions	65
7.2. Principales exigences de sécurité	66
7.3. Organes de service d'arrêt d'urgence	67
7.4. Documents de référence	68
Chapitre 8 CONSIGNATIONS ET DÉCONSIGNATIONS	69
8.1. Définitions	69
8.2. Procédures types de consignation	70

8.3. Procédures de déconsignation	71
8.4. Documents de référence	71
Chapitre 9 SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT DES MACHINES. CIRCUITS DE COMMANDE	73
9.1. Définitions	73
9.2. Généralités	73
9.3. Catégories des parties de système de commande relatives à la sécurité	74
9.4. Système de commande électromécanique	75
9.5. Automate programmable dédié à la sécurité	84
9.6. Systèmes de commande hydraulique et pneumatique	94
9.7. Documents de référence	95
ANNEXES	97
1. Normes citées dans le document	99
2. Références bibliographiques	101

Ce document a été élaboré par les auteurs en collaboration étroite avec

M. BERT Caisse régionale d'assurance maladie de Bourgogne-Franche-Comté.
M. CICCOTELLI Institut national de recherche et de sécurité.
M. HUE Caisse régionale d'assurance maladie du Centre.

Ont également apporté leur concours

M. DARVES-BORNOZ Caisse régionale d'assurance maladie de Rhône-Alpes.
M. DAVID Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France.
M. KNEPPERT Institut national de recherche et de sécurité.

Avant-propos

Ce document ne traite que des moyens de protection contre les risques mécaniques et a pour objectif de faciliter leur choix. Il est bien entendu que d'autres mesures de prévention peuvent être mises en œuvre pour améliorer la sécurité des opérateurs sur machines. Il s'agit essentiellement :

- des mesures d'organisation (aménagement des postes de travail, adaptation des modes opératoires, etc.),
- de la formation et de l'information des opérateurs,
- de l'emploi de protections individuelles.

Ce document n'est pas un recueil exhaustif, mais il reprend des exemples de moyens de protection connus à ce jour, dont on peut s'inspirer pour réduire les risques mécaniques engendrés par les machines. Pour le choix final du moyen de protection, il est recommandé de s'appuyer sur les

documents de référence cités en fin de chaque chapitre. Par ailleurs, en ce qui concerne le cas très spécifique des machines à bois et des presses à métaux, il y a lieu de se référer aux documents [1], [2] et [3] les concernant cités en annexe 2.

Les deux premiers chapitres de ce recueil reprennent les principales définitions normalisées et résument la démarche à suivre pour le choix d'un moyen de protection. Les chapitres suivants sont spécifiques à un moyen de protection. Pour chacun d'entre eux, les points suivants sont abordés : les définitions normalisées spécifiques, l'aspect réglementaire, leur principe, les facteurs à prendre en compte pour leur choix et leur mise en œuvre, les principaux documents de référence.

Une liste non exhaustive de fabricants est **présentée sur le site Internet de l'INRS (www.inrs.fr)**.

Avertissement

Des extraits de normes ont été reproduits dans ce document avec l'autorisation de l'AFNOR. Seuls font foi les textes de ces normes édités par l'AFNOR dans leur version originale.

Tous les extraits de normes figurent dans ce document en couleur.

Les normes citées dans cette brochure ne sont pas d'application obligatoire et elles ont été élaborées en vue de la conception des machines et des équipements de travail neufs ou considérés comme neufs. Cependant, les informations techniques qu'elles contiennent peuvent aider utilement les personnes en charge de l'amélioration des machines en service.

La validité des informations contenues dans ce document s'entend à la date de son élaboration, soit octobre 2006.

Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie, en fin d'ouvrage.

1 Terminologie Définitions

Machine (NF EN 292-1, § 3.1)

« Ensemble de pièces ou d'organes liés entre eux, dont au moins un est mobile et, le cas échéant, d'actionneurs, de circuits de commande et de puissance, etc., réunis de façon solidaire en vue d'une application définie, notamment pour la transformation, le traitement, le déplacement et le conditionnement d'un matériau.

Est également considéré comme "machine" un ensemble de machines qui, afin de concourir à un seul et même résultat, sont disposées et commandées de manière à être solidaires dans leur fonctionnement. »

Prévention intrinsèque

(NF EN 292-1, § 3.18)

« Mesures de sécurité qui consistent à :

- éviter ou réduire autant de phénomènes dangereux que possible en choisissant convenablement certaines caractéristiques de conception et,
- limiter l'exposition des personnes aux phénomènes dangereux inévitables ou qui ne peuvent être suffisamment réduits ; ceci s'obtient en réduisant le besoin, pour l'opérateur, d'intervenir dans des zones dangereuses. »

Sécurité positive

(NF EN 292-1, § 3.17)

« Situation théorique qui serait réalisée si une fonction de sécurité restait assurée en cas de défaillance du système d'alimentation en énergie ou de tout

composant contribuant à la réalisation de cette situation.

Dans la pratique, on se rapproche d'autant plus de la réalisation de cette situation que l'effet des défaillances sur la fonction de sécurité considérée est plus réduit. »

Fonctions de sécurité directe

(NF EN 292-1, § 3.13.1)

« Fonctions d'une machine dont le dysfonctionnement augmenterait immédiatement le risque de lésion ou d'atteinte à la santé.

Il y a deux catégories de fonctions de sécurité directe :

a) Les fonctions de sécurité proprement dites, qui sont des fonctions de sécurité directe spécifiquement destinées à assurer la sécurité.

Exemples :

- fonction prévenant la mise en marche imprévue/intempestive (dispositif de verrouillage associé à un protecteur),
- fonction de non répétition de cycle,
- fonction de commande bimanuelle,
- etc.

b) Les fonctions conditionnant la sécurité, qui sont des fonctions de sécurité directe autres que les fonctions de sécurité proprement dites.

Exemples :

- commande manuelle d'un mécanisme dangereux pendant des phases de réglage, les dispositifs de protection ayant été neutralisés,
- régulation de la vitesse ou de la température maintenant la machine dans des limites de fonctionnement sûres. »

Fonctions de sécurité indirecte

(NF EN 292-1, § 3.13.2)

« Fonctions dont la défaillance n'engendre pas immédiatement un risque, mais abaisse cependant le niveau de sécurité. En fait partie, notamment, l'autosurveillance des fonctions de sécurité directe (par exemple l'autosurveillance du bon fonctionnement d'un détecteur de position dans un dispositif de verrouillage). »

Dispositif de verrouillage

(NF EN 292-1, § 3.23.1)

« Dispositif de protection mécanique, électrique ou d'une autre technologie, destiné à empêcher certains éléments de la machine de fonctionner dans certaines conditions (généralement tant qu'un protecteur n'est pas fermé). »

Autosurveillance

(NF EN 292-1, § 3.14)

« Fonctions de sécurité indirecte grâce à laquelle une action de sécurité est déclenchée si l'aptitude d'un composant ou d'un constituant à assurer sa fonction diminue, ou si les conditions de fonctionnement sont modifiées de telle façon qu'il en résulte un risque.

Il existe deux catégories d'autosurveillance :

- autosurveillance "**continue**", par laquelle une mesure de sécurité est immédiatement déclenchée lorsque se produit une défaillance.
- autosurveillance "**discontinue**", par laquelle une mesure de sécurité est déclenchée pendant un cycle ultérieur du fonctionnement de la machine si une défaillance s'est produite. »

Nota : Les normes NF EN 292-1 et NF EN 292-2 ont été remplacées respectivement par les normes NF EN 12100-1 et NF EN 12100-2. Mais, dans cette édition, nous avons conservé les définitions de la norme NF EN 292-1.

2 Stratégie pour le choix des moyens de protection

Ce chapitre reprend de façon très sommaire les diverses recommandations concernant l'appréciation du risque que l'on retrouve dans les normes NF EN 292-1 et NF EN 292-2 *Sécurité des machines, principes généraux de conception* et dans les normes NF EN 1050 *Sécurité des machines, principes pour l'appréciation du risque* et NF EN 954 - 1 *Sécurité des machines, parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Principes généraux de conception*.

L'objectif de la démarche qui va suivre est d'éliminer, dans la mesure du possible, compte tenu de l'état de la technique, tous les phénomènes dangereux d'origine mécanique par prévention intrinsèque et/ou par les moyens de protection adéquats.

Étant donné les nombreuses façons de réduire les risques d'origine mécanique sur une machine, la procédure à suivre est du type itérative. Afin de garantir le choix des moyens de protection les mieux adaptés à la machine, il est nécessaire de s'interroger, à chaque étape du processus décrit ci-dessous, sur la validité et la pertinence des choix précédemment effectués.

Cette démarche doit être réalisée dans chacun des modes de marche et de fonctionnement : installation, réglages, production, maintenance, démontage et mise au rebut. Dans chaque mode, des risques similaires peuvent apparaître, mais leur maîtrise peut conduire à des moyens de protection différents.

Processus itératif de réduction du risque

1	Déterminer les limites de la machine : limites d'utilisation, limites dans l'espace et limites dans le temps. Durée et fréquence d'utilisation, vitesse maximale de déplacement, surface et/ou volume d'évolution, etc.
2	Identifier les phénomènes dangereux d'origine mécanique que peut engendrer la machine dans tous ses modes de fonctionnement (voir § 2.1). Risque de choc avec un robot, au moment de la programmation par apprentissage local, ou d'une reprise manuelle, si une défaillance survient ou si l'opérateur fait une fausse manœuvre et que la vitesse d'évolution est élevée.
3	Estimer le risque engendré pour chaque phénomène dangereux identifié (voir § 2.2). Déterminer les paramètres suivants : gravité, exposition, probabilité d'occurrence, possibilité d'évitement.
4	Définir les objectifs de sécurité. Réduire la gravité, supprimer le besoin d'intervenir, étudier les modes de défaillances techniques, améliorer l'ergonomie du poste de travail, donner à l'opérateur la maîtrise des mouvements du robot.
5	Déterminer les prescriptions et/ou mesures nécessaires afin d'éliminer et/ou de limiter les risques. Réduire l'inertie ou le couple, réaliser un apprentissage hors ligne, concevoir un système redondant, réduire la vitesse d'évolution, imposer une commande à action maintenue.
6	Valider la réduction du risque et renouveler la démarche si nécessaire. Refaire une appréciation du risque sur la machine incorporant les mesures de sécurité retenues.

2.1. Identification des phénomènes dangereux d'origine mécanique

Risques¹ mécaniques (NF EN 292-1, § 4.2) :

« On appelle ainsi l'ensemble des facteurs physiques qui peuvent être à l'origine d'une blessure par l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, ou de matériaux solides ou de fluides projetés. »

En conséquence, les risques mécaniques se présentent généralement sous les formes suivantes (voir tableau ci-dessous) :

- risque d'écrasement,
- risque de cisaillement,
- risque de coupure ou de sectionnement,
- risque de happement, d'enroulement,
- risque d'entraînement ou d'engagement,
- risque de chocs,
- risque de perforation ou de piqûre,
- risque d'abrasion,
- risque d'éjection de fluides sous haute pression,
- risque de projection de pièces, outils, poussières, etc.

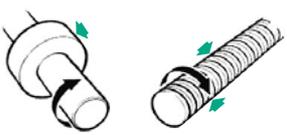
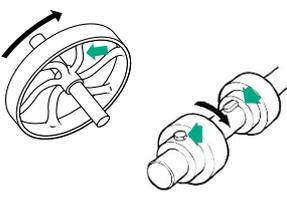
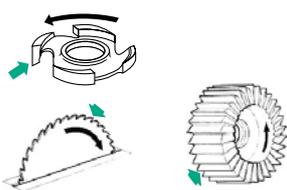
Les principaux facteurs à prendre en compte concernant les éléments de machines, outils, pièces pouvant être à l'origine de risques mécaniques sont :

- leur forme : éléments coupants, arêtes vives, etc.,
- leur disposition relative pour les pièces en mouvement,
- leur masse et leur stabilité (chute),
- leur masse et leur vitesse (énergie cinétique),
- leur accélération,
- leur résistance mécanique (rupture, éclatement, flexion),
- leur énergie potentielle (ressorts, éléments élastiques, gaz et liquides sous pression).

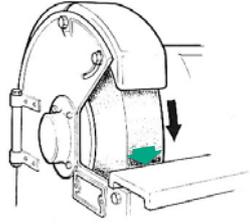
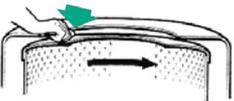
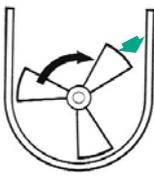
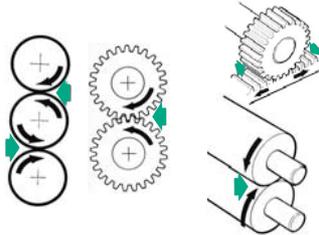
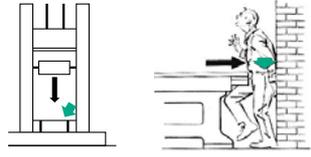
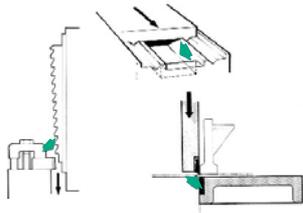
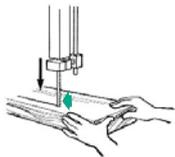
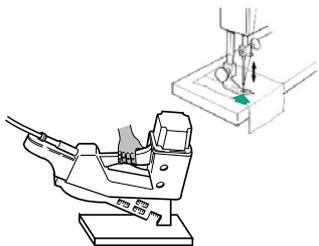
Les autres risques, non traités dans ce recueil, que peuvent engendrer les machines sont les suivants :

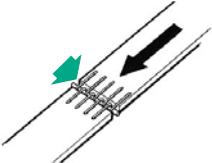
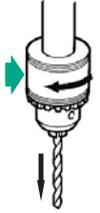
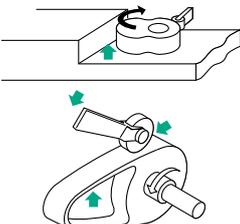
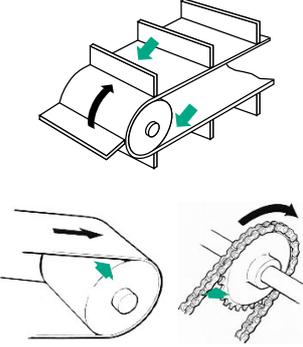
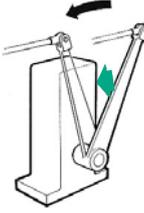
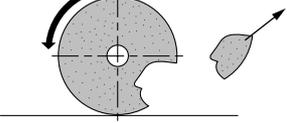
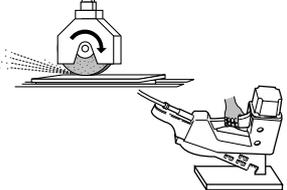
- risque électrique,
- risque thermique,
- risque engendré par le bruit,
- risque engendré par les vibrations,
- risque engendré par les rayonnements,
- risque engendré par des matériaux et des produits,
- risque engendré par le non-respect des principes ergonomiques.

Exemples illustrant différents risques d'origine mécanique

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	ENTRAÎNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • diamètre, • inertie (masse + vitesse), • forme, état de surface, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • accouplement, • broche, • plateau, • barre, • etc.
	CHOC ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT CISAILLEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • diamètre, • inertie (masse + vitesse), • forme, dimensions des ouvertures, des saillies, • distances entre partie tournante et partie fixe, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • poulie, • volant, • clavette, • vis d'arrêt, • ventilateur, • bras de mélangeur, • etc.
	COUPURE PROJECTION ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse, • dimensions, • forme, état de surface • fixation des éléments en rotation, • accessibilité, • résistance mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> • barre d'alésage, • fraise de toupie, • lame de scie circulaire, • fraise, • denture rapportée, • disque de tronçonnage, • etc.

1. Le terme « risque » est à prendre, dans la suite du document, au sens de phénomène dangereux.

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT BRÛLURE PROJECTION	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • inertie (masse + vitesse), • matériau (cohésion, homogénéité), • balourd, • distances entre partie tournante et partie fixe, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • tronçonneuse, • rectifieuse, • meuleuse, • etc.
	ENTRAÎNEMENT CISAILLEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • inertie (masse + vitesse), • dimensions, • jeu. 	<ul style="list-style-type: none"> • centrifugeuse, •essoreuse, • etc.
	CHOC ENTRAÎNEMENT SECTIONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • inertie (masse + vitesse), • dimensions, • jeu, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • malaxeur, • mélangeur, • hachoir, • etc.
	ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT BRÛLURE	<ul style="list-style-type: none"> • couple, • inertie (masse + vitesse), • dimensions, • matériau, • écartement, • forme, état de surface, • température, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • engrenage, • crémaillère, • laminoir, • convoyeur à rouleaux, • machine d'impression, • cylindre malaxeur, • cylindre encollant, • etc.
	ÉCRASEMENT CISAILLEMENT CHOC	<ul style="list-style-type: none"> • inertie (masse + vitesse), • force, • écartement mini/maxi, • recul des pièces. 	<ul style="list-style-type: none"> • machines à bois, • presse, • machine de moulage, • unité d'avance, • etc.
	CISAILLEMENT SECTIONNEMENT ENTRAÎNEMENT ÉCRASEMENT CHOC	<ul style="list-style-type: none"> • inertie (masse + vitesse), • force, • écartement mini/maxi, • accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • cisaille, • brocheuse, • unité d'avance, • etc.
	COUPURE SECTIONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse de coupe, • vitesse d'amenage, • forme de la pièce. 	<ul style="list-style-type: none"> • scie à ruban, • etc.
	PIQÛRE POINÇONNEMENT PERFÔRATION	<ul style="list-style-type: none"> • force, • fréquence, • écartement mini, • écartement maxi. 	<ul style="list-style-type: none"> • cloueuse, • agrafeuse, • poinçonneuse, • machine à coudre, • etc.

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	ENTRAÎNEMENT BRÛLURE PIQÛRE	<ul style="list-style-type: none"> force, vitesse, forme, état de surface. 	<ul style="list-style-type: none"> ponceuse à bande, agrafe de courroie, etc.
	ENTRAÎNEMENT ARRACHEMENT CHOC	<ul style="list-style-type: none"> couple, inertie (masse + vitesse), diamètre, forme, état de surface, accessibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> vis d'Archimède, broche, mandrin, etc.
	CHOC ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> disposition relative, fréquence du mouvement, force, amplitude, dimensions des ouvertures et/ou de la partie tournante. 	<ul style="list-style-type: none"> arbre à came + galet, excentrique, etc.
	ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT ARRACHEMENT SECTIONNEMENT CHOC	<ul style="list-style-type: none"> couple, tension, dimensions, force, vitesse, forme. 	<ul style="list-style-type: none"> transporteur à bandes, à auges, poulie et courroie, tapis roulant, roue à chaîne, etc.
	CHOC CISAILLEMENT ÉCRASEMENT ENTRAÎNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> fréquence, force, dimensions, amplitude, jeu. 	<ul style="list-style-type: none"> bielle - manivelle, bras d'amenage, etc.
	CHOC PROJECTION	<ul style="list-style-type: none"> matériau (cohésion, homogénéité), balourd, pression, inertie (masse + vitesse). 	<ul style="list-style-type: none"> meule, denture rapportée, disque de tronçonnage, etc.
	BRÛLURE ENTRAÎNEMENT CHOC PROJECTION PERFORATION	<ul style="list-style-type: none"> inertie (masse + vitesse), volume, température, matériau, pression. 	<ul style="list-style-type: none"> pistolet de scellement, meule, conduite hydraulique/pneumatique, cloueuse, etc.

2.2. Description et estimation du risque

L'identification des phénomènes dangereux est insuffisante pour décrire à elle seule un risque. Il est nécessaire de déterminer un certain nombre d'éléments complémentaires tels que :

■ La gravité du dommage possible

La gravité peut être estimée en prenant en compte :

- la nature de ce qui est à protéger : personnes, biens, environnement,
- la gravité des blessures (dans le cas des personnes) : lésion ou atteinte à la santé légères (généralement réversibles), lésion ou atteinte à la santé graves (généralement irréversibles), mort,
- l'importance du dommage (pour chaque machine). Dans le cas des personnes : une personne, plusieurs personnes.

■ La probabilité d'occurrence de ce dommage

a) La fréquence et la durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux.

L'exposition peut être estimée en prenant en compte :

- le besoin d'accès à la zone dangereuse (par exemple pour des raisons de production, de maintenance ou de réparation),
- la nature de l'accès (par exemple alimentation manuelle de matières),
- le temps passé dans la zone dangereuse,
- le nombre de personnes demandant l'accès,
- la fréquence d'accès.

b) La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux qui « déclenche » le scénario de l'accident. Cet événement peut être d'origine technique ou humaine, celui-ci peut être estimé en prenant en compte :

- les données de fiabilité et autres données statistiques,
- les historiques d'accidents et/ou les historiques d'atteintes à la santé,
- la comparaison de risques.

c) La possibilité d'évitement, d'origine technique ou humaine. Il s'agit ici d'un facteur de pondération des conséquences dont il ne faut tenir compte

qu'en quatrième facteur car c'est la dernière barrière avant l'accident. Les éléments permettant d'estimer ce facteur sont :

- le mode d'exploitation de la machine (avec ou sans conducteur, par des personnes expérimentées ou non),
- la rapidité d'apparition de l'événement dangereux (soudaine, rapide, lente),
- la conscience du risque (par information générale, par observation directe, au moyen de dispositifs d'indication),
- la possibilité humaine d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple, action réflexe, agilité, possibilité de fuite),
- l'expérience et la connaissance pratiques de la machine ou d'une machine similaire.

Cette décomposition du risque en quatre éléments relativement faciles à décrire permet de satisfaire les objectifs suivants :

- décrire le risque par une suite d'éléments présentés chronologiquement,
- fournir des axes de recherche pour réduire ce risque,
- montrer l'ordre de priorité des différentes mesures de sécurité envisageables,
- établir une grille reliant le risque réel à un indice théorique utile dans le choix et la comparaison des priorités d'action.

Exemple d'estimation du risque

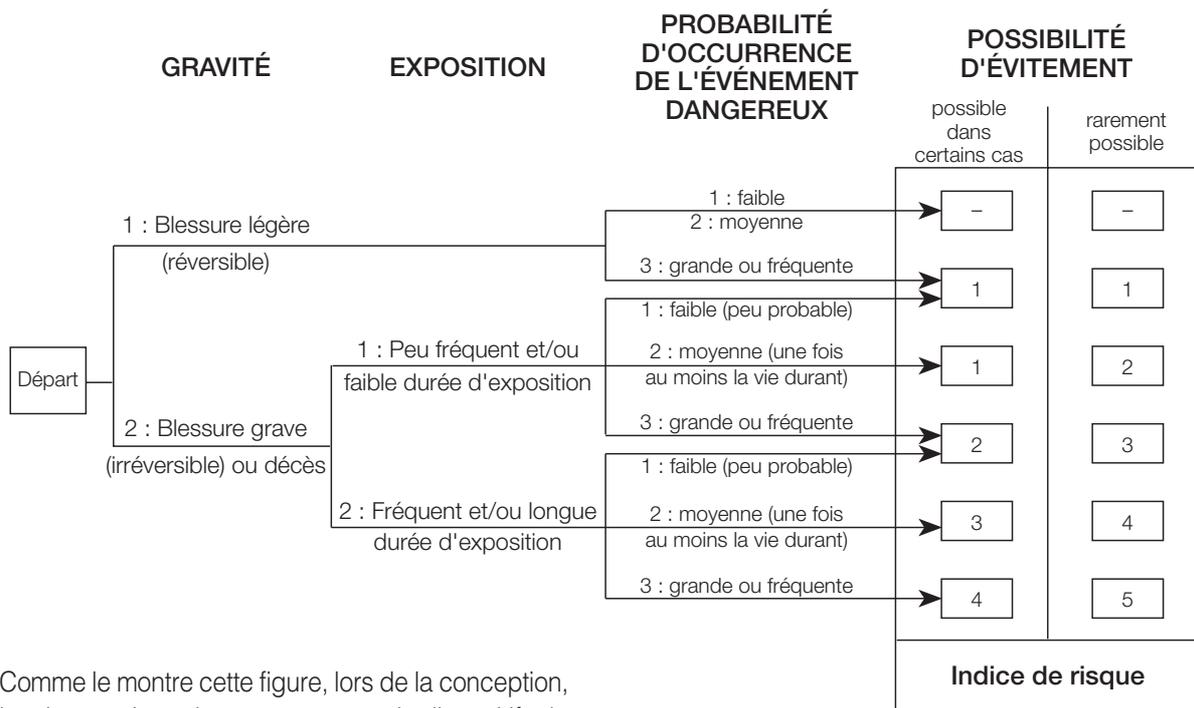
L'évaluateur définit une grille de sélection (voir figure ci-après) d'un indice de risque supposé représenter le niveau réel du risque (non mesurable). Au cours du processus itératif de réduction du risque, chaque variation du risque réel est représenté par une variation correspondante de l'indice de risque. Quand celui-ci atteint un minimum, le risque réel est supposé avoir également atteint un minimum.

Note : dans le cas particulier d'une estimation de risque faisant intervenir les parties du système de commande relatives à la sécurité, la probabilité d'occurrence (d'origine technique) de l'événement dangereux est en relation avec le choix des composants et la conception du système de commande.

2.3. Choix des moyens de protection

La démarche à suivre pour le choix des moyens de protection à mettre en œuvre peut se résumer par le schéma ci-après.

Exemple de grille de détermination d'un indice de risque



Comme le montre cette figure, lors de la conception, la mise en place de protecteurs ou de dispositifs de protection ne doit être faite que si les phénomènes dangereux n'ont pu être supprimés par le choix de mesures de sécurité relevant de la **prévention intrinsèque**².

Dans le cas de machines en service, l'utilisateur interviendra essentiellement au niveau de la mise en place de protections (protecteurs ou dispositifs de protection).

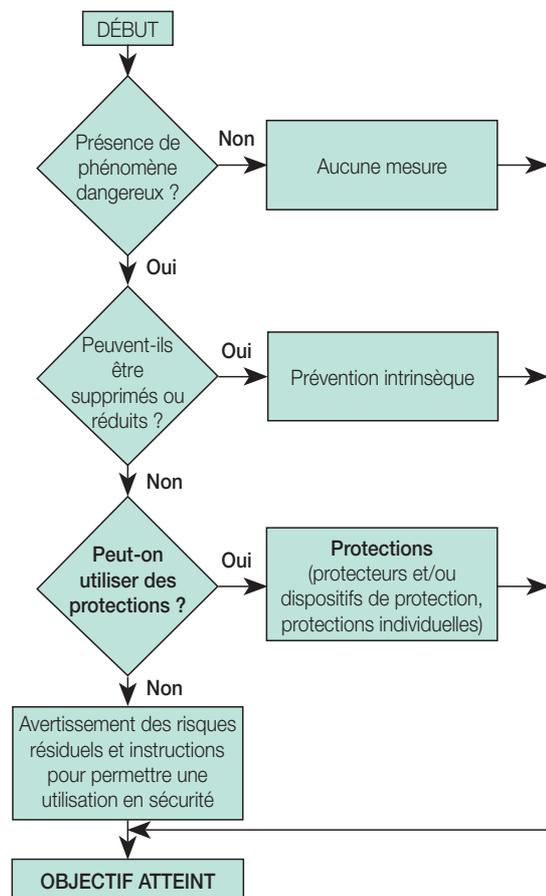
Cependant, avant d'envisager le choix et l'adaptation de dispositifs de protection, il est primordial d'examiner les divers composants ou organes de la machine dont le fonctionnement est fondamental pour assurer la sécurité.

En particulier, il y a lieu de remédier aux divers dysfonctionnements des actionneurs et/ou préactionneurs susceptibles de mettre en jeu la sécurité des intervenants.

En effet, lorsque la sécurité repose sur des dispositifs de commande ou sensibles (commandes bimanuelles, barrages immatériels...), seul le bon fonctionnement et la fiabilité des dispositifs de mise en marche et d'arrêt permet de garantir la sécurité de l'opérateur.

La fiabilité de ces organes concourt à réduire l'exposition au risque, la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et, par conséquent, l'indice de risque.

Représentation schématique de la stratégie pour le choix des mesures de prévention intégrée



2. Définition citée dans le chapitre 1.

(d'après AISS. *Prévention des risques mécaniques* [2.1])

Les différents moyens de protections détaillés dans ce recueil :

Moyens de protection Principe	Chapitre 3 Distances de sécurité	Chapitre 4 Protecteurs	Chapitre 5 Dispositifs électro-sensibles pour la détection des personnes	Chapitre 6 Commandes bimanuelles	Chapitre 7 Dispositifs d'arrêt d'urgence	Chapitre 8 Consignations et déconsignations
Protection par éloignement Maintien du corps humain ou d'une partie du corps humain hors de la zone de danger	- Éloignement - Écartements minimaux	- Protecteurs fixes - Protecteurs réglables		- Commandes bimanuelles électriques - Commandes bimanuelles pneumatiques		
Protection par contrôle d'accès périphérique Détection du franchissement du périmètre délimitant la zone de danger		- Protecteurs mobiles associés à un dispositif de verrouillage et/ou d'inter-verrouillage	- Barrages immatériels - Cellules monofaisceau - Bords et barres sensibles			
Protection de zone surfacique Détection de la présence humaine dans la zone de danger			- Barrages immatériels - Tapis et planchers sensibles - Balayage de zone			
Protection de zone volumétrique Détection de la présence humaine dans la zone de danger			- Balayage de zone - Infrarouge passif et/ou actif - Vision - Ultrasons - Hyperfréquences			
Protection de proximité Détection au voisinage immédiat d'un organe dangereux			- Bordures sensibles (bords, barres, pare-chocs) - Cellules monofaisceau			
Protection par suppression du risque Mise ou maintien de la machine en sécurité					- Boutons « coup de poing » - Dispositifs à câble - etc.	- Transfert de clé - Cadenas - Dissipation d'énergie - etc.

3 Distances de sécurité, limitation d'efforts et d'énergie

3.1. Principe

La suppression de la plupart des risques d'origine mécanique peut être obtenue par construction en respectant des distances de sécurité minimales. Le respect de ces distances de sécurité permet de maintenir la zone dangereuse éloignée du corps humain ou d'une partie du corps humain. En conséquence, les principaux facteurs à prendre en compte pour une protection efficace sont :

- l'accessibilité de la zone dangereuse avec le corps humain ou avec les différentes parties du corps humain,
- les dimensions anthropométriques du corps humain et des différentes parties du corps humain,
- les dimensions des zones dangereuses.

3.2. Documents de référence

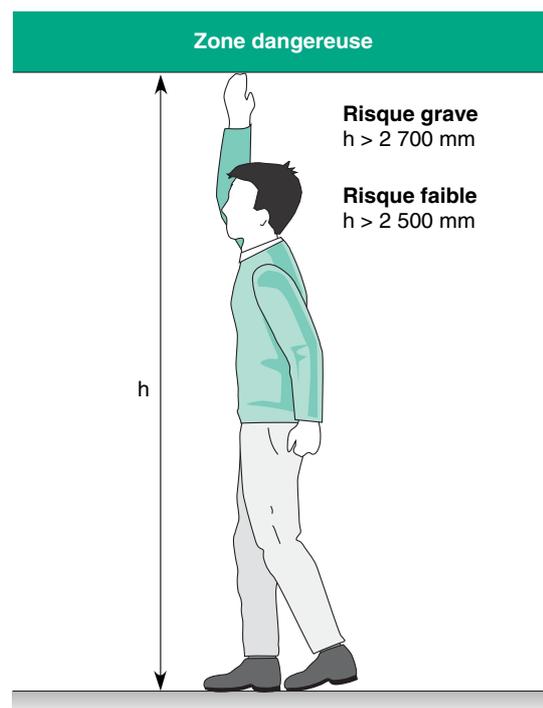
- NF EN 292-1 & 2 Sécurité des machines - Principes généraux de conception.
- NF EN 294 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs.
- NF EN 349 Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain.
- NF EN 811 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 999 Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.

- Prévention des risques mécaniques, solutions pratiques [2.1.].
- NF EN 13985 Machines-outils - Sécurité - Cisailles guillotines.

3.3. Protection par éloignement

La détermination des distances de sécurité vers le haut ou par-dessus les structures de protection est fonction de l'évaluation du risque, grave ou faible (risque grave conduisant à des lésions non réversibles ; risque faible conduisant à des lésions réversibles).

Atteinte vers le haut (NF EN 294, § 4.2.)



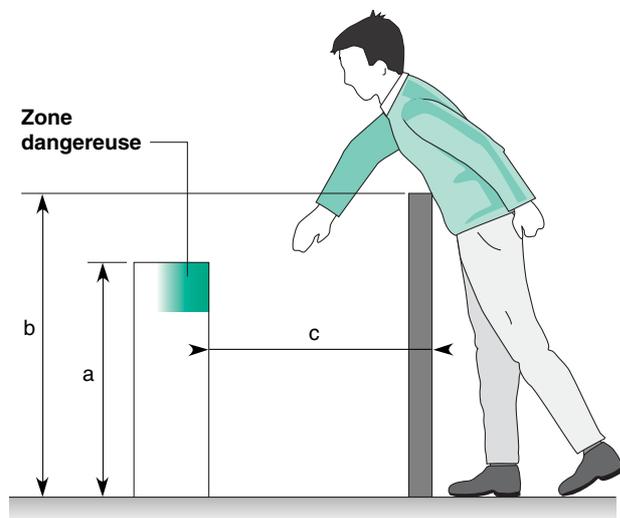
Distances à utiliser lorsque le risque est faible (NF EN 294, § 4.3.2.1.)

hauteur a (mm)	Hauteur de la structure de protection - b (dimensions en mm) (*)								
	1 000	1 200	1 400 (**)	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
	distance horizontale par rapport à la zone dangereuse - c (mm)								
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100	
2 200	600	600	500	500	400	350	250		
2 000	1 100	900	700	600	500	350			
1 800	1 100	1 000	900	900	600				
1 600	1 300	1 000	900	900	500				
1 400	1 300	1 000	900	800	100				
1 200	1 400	1 000	900	500					
1 000	1 400	1 000	900	300					
800	1 300	900	600						
600	1 200	500							
400	1 200	300							
200	1 100	200							
0	1 100	200							

Distances à utiliser lorsque le risque est élevé (NF EN 294, § 4.3.2.2.)

hauteur a (mm)	Hauteur de la structure de protection - b (dimensions en mm) (*)								
	1 000	1 200	1 400 (**)	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
	distance horizontale par rapport à la zone dangereuse - c (mm)								
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400		
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600			
1 600	1 500	1 500	1 100	900	800	500			
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800				
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700				
1 000	1 500	1 400	1 000	800					
800	1 500	1 300	900	600					
600	1 400	1 300	800						
400	1 400	1 200	400						
200	1 200	900							
0	1 100	500							

Atteinte par-dessus les structures de protection (NF EN 294, § 4.3.)



* Les structures de protection de hauteur inférieure à 1 000 mm ne sont pas prises en compte car elles ne limitent pas suffisamment les mouvements.

** Les structures de protection de hauteur inférieure à 1 400 mm ne conviennent pas si elles sont utilisées sans mesures de sécurité supplémentaires.

Note : aucune interpolation ne doit être faite à partir des valeurs de ces tableaux. On retiendra, dans tous les cas, celle qui entraîne la sécurité la plus grande.

Distances de sécurité à appliquer aux ouvertures régulières pour les membres supérieurs (Personnes âgées de 14 ans et plus) (NF EN 294, § 4.5.1.)

Partie du corps	Illustration	Ouverture (mm)	Distances de sécurité sr (mm)		
			Fente	Carré	Rond
Extrémité du doigt		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
		$6 < e \leq 8$		≥ 15	≥ 5
Doigt jusqu'à l'articulation à la base du doigt ou main		$6 < e \leq 8$	≥ 20		
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$		≥ 120	≥ 120
		$30 < e \leq 40$		≥ 200	≥ 120
Bras jusqu'à l'articulation de l'épaule		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^*$		
		$30 < e \leq 40$	≥ 850		
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

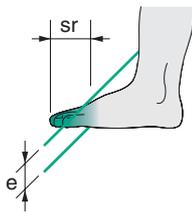
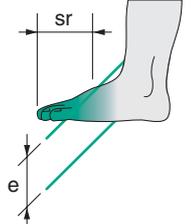
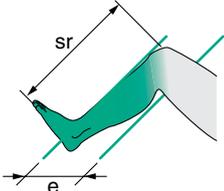
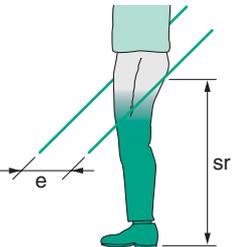
(*) Si la longueur de la fente est inférieure ou égale à 65 mm, le pouce constituant un blocage, la distance peut être réduite à 200 mm.

Les dimensions **e** correspondent 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.

Dans le cas d'une ouverture irrégulière, la distance de sécurité **sr** à retenir est la plus faible des trois dis-

tances 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.

Distances de sécurité à appliquer aux ouvertures régulières pour les membres inférieurs (personnes âgées de 14 ans et plus) (NF EN 811, § 4.2.)

Partie du corps	Illustration	Ouverture (mm)	Distances de sécurité sr (mm)	
			Fente	Carré ou rond
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
		$60 < e \leq 80$		≥ 180
Jambe jusqu'au genou		$60 < e \leq 80$	≥ 650	
		$80 < e \leq 95$		≥ 650
Jambe jusqu'à l'entrejambe		$80 < e \leq 95$	$\geq 1\ 100$	
		$95 < e \leq 180$	$\geq 1\ 100$	$\geq 1\ 100$
		$180 < e \leq 240$	Sécurité non assurée**	$\geq 1\ 100$

(*) Si la longueur de la fente est inférieure ou égale à 75 mm, la distance peut être réduite à 50 mm.

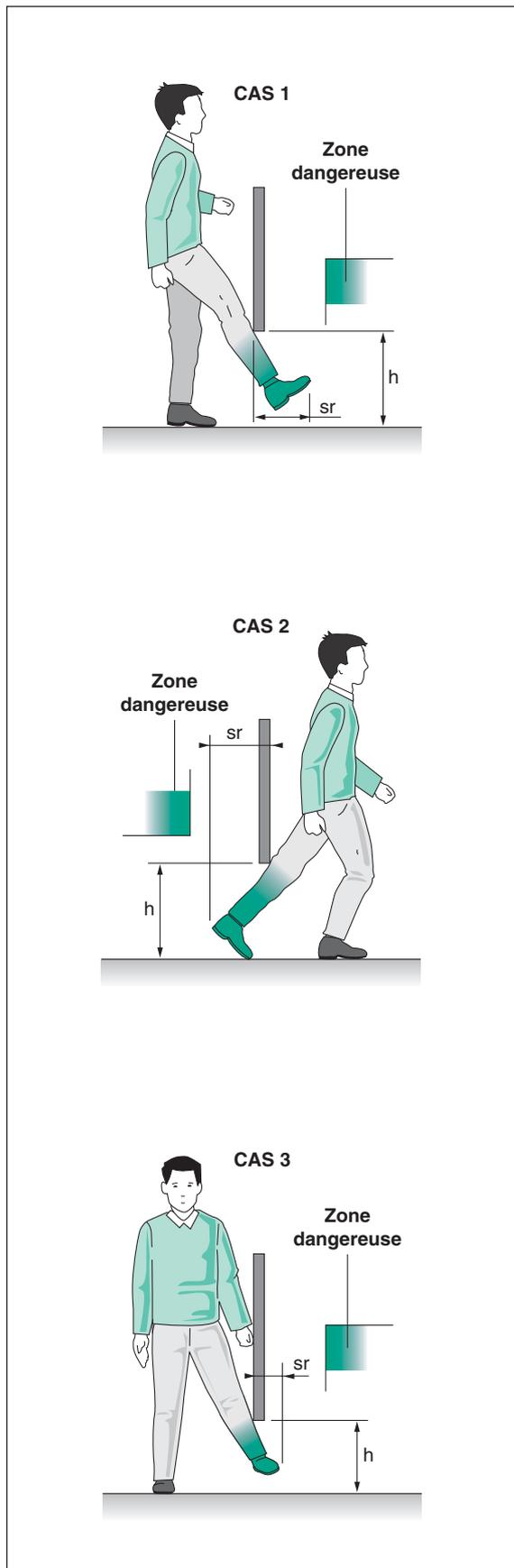
(**) L'ensemble du corps est susceptible de passer par l'ouverture : un autre moyen de prévention est indispensable (ouverture interdite).

Les dimensions e correspondent 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.

Dans le cas d'une ouverture irrégulière, la distance de sécurité sr à retenir est la plus faible des trois dis-

tances 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.

Distances de sécurité
Extension des membres inférieurs
sous les protections (NF EN 811)



Le tableau ci-dessous donne les valeurs de sr pour empêcher l'opérateur d'atteindre la zone dangereuse dans le cas où il se trouverait debout sans l'aide de support additionnel.

Espace libre par rapport au sol h (mm)	Distance de sécurité sr (mm)		
	Cas 1	Cas 2	Cas 3
200	340	665	290
400	550	765	615
600	850	950	800
800	950	950	900
1 000	1 125	1 195	1 015

Notes :

- Aucune interpolation ne doit être faite à partir des valeurs de ce tableau. On retiendra, dans tous les cas, celle qui entraîne la sécurité la plus grande.
- Les distances de sécurité données ci-dessus ne prennent pas en compte le risque d'intrusion.

Pour seulement dissuader de l'accès par dessous une enceinte, il est possible de limiter l'espace libre par rapport au sol à 300 mm.

Protection par tunnel

D'après AISS. *Prévention des risques mécaniques* [2.1].

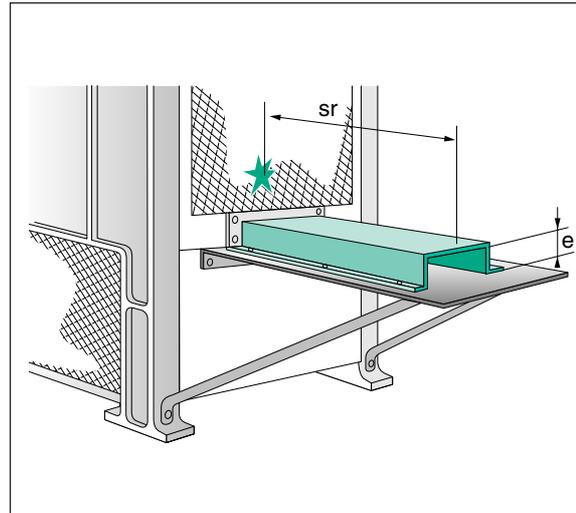
Protecteur en forme de tunnel permettant le passage de la matière ou de la pièce travaillée tout en empêchant l'opérateur d'atteindre la zone dangereuse.

Protecteur fixe

Maintenu en place de façon permanente par des moyens de fixation s'opposant à ce qu'il soit déplacé ou ouvert sans outil.

Les distances de sécurité sr dépendent des dimensions e des ouvertures suivant le tableau page 17.

Protecteur fixe



Protecteur mobile

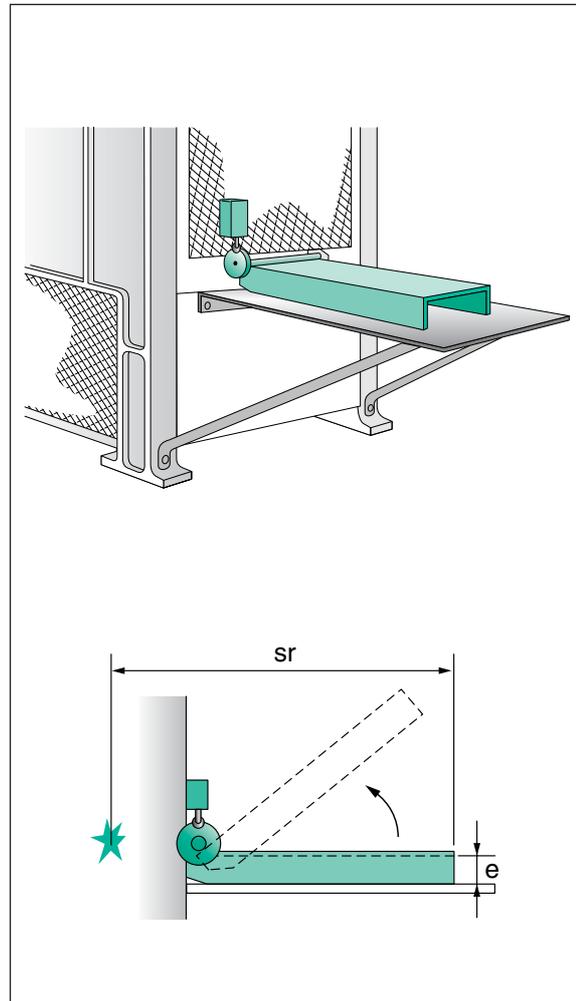
La mise en place d'un dispositif de verrouillage permet de réduire légèrement les distances sr

$sr \geq$	225	250	300	350	400 mm
$e \leq$	40	45	50	55	60 mm

$sr \geq$	450	500	550	800 mm
$e \leq$	65	70	75	80 mm

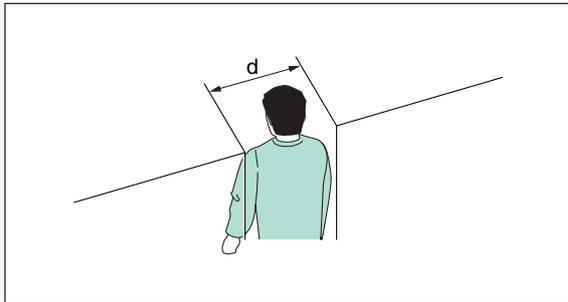
Note : ces valeurs sont moins contraignantes que celles données au tableau page 17. On considère que, compte tenu du dispositif de verrouillage, le moindre déplacement du protecteur, lors de l'introduction d'une main ou d'un bras, va provoquer et assurer le maintien à l'arrêt des phénomènes dangereux.

Protecteur mobile

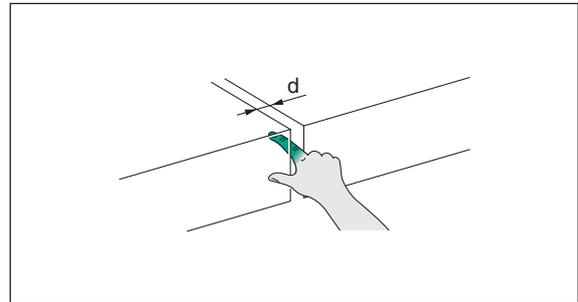


3.4. Protection contre les risques d'écrasement

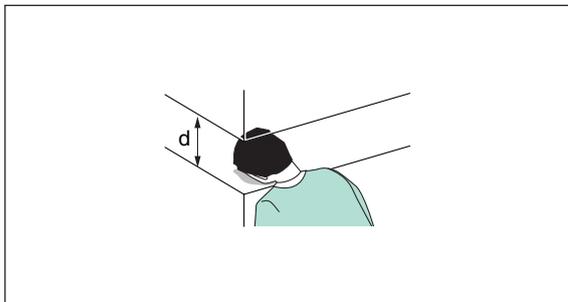
Écartements minimaux pour éviter les risques d'écrasement de parties du corps humain (NF EN 349, § 4.2.)



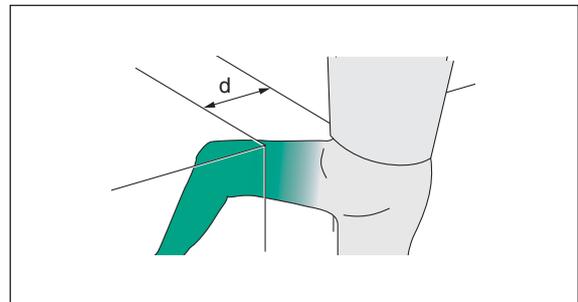
CORPS
d mini = 500 mm



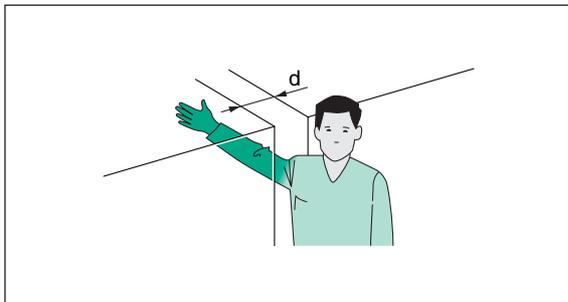
DOIGTS
d mini = 25 mm



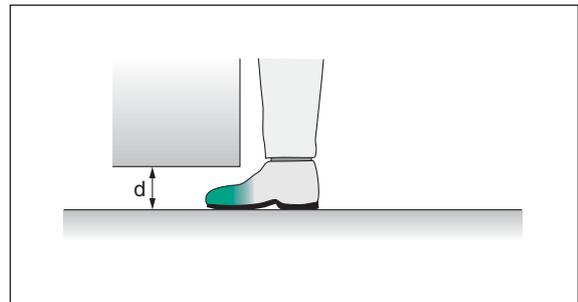
TÊTE
d mini = 300 mm



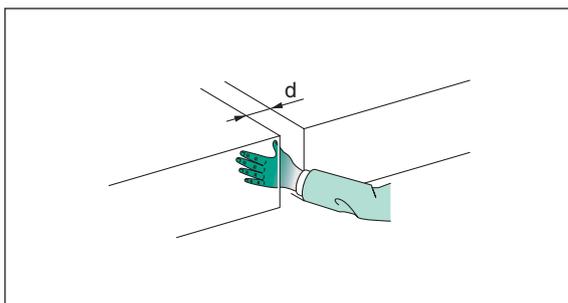
JAMBE
d mini = 180 mm



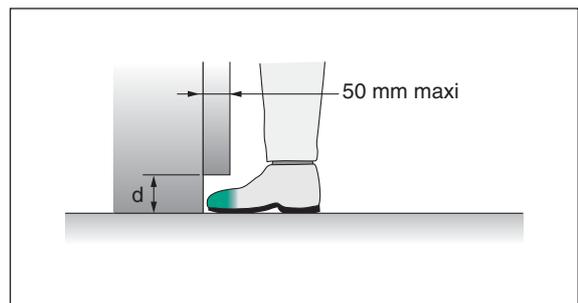
BRAS
d mini = 120 mm



PIED
d mini = 120 mm



MAIN
d mini = 100 mm



ORTEILS
d mini = 50 mm

3.5. Protection par limitation des efforts et de l'énergie

Principe

Limitation des efforts et de l'énergie à des valeurs non dangereuses. Ce principe, qui relève de la prévention intrinsèque, ne peut être utilisé que dans le cas où les caractéristiques de l'actionneur sont suffisantes pour assurer la fonction requise (poussée, serrage, fermeture, etc.).

Facteurs à prendre en compte

- accessibilité de la zone dangereuse,
- dimensions anthropométriques,
- énergie cinétique,
- pression sur des parties du corps,
- forme et dimensions des surfaces de contacts,
- temps de réponse des mécanismes.

Série de valeurs n° 1 :

Effort maximal s'exerçant sur des parties du corps :
75 N

Énergie cinétique maximale de la partie mobile :
4 joules

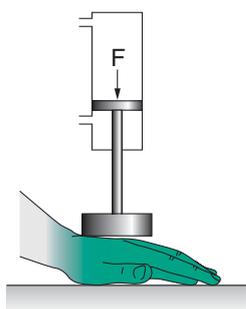
Pression de contact maximale :
50 N/cm²

Série de valeurs n° 2 :

Effort maximal s'exerçant sur des parties du corps :
150 N

Énergie cinétique maximale de la partie mobile :
10 joules

Pression de contact maximale :
50 N/cm²



- S'il n'y a pas de remontée automatique du piston, il ne faut pas dépasser la série de valeurs n°1.
- Si le piston remonte automatiquement, par exemple par relâchement d'une pédale à action maintenue, il ne faut pas dépasser la série de valeurs n°2.



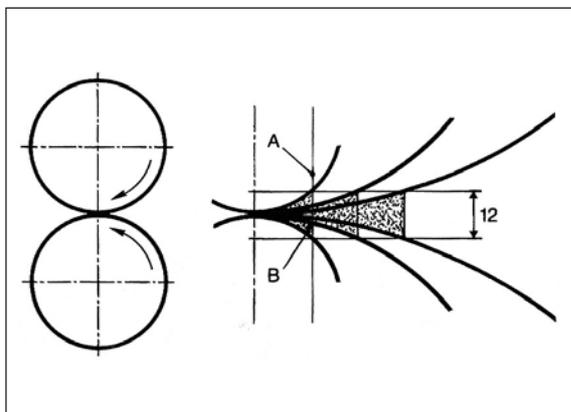
- Si la porte n'est pas équipée d'un dispositif de protection qui provoque automatiquement sa réouverture, il ne faut pas dépasser la série de valeurs n°1.
- Si la porte est équipée d'un bord sensible qui provoque automatiquement sa réouverture, il ne faut pas dépasser la série de valeurs n°2.

3.6. Protection contre les zones de convergence

Des dispositions particulières, en plus du respect des distances de sécurité minimales précédemment définies, peuvent être prises pour la protection contre les risques propres aux zones de convergence.

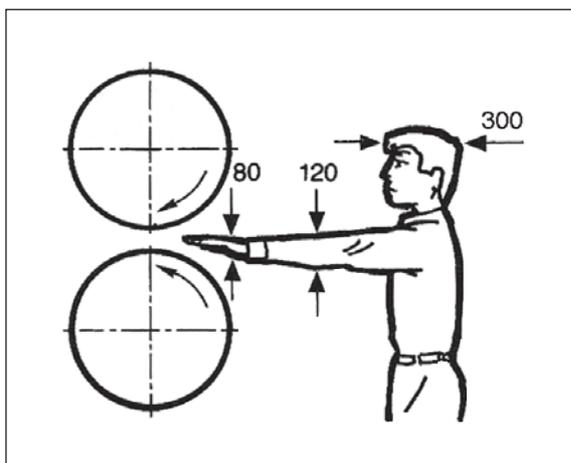
Paire de cylindres en contact

La zone d'entraînement B a la forme d'un coin d'autant plus aigu que les rayons des cylindres sont grands. L'adhérence de la partie du corps entraînée, ainsi que la pression exercée sur celle-ci et, par conséquent, le risque d'écrasement, sont d'autant plus grands que le coin est aigu.



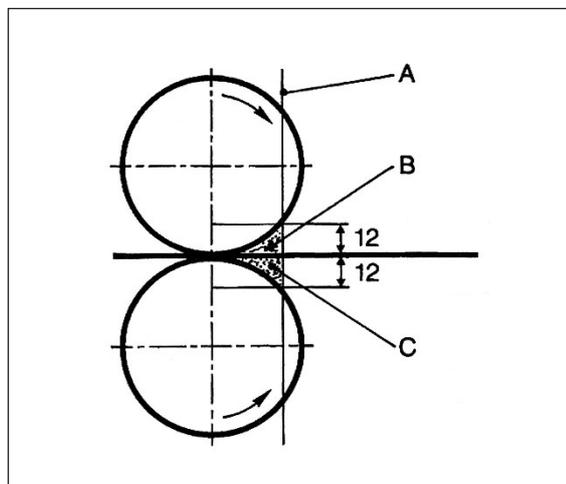
Paire de cylindres sans contact

La main, le bras, et même le corps entier, qui pénètrent dans la zone de l'intervalle entre les deux cylindres, peuvent être entraînés si l'intervalle est respectivement inférieur à 80, 120, 300 mm.



Cylindres avec une bande

Dans ce cas, il existe deux zones d'entraînement B et C.



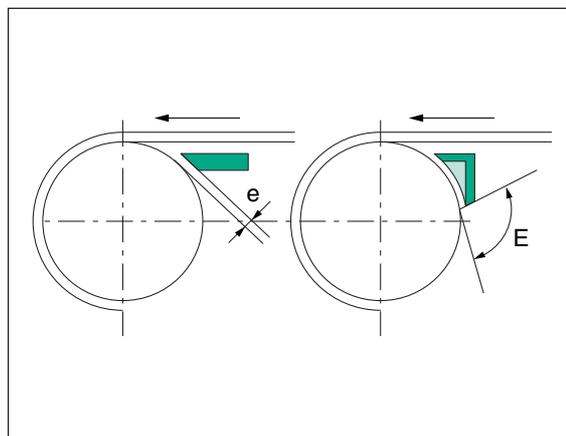
A : Limite au-delà de laquelle les doigts risquent d'être entraînés. La limite est déterminée par la distance de 12 mm et le diamètre des cylindres.

Exemples de protection contre les zones de convergence

D'après AISS. *Prévention des risques mécaniques* [2.1.].

Mise en place d'éléments fixes limitant l'accès et facilitant le retrait de la partie du corps entraînée (doigts par exemple).

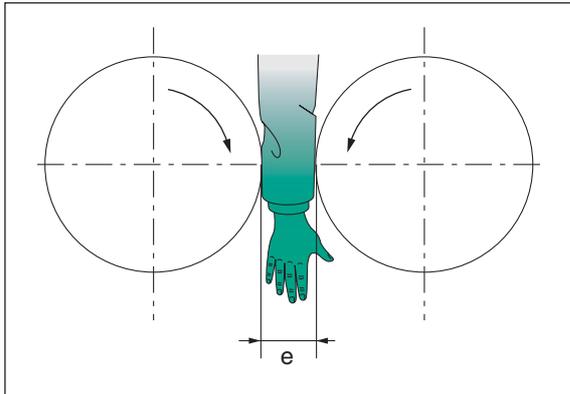
- $e < 8$ mm (cette valeur doit être la plus petite possible)
- $E > 90^\circ$



Un angle E aigu rend plus difficile le retrait des doigts de la main.

L'entraînement de la main ou du bras est empêché par construction.

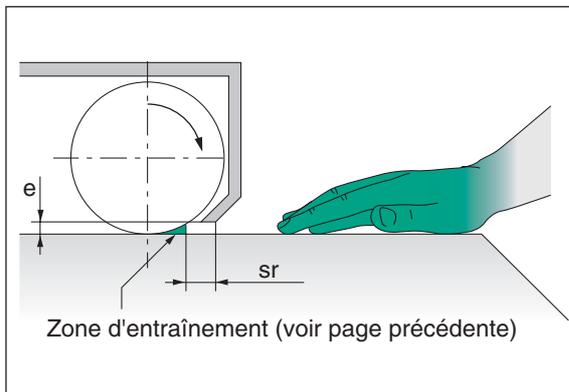
- $e = 120 \text{ mm}$ mini



L'effet d'entraînement augmente avec le diamètre des rouleaux, leur rugosité et leur vitesse de rotation.

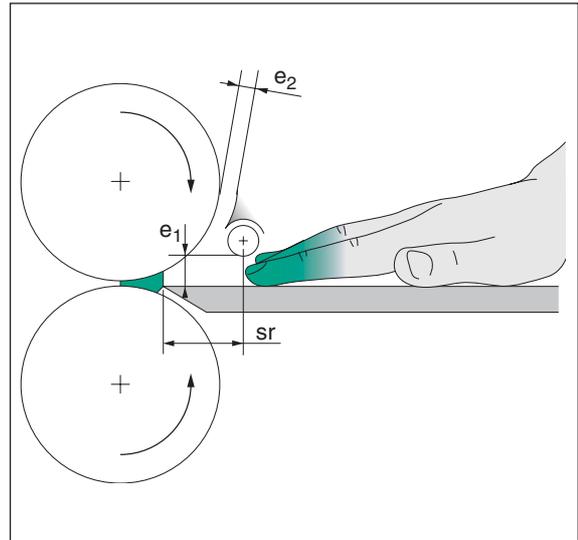
Utilisation d'éléments constitutifs de la machine nécessaires à son exploitation et assurant également une fonction de sécurité.

Les distances de sécurité sr dépendent des dimensions e des ouvertures suivant le tableau page 17.



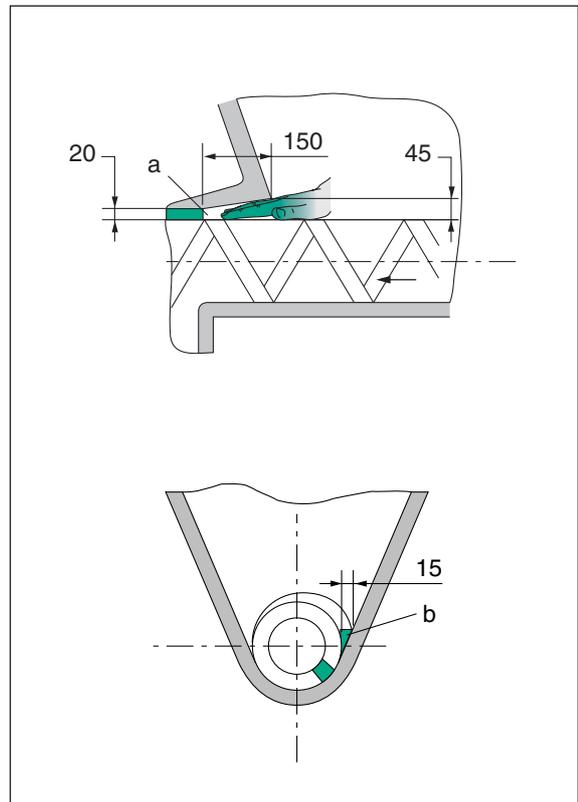
Dispositif nécessaire au fonctionnement de la machine et utilisé comme dispositif de protection.

- $e_1 \leq 8 \text{ mm}$
- $sr \geq 20 \text{ mm}$
- $e_2 < 8 \text{ mm}$



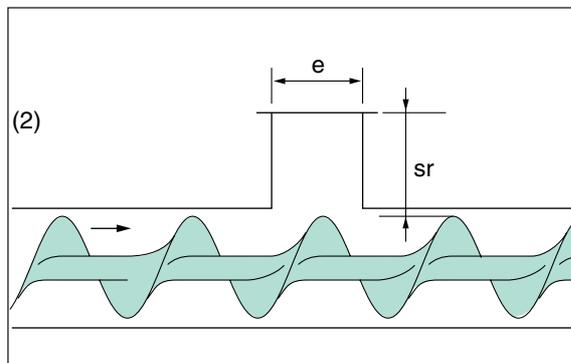
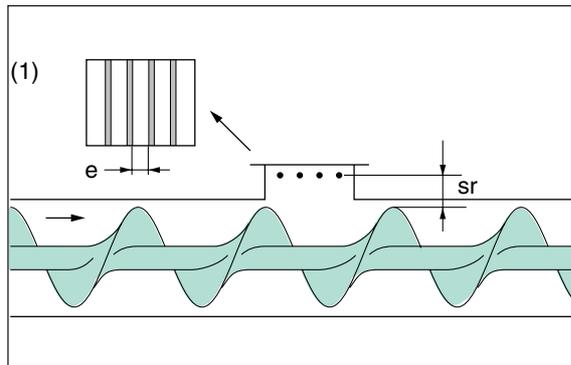
Diminution du risque d'écrasement et/ou de cisaillement de la main par mise en place d'un logement de protection (a) et d'une butée (b) :

- angle hélice/butée 85° mini
- écartement vis/butée 1 mm maxi
- arêtes vives et largeur 15 mm mini



Accès à la zone dangereuse empêchée par un obstacle (1) ou par éloignement (2).

Les distances de sécurité s_r dépendent des dimensions e des ouvertures suivant le tableau page 17.

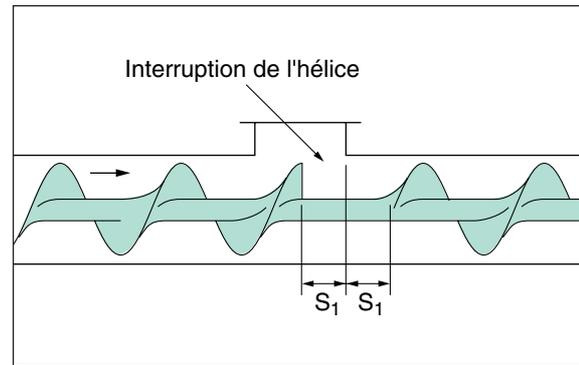


Suppression du risque d'écrasement et/ou de cisaillement par conception et respect des distances de sécurité.

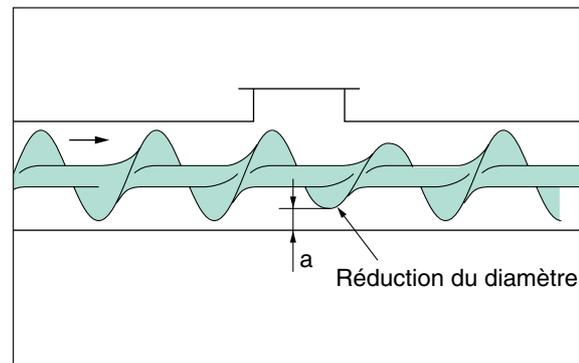
- cas 1 : interruption de l'hélice
 $s_1 = 120 \text{ mm mini}$

- cas 2 : réduction du diamètre de la vis sans fin
 $a = 100 \text{ mm mini (main)}$
 $a = 25 \text{ mm mini (doigt)}$

cas 1 : interruption de l'hélice



cas 2 : réduction du diamètre



Ces principes ne peuvent être mis en œuvre que si la nature du produit transporté le permet.

4 Protecteurs

4.1. Généralités

Définitions (NF EN 292-1, § 3.22)

« Élément de machine utilisé spécifiquement pour assurer une protection au moyen d'une barrière matérielle. Suivant la forme qu'on lui donne, un protecteur peut être appelé carter, couvercle, écran, porte, enceinte, etc.

Note 1 : Un protecteur peut exercer son effet :

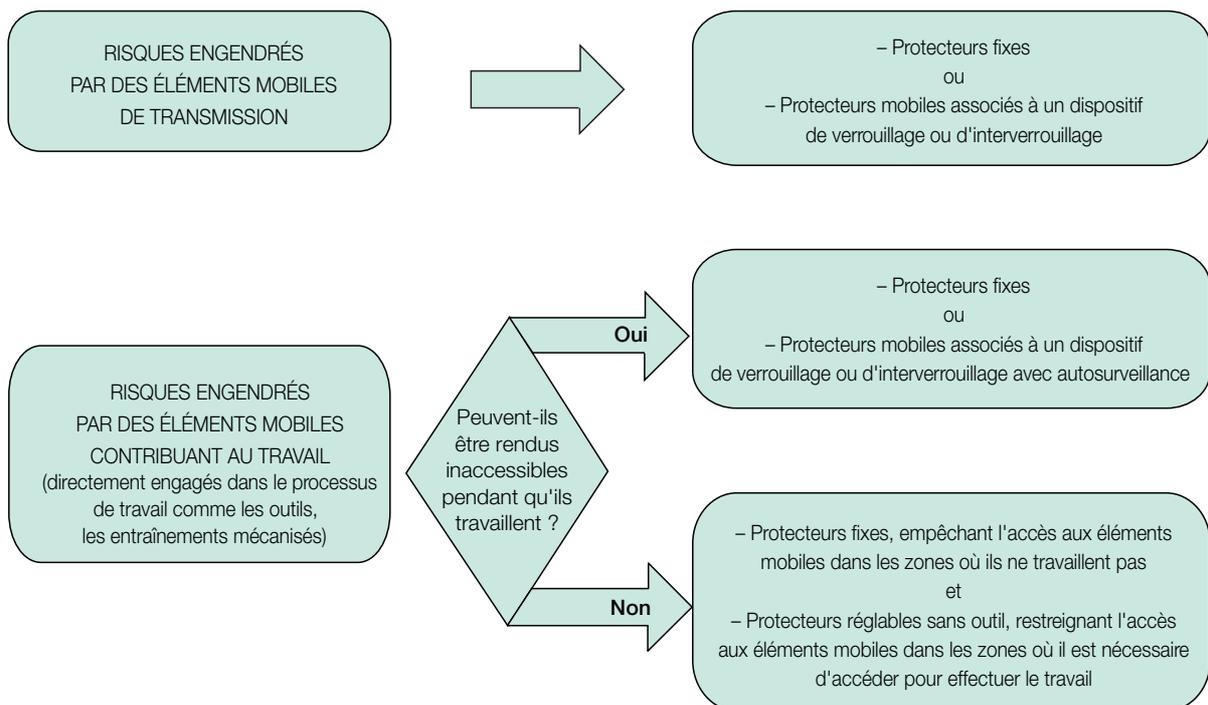
- seul ; il n'est alors efficace que s'il est fermé,
- associé à un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage ; dans ce cas, la protection est assurée quelle que soit la position du protecteur.

Note 2 : "Fermé" signifie "maintenu en place" pour un protecteur fixe. »

Suivant leur conception et leur rôle, les protecteurs peuvent être classés en trois catégories ; **protecteurs fixes, protecteurs mobiles, protecteurs réglables sans outil**³. Les protecteurs mobiles peuvent être associés à des dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage.

Le choix du type de protecteur est essentiellement fonction de la nature du risque lié aux éléments mobiles (tableau 1) et du besoin d'accéder à la zone dangereuse (tableau 2).

Tableau 1. Nature du risque



3. Les protecteurs fixes ou mobiles peuvent être réglables avec l'aide d'un outil.

4.2. Choix du type de protecteur

Tableau 2. Choix du type de protecteur

Protecteurs fixes	§	Cas d'utilisation
Sans dispositif de verrouillage	4.3	Protecteurs rarement manœuvrés (par exemple une fois par mois) <i>Protecteurs de courroies, d'éléments de transmission de puissance</i>
Avec dispositif de verrouillage à un seul interrupteur à manœuvre positive d'ouverture ou deux détecteurs de position à commande non mécanique (inductifs, magnétiques, etc.)	4.4-B & 4.4-C	Protecteurs appelés à être démontés et remontés occasionnellement (par exemple une fois par jour) lors d'opérations telles que réglage, changement d'outillage ou de fabrication avec un risque de fonctionnement inopiné <i>Protecteurs latéraux de presses</i> <i>Protecteur des volants d'entraînement d'une lame de scie à ruban</i>

Protecteurs mobiles	§	Cas d'utilisation
Avec dispositif de verrouillage à un seul interrupteur à manœuvre positive d'ouverture ou deux détecteurs de position à commande non mécanique (inductifs, magnétiques, etc.)	4.4-A 4.4-B & 4.4-C	Protecteurs manœuvrés occasionnellement ⁴ (par exemple 10 fois par jour) <i>Protecteurs de transmissions</i> <i>Protecteurs pour zone de réglage</i>
Avec dispositif de verrouillage à deux interrupteurs à manœuvre positive d'ouverture	4.4-D & 4.4-E	Protecteurs manœuvrés fréquemment ⁴ (par exemple plusieurs fois par heure) <i>Protecteurs sur une machine à alimentation manuelle avec chargement/déchargement dans la zone dangereuse ou à proximité</i>
Avec dispositif d'interverrouillage	4.4.2	Doit être utilisé lorsque le temps de mise à l'arrêt ⁵ est supérieur au temps d'accès ⁶ <i>Machines tournantes avec inertie</i> <i>Installations robotisées</i>

Protecteurs réglables sans outils	§ 4.5	Cas où l'on veut restreindre l'accès aux éléments mobiles dans les zones où une ouverture est nécessaire notamment pour le passage d'outils ou de produits <i>Protecteurs de scie à ruban, de scie circulaire, etc.</i>
-----------------------------------	-------	--

4. D'après la norme NF EN 1088, § 7.5.

5. NF EN 1088, § 3.8. Intervalle de temps entre le moment où le dispositif de verrouillage engendre l'ordre d'arrêt et le moment où le risque dû à des fonctions dangereuses de la machine a disparu.

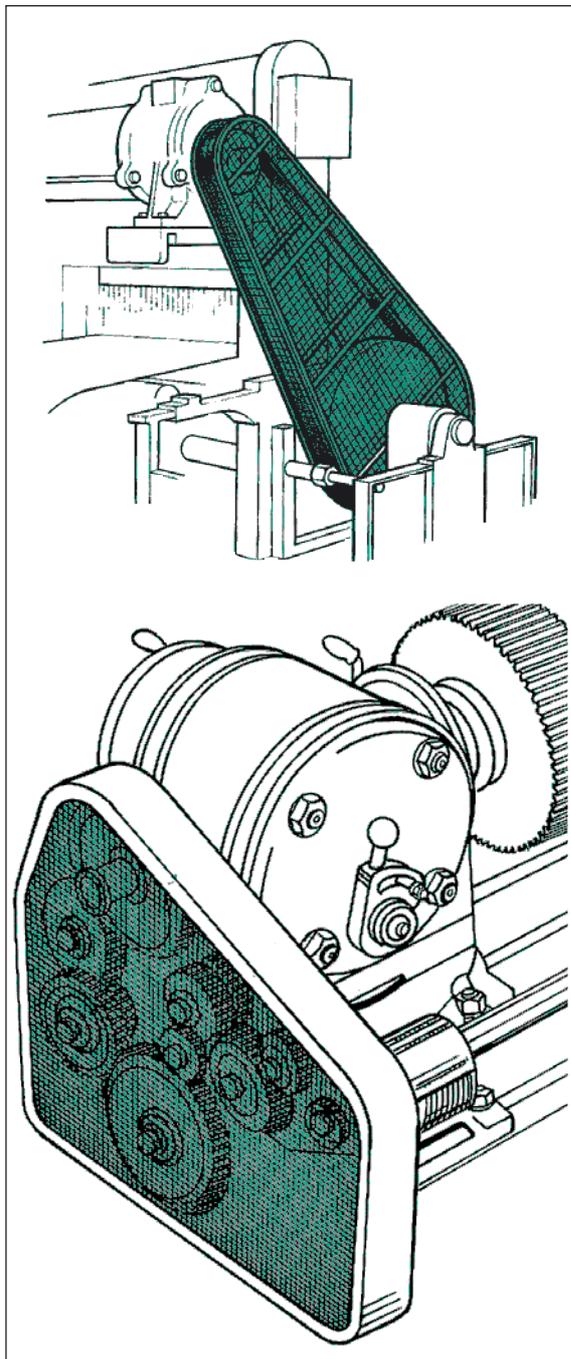
6. NF EN 1088, § 3.9. Temps nécessaire pour accéder à la zone dangereuse de la machine après que l'ordre d'arrêt a été donné par le dispositif de verrouillage, calculé sur la base d'une vitesse d'approche dont la valeur peut être choisie, dans chaque cas particulier, en fonction des paramètres donnés dans la NF EN 999 « Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps ».

4.3. Protecteur fixe

Définition (NF EN 292-1, § 3.22.1)

« *Protecteur maintenu en place (c'est-à-dire fermé) :*
- soit de manière permanente (par soudage, etc.),
- soit au moyen d'éléments de fixation (vis, écrous, etc.) s'opposant à ce qu'il soit déplacé/ouvert sans outil. »

Exemples de protecteurs fixes constitués de grillage et de cornières, empêchant l'accès au mécanisme de transmission



Facteurs à prendre en compte

- fixations,
- résistance,
- vision,
- dimensions des ouvertures éventuelles,
- position par rapport aux éléments mobiles,
- etc.

Documents de référence

- NF EN 292 1 & 2 Sécurité des machines, principes généraux de conception.
- NF EN 294 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs (atteinte à travers les ouvertures).
- NF EN 811 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 953 Sécurité des machines, prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles.
- Dispositifs de verrouillage « intrinsèquement sûrs » pour protecteur fixe et protecteur mobile actionné occasionnellement [4.1].

4.4. Protecteur mobile

Définition (NF EN 292-1, § 3.22.2)

« *Protecteur généralement lié mécaniquement au bâti de la machine ou à un élément fixe voisin, par exemple grâce à des charnières ou à des glissières, et qu'il est possible d'ouvrir sans faire usage d'aucun outil. »*

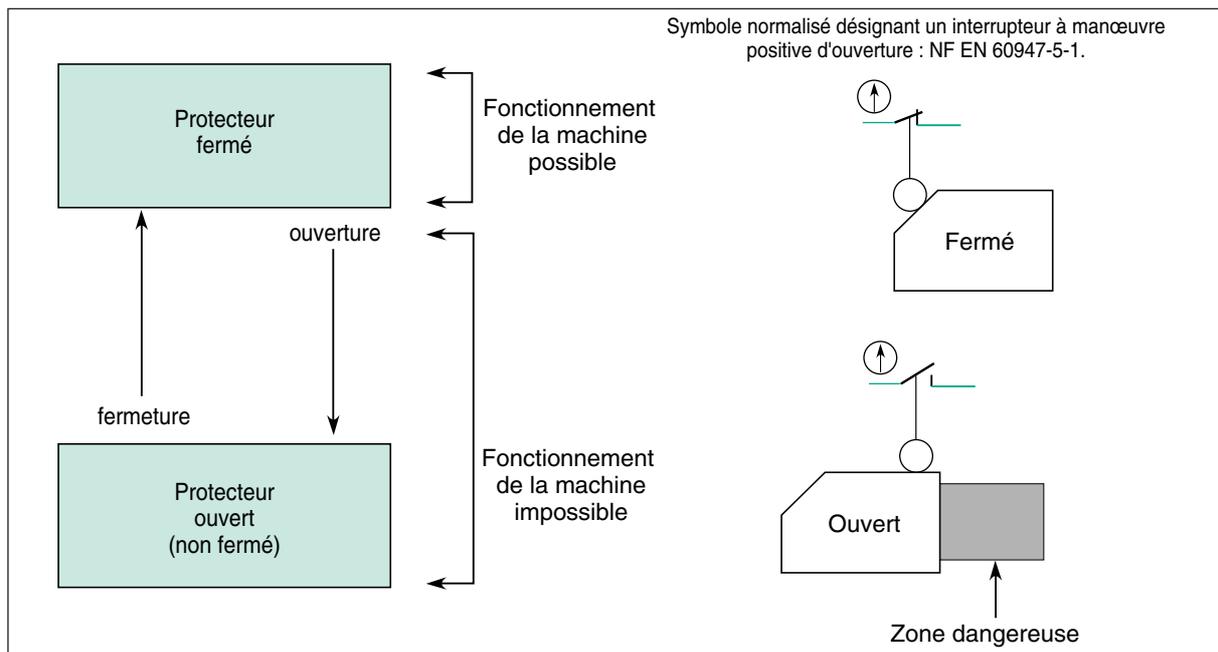
4.4.1. Protecteur avec dispositif de verrouillage

Définition (NF EN 292-1, § 3.22.4)

« *Protecteur associé à un dispositif de verrouillage⁷, de sorte que :*
- les fonctions dangereuses de la machine "couvertes" par le protecteur ne puissent s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé,

7. Définition chapitre 1.

Diagramme fonctionnel d'un dispositif de verrouillage



- si l'on ouvre le protecteur pendant que les fonctions dangereuses de la machine s'accomplissent, un ordre d'arrêt doit être donné,
- lorsque le protecteur est fermé, les fonctions dangereuses de la machine "couvertes" par le protecteur peuvent s'accomplir, mais la fermeture du protecteur ne provoque pas à elle seule leur mise en marche. »

En fonction de la fréquence d'ouverture du protecteur pour accéder à la zone dangereuse, le dispositif de verrouillage pourra être réalisé soit à partir de composants intrinsèquement sûrs (accès occasionnel¹), soit en appliquant le principe de redondance par duplication des composants et/ou auto-surveillance (accès fréquent⁸).

Note : Certains protecteurs fixes susceptibles d'être démontés et remontés fréquemment, par exemple lors d'opérations telles que le changement d'outillage ou de fabrication, doivent être équipés d'un dispositif de verrouillage (ex. : écrans latéraux de presse).

Consignes particulières

- L'interrupteur et les organes de commande (cible, clé, came, etc.) doivent être immobilisés après réglage de façon sûre et indémontable manuellement (rivetage, soudage, etc.).

8. D'après la norme NF EN 1088, § 7.5.

- L'interrupteur de position ne doit pas servir de butée mécanique.
- Le protecteur ne doit pas pouvoir être déposé (gonds inversés, butées, etc.).

Facteurs généraux à prendre en compte

- Caractéristiques électriques et degré de protection de l'interrupteur.
- Sûreté de fonctionnement du dispositif de verrouillage.
- Difficulté de manœuvre.
- Temps d'obtention de l'arrêt des éléments mobiles dangereux et temps d'accès aux éléments mobiles dangereux.
- Conception du protecteur (fixation, résistance, vision, matériau, etc.).
- Dimensions des ouvertures éventuelles du protecteur.

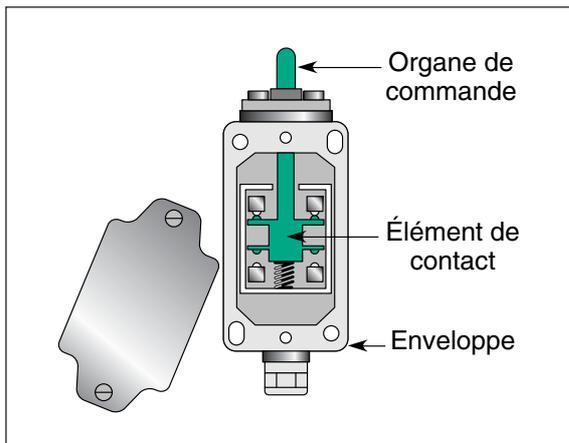
Documents de référence communs aux différents dispositifs de verrouillage et/ou d'interverrouillage

- NF EN 292 1 & 2 Sécurité des machines, principes généraux de conception.
- NF EN 294 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs (atteinte à travers les ouvertures).

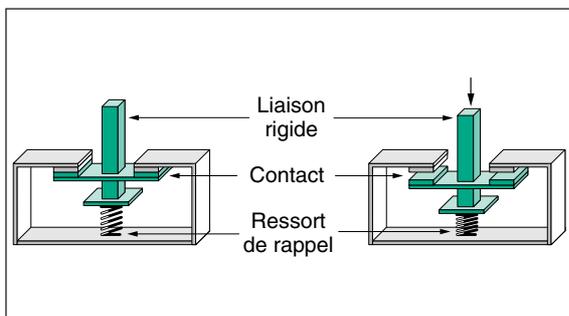
- NF EN 811 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 953 Sécurité des machines. Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines. Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 1050 Sécurité des machines. Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 1088 Sécurité des machines. Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs.
- NF EN 60204-1 Sécurité des machines. Équipement électrique des machines. Partie 1 : Prescriptions générales.
- Dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage à transfert de clé [4.2] et [4.3].

A. Interrupteurs de position à commande mécanique

Éléments essentiels

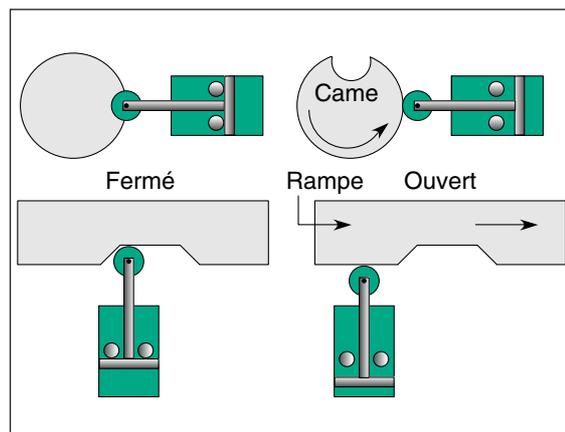


Manœuvre positive d'ouverture



Les appareils à manœuvre positive d'ouverture portent le symbole \ominus selon la norme NF EN 60947-5-1.

Commande positive



Remarque

Il ne faut pas utiliser un interrupteur de position comme butée mécanique.

Principe

Un interrupteur de position à commande mécanique se compose essentiellement de trois éléments :

- l'organe de commande
- l'enveloppe

Il doit être aussi simple que possible. Elle doit permettre une fixation indé réglable de l'interrupteur.

Elle doit être de type double isolement (symbole \square), ou avec borne de mise à la terre.

- l'élément de contact

Il peut être à action dépendante, à action brusque ou à action brusque puis dépendante par surcourse.

Manœuvre positive d'ouverture

La séparation des contacts résulte directement d'un déplacement défini de l'organe de commande de l'interrupteur transmis par des pièces non élastiques.

Seuls les éléments de contacts à action dépendante, par surcourse ou non, sont à considérer comme des éléments à manœuvre positive d'ouverture.

Commande positive

Un détecteur est actionné suivant le mode positif (ou positivement) lorsqu'il est inévitablement actionné par un autre organe en mouvement par contact direct ou par l'intermédiaire d'éléments rigides.

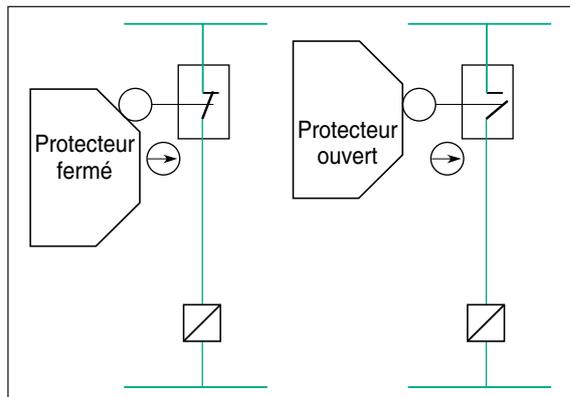
Défaut	Manœuvre de l'organe de commande de l'interrupteur de position		
	Action dépendante	Action brusque	Action brusque puis dépendante par surcourse
contacts collés bris du contact bris du ressort de rappel poussoir encrassé	ouvre le circuit	ne garantit pas l'ouverture du circuit	ouvre le circuit

Documents de référence

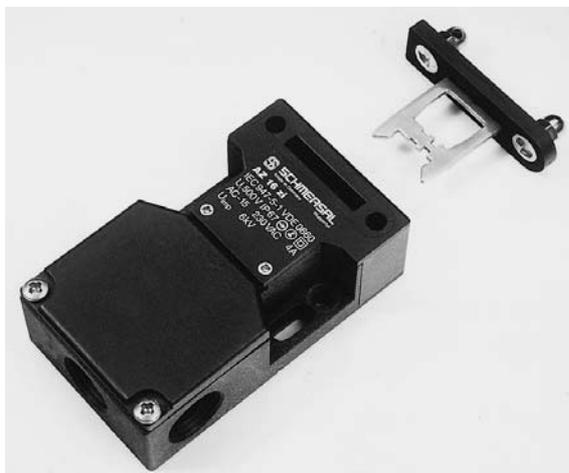
- Interrupteurs de position à ouverture forcée et à commande mécanique positive, utilisés pour la protection des personnes. Choix et montage [4.4].

B. Dispositifs de verrouillage à un détecteur de position

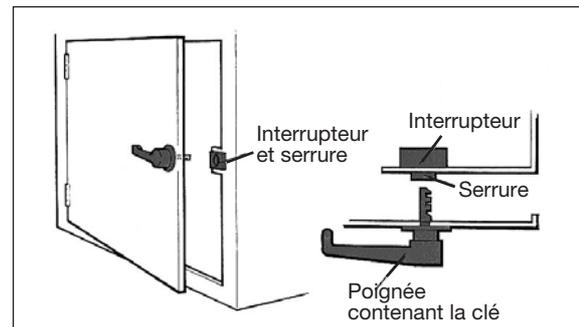
Interrupteur à commande mécanique (électrique, pneumatique, hydraulique)



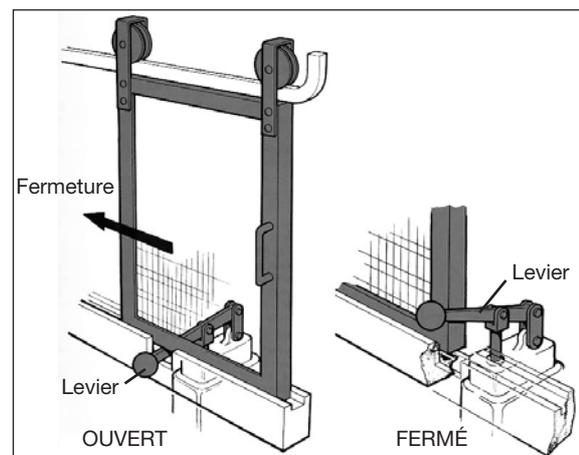
Interrupteur à languette



Interrupteur à clé captive



Exemple de dispositif à verrouillage mécanique



Autres dispositifs de verrouillage

- connecteurs à broches,
- dispositifs à transfert de clés (§ 4.4.2-A),
- etc.

Principe

Un seul interrupteur à manœuvre positive d'ouverture actionné suivant le mode positif contrôle la position du protecteur.

Avantages

- Action mécanique positive.
- Manœuvre positive d'ouverture.

Inconvénients

- Défaillance dangereuse en cas de détérioration de l'organe de commande ou de dérèglement du détecteur. À contrôler par inspection visuelle.
- L'absence du protecteur, ou de l'interrupteur, n'est pas détectée.
- Imprécision possible de la détection d'ouverture du protecteur.

Facteurs à prendre en compte

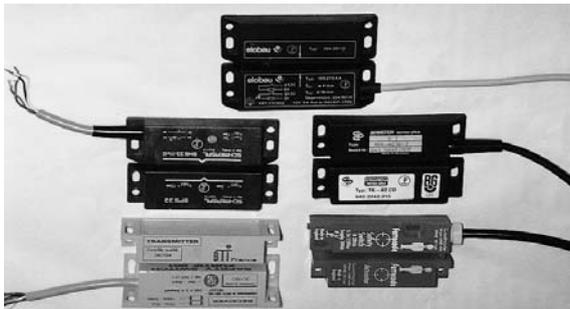
- Fréquence d'ouverture occasionnelle.
- Protection contre les tentatives de fraude.
- Fiabilité.
- Conditions environnementales : hygiène, poussières, produits corrosifs, vibrations.

Documents de référence

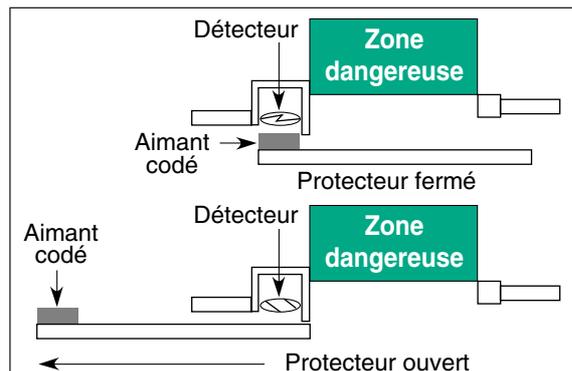
- Dispositifs de verrouillage « intrinsèquement sûrs » pour protecteur fixe et protecteur mobile actionné occasionnellement [4.1].
- Interrupteurs de position électromécaniques à clé [4.5].
- Dispositif de verrouillage électrique à un interrupteur [4.6].

C. Interrupteurs à commande magnétique

Exemple de détecteurs magnétiques de sécurité



Exemple de montage limitant les possibilités de fraude



Principes

Les différents principes rencontrés sont :

- Les détecteurs assurant une ouverture de contact de plusieurs millimètres. Ces détecteurs sont comparables aux interrupteurs classiques qui seraient commutés par l'action d'un aimant au lieu d'une transmission mécanique.
- Les détecteurs basés sur le principe de l'effet HALL.
- Les interrupteurs à lames souples (ILS ou REED). Ces types de détecteurs, étant par conception étanches (IP65-IP67), antidéflagrants et faciles à nettoyer, leur utilisation peut dans certains cas présenter des avantages en matière de sécurité. Cela est notamment le cas lorsque les conditions d'utilisation sont très sévères (hygiène, corrosion, empoussièrement, etc. – dans l'industrie agroalimentaire principalement), conditions pouvant entraîner la détérioration du mécanisme d'actionnement d'un interrupteur mécanique. Dans ces conditions, les interrupteurs de position magnétiques à lames souples peuvent être une alternative intéressante aux interrupteurs de position mécaniques lorsqu'il s'agit d'empêcher une mise en route accidentelle. En effet, une fois ouvert, le contact reste de façon fiable dans cette position tant qu'il n'est pas actionné.

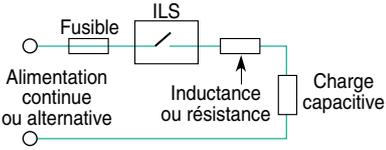
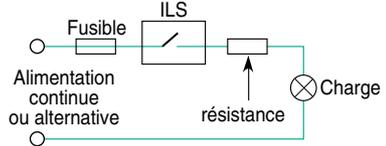
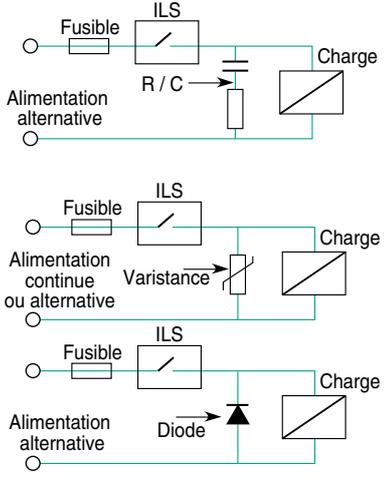
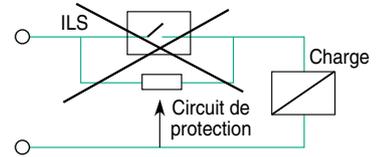
Facteurs à prendre en compte

Pour assurer une fonction de sécurité directe (fonction de verrouillage par exemple) à l'aide de détecteurs de position à commande magnétique, il est recommandé de satisfaire aux trois exigences suivantes :

- appliquer le principe de redondance par l'emploi d'un contact normalement ouvert et d'un contact normalement fermé,
- réaliser avec ces deux contacts un contrôle de discordance, ce qui permet également :
 - d'améliorer le degré d'« inviolabilité »
 - de maîtriser les caractéristiques électriques de fonctionnement du détecteur magnétique.
- utiliser un aimant de commande codé, spécifique au détecteur, afin de limiter les possibilités de neutralisation. Il est également recommandé de prendre toutes les mesures possibles, lors de la conception du montage mécanique du détecteur, pour empêcher l'utilisation d'un aimant de substitution.

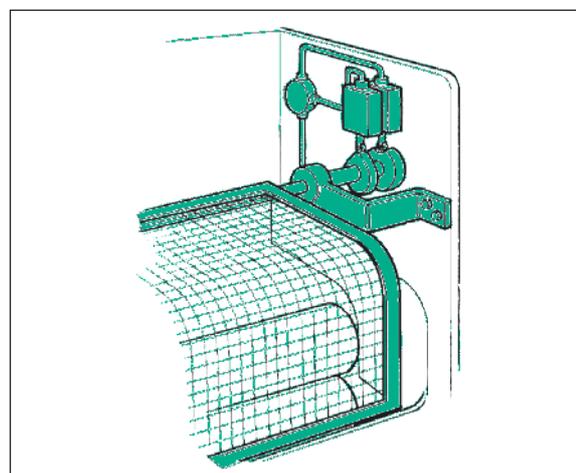
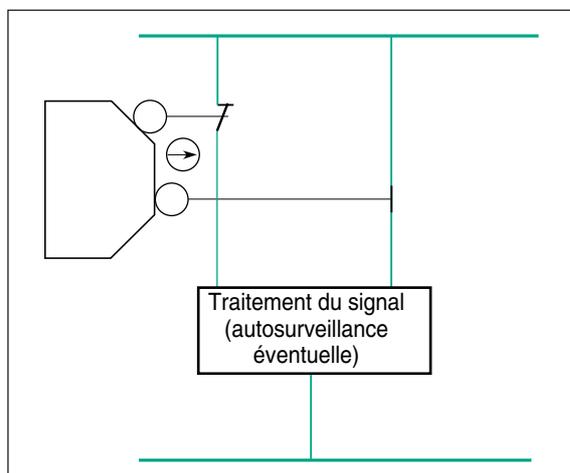
Documents de référence

- Détecteurs de position magnétiques à lames souples [4.7].

Nature de la charge	Circuit de protection	
	Nature	Schéma type
<p>Capacitive Lors de la fermeture du contact, on peut se trouver en présence d'un court-circuit momentané et donc d'une surintensité importante.</p>	Résistance ou inductance en série avec la charge	
<p>Résistive La résistance à froid d'un filament est environ 10 fois plus faible qu'en état d'incandescence. À la fermeture du contact, on se trouve donc en présence d'une surintensité de 10 fois l'intensité nominale.</p>	Résistance en série avec la charge	
<p>Inductive Lors de l'ouverture du circuit, la brusque variation de champ magnétique induit une surtension importante.</p>	<p>En courant alternatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - circuit R/C ou varistance en parallèle de la charge <p>En courant continu :</p> <ul style="list-style-type: none"> - diode ou varistance en parallèle de la charge 	
Le circuit de protection ne doit pas être monté en parallèle du contact afin d'éviter qu'une défaillance de ce circuit ne vienne « court-circuiter » le contact.		

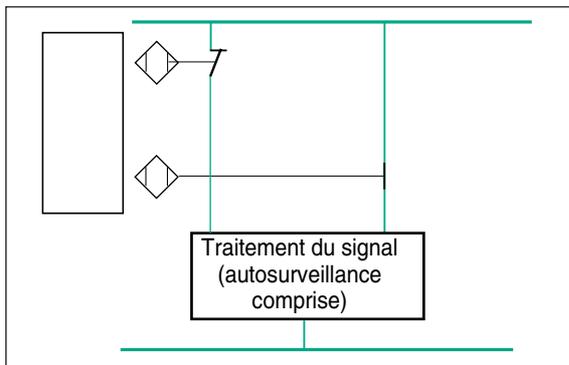
D. Dispositifs de verrouillage à deux détecteurs de position

Dispositif de verrouillage à deux interrupteurs à manœuvre positive d'ouverture

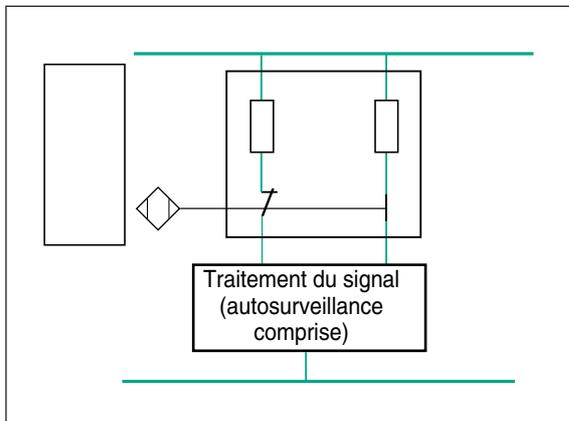


Dispositif de verrouillage à deux détecteurs de proximité à commande non mécanique

- détecteurs inductifs



- détecteurs magnétiques



Principe

Un détecteur est actionné suivant le mode positif, l'autre est actionné suivant le mode positif.

Avantages

- La duplication évite une première défaillance dangereuse.
- La mise en œuvre de composants de nature différente évite le risque de défaillance de mode commun.
- Ce système permet la détection de l'absence du protecteur.

Facteurs à prendre en compte

- Ouverture fréquente et/ou détecteurs de position à commande non mécanique.
- Défaillances de mode commun.
- Protection contre les tentatives de fraude.
- Fiabilité des composants.

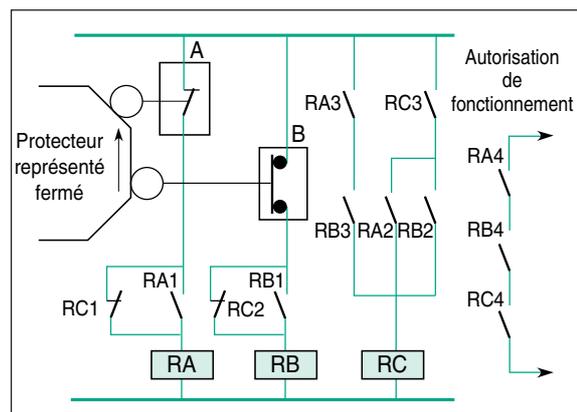
- Manœuvre positive d'ouverture des contacts.
- Conditions environnementales : hygiène, poussières, produits corrosifs, vibrations.

Documents de référence

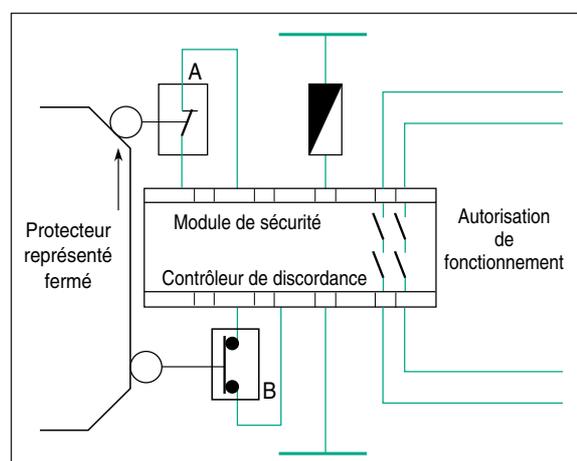
- Interrupteurs de position à ouverture forcée et à commande mécanique positive, utilisés pour la protection des personnes. Choix et montage [4.4].
- Interrupteurs de position électromécaniques à clé [4.5].
- Dispositifs de verrouillage « à sécurité positive » (autosurveillance) pour protecteur mobile actionné fréquemment [4.8].
- Détecteurs de proximité inductifs [4.9].
- Dispositif de verrouillage électrique à deux interrupteurs [4.10].

E. Dispositifs d'auto-surveillance

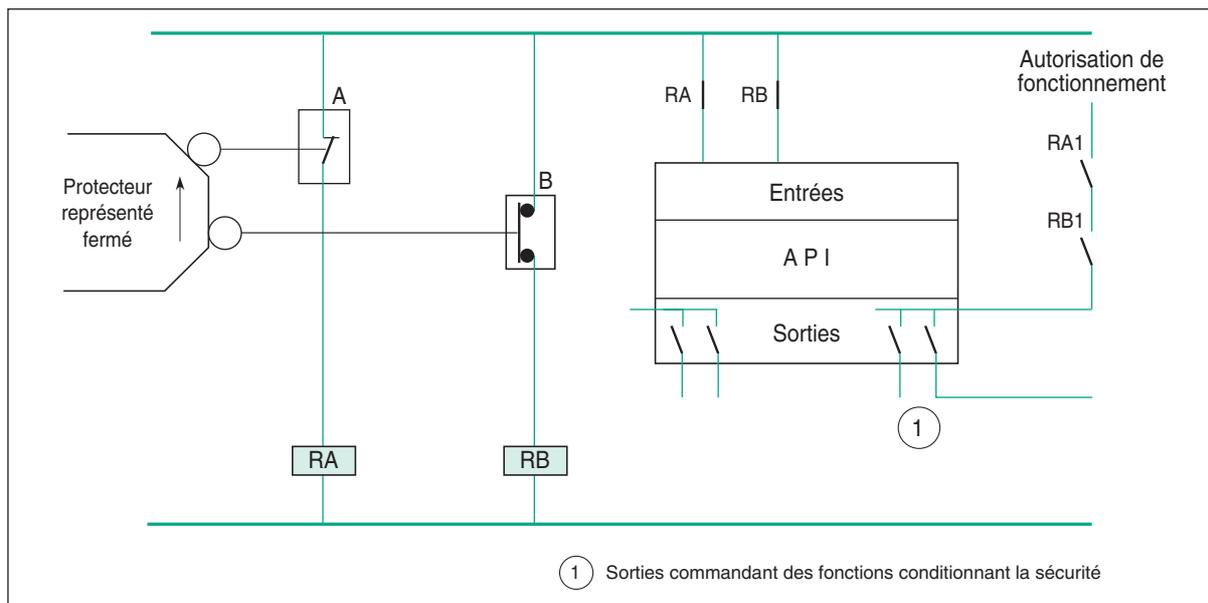
Auto-surveillance par composants électromécaniques



Auto-surveillance par module de sécurité (contrôleur de discordance)



Autosurveillance par automate programmable industriel



ATTENTION : l'automate programmable ne gère que la fonction d'autosurveillance (fonction de sécurité indirecte), la fonction de verrouillage (sécurité directe) est nécessairement assurée par un dispositif à relaying.

Les relais RA et RB doivent être des relais à contacts liés. L'autocontrôle porte sur les contacts « repos » (contacts à ouverture).

Principe

La fonction d'autosurveillance s'exerce à chaque ouverture du protecteur, quelle que soit la fréquence de manœuvre.

Avantages

- Câblage simple (deux fils entre chaque interrupteur et l'armoire de commande).
- Sécurité positive assurée dans les cas suivants :
 - A et B restent fermés, le protecteur étant ouvert,
 - court-circuit des contacts de A ou B,
 - coupure ou court-circuit des fils de liaison.
- La détection d'une discordance provoque un ordre d'arrêt et interdit la remise en marche tant que celle-ci n'est pas supprimée.

Facteurs à prendre en compte

- Défaillances de mode commun.
- Protection contre les neutralisations.

- Fiabilité des composants et conception du circuit électrique de contrôle de discordance.

Documents de référence

- L'intégration de la sécurité. Conception d'un automatisation [4.11].
- Dispositif de verrouillage à deux détecteurs ou interrupteurs avec autosurveillance par contrôle de la discordance [4.12].

4.4.2. Protecteur avec dispositif d'interverrouillage

Définition (NF EN 292-1, § 3.22.5)

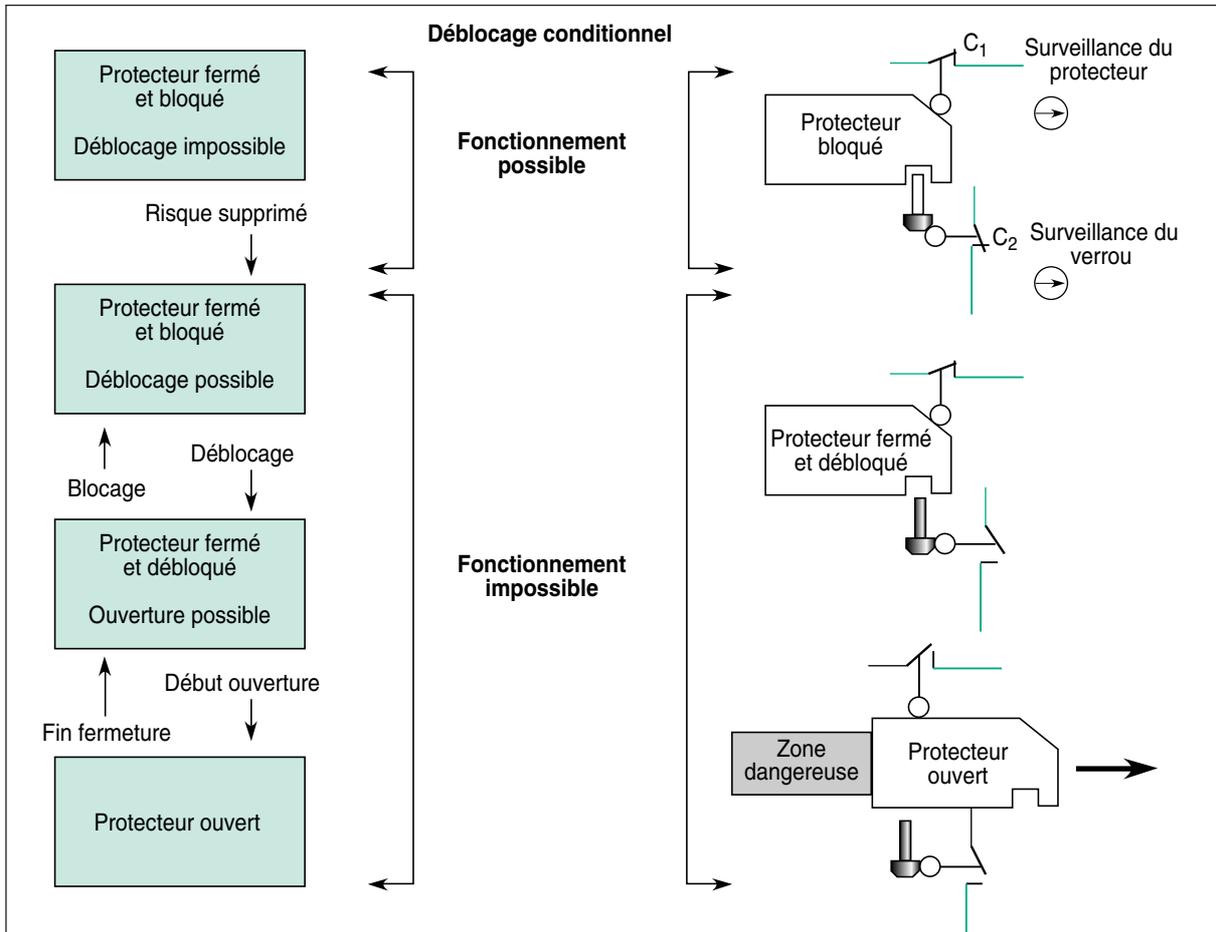
« *Protecteur associé à un dispositif de verrouillage et à un dispositif de blocage mécanique, de sorte que :*

- *les fonctions dangereuses de la machine "couvertes" par le protecteur ne puissent s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé et bloqué,*
- *le protecteur reste bloqué en position de fermeture jusqu'à ce que le risque de blessure dû aux fonctions dangereuses de la machine ait disparu,*
- *quand le protecteur est bloqué en position de fermeture, les fonctions dangereuses de la machine "couvertes" par le protecteur puissent s'accomplir, mais la fermeture et le blocage du protecteur ne provoquent pas à eux seuls leur mise en marche. »*

Le dispositif de déblocage du protecteur peut fonctionner soit de manière inconditionnelle, cela supposant qu'un ordre d'arrêt ait été donné au début de la manœuvre d'ouverture du protecteur et que le temps nécessaire pour débloquer celui-ci soit supé-

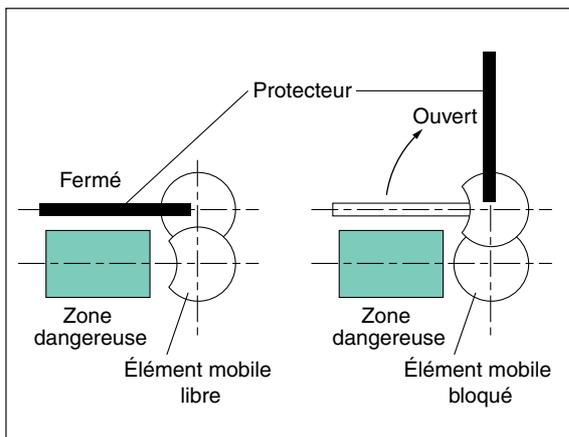
rieur au temps d'élimination des phénomènes dangereux, soit de façon conditionnelle, le déblocage du protecteur étant réalisé après la détection de la disparition des phénomènes dangereux (temporisation, détecteur d'arrêt, etc.)

Exemple de diagramme fonctionnel d'un dispositif d'interverrouillage

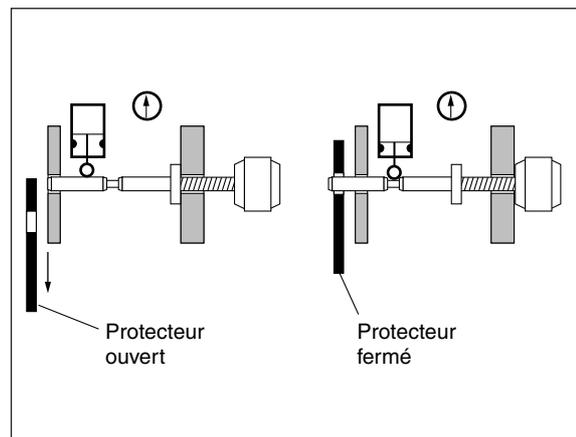


A. Dispositifs d'interverrouillage

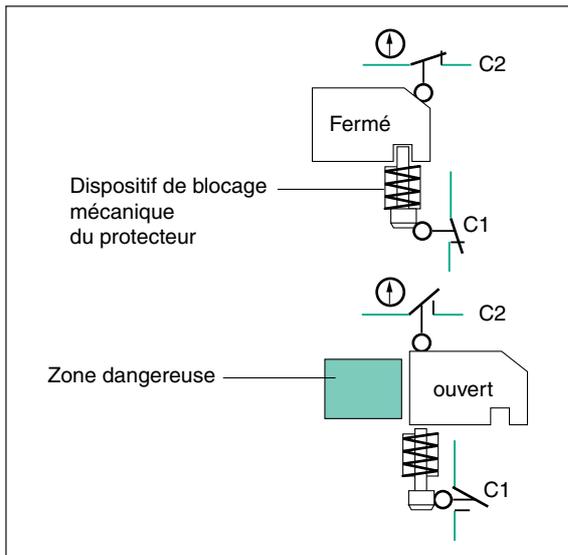
Dispositif d'interverrouillage mécanique



Dispositif temporisateur (ex. : retardateur à vis)

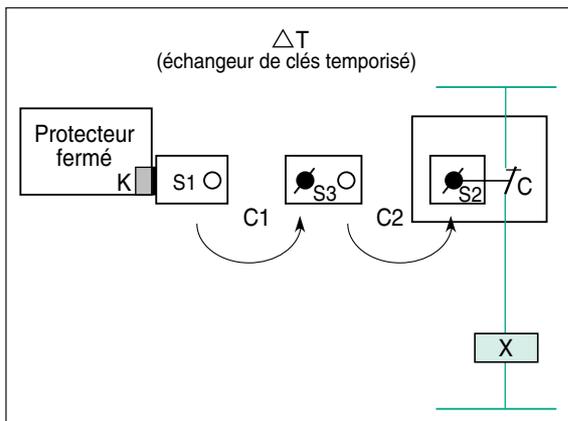


Dispositif de blocage mécanique du protecteur

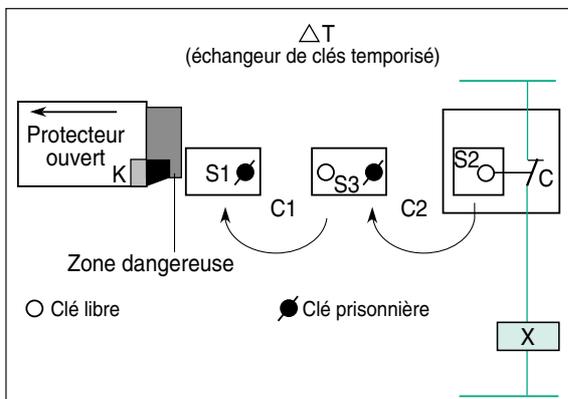


Dispositif à transfert de clé (sur circuit de puissance ou de commande)

Fermeture du protecteur puis mise en marche de la machine



Arrêt de la machine puis ouverture du protecteur



S1 : serrure à loquet
S2 : serrure à contact
S3 : serrure électromécanique

Principe

Le protecteur mobile est bloqué en position fermée par un verrou. Le débloquage du protecteur est commandé soit par un dispositif chronométrique (temporisation) soit par un dispositif de détection d'arrêt des phénomènes dangereux.

Facteurs à prendre en compte

- Estimation du risque.
- Temps d'arrêt effectif des éléments mobiles (note 2 page 28).
- Temps d'accès aux éléments mobiles dangereux (note 3 page 28).
- Défaillances de mode commun.
- Contrôle des positions du pêne et du verrou.
- Défaillance du verrou ou de son dispositif d'alimentation (en cas de défaut, le verrou doit maintenir le protecteur en position bloquée).
- Protection contre les neutralisations.
- Fiabilité.

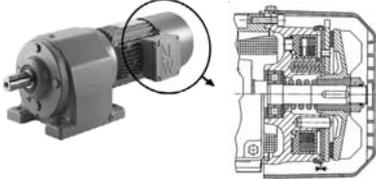
Consigne particulière

- Prévoir si nécessaire un dispositif de déblocage de secours du verrou en cas de coupure prolongée de son alimentation.

Documents de référence

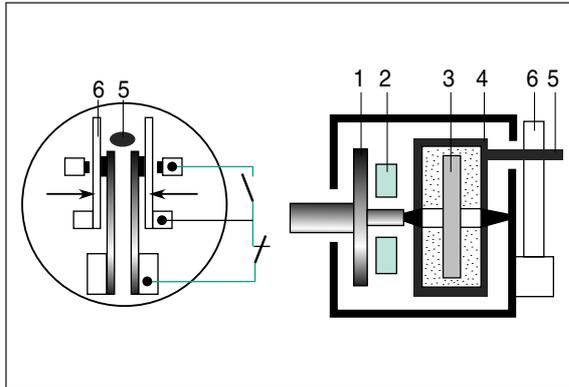
- Interrupteurs de position électromécaniques à clé [4.5].
- Dispositifs d'interverrouillage avec ou sans dispositifs de déverrouillage différé pour protecteur mobile [4.13].

B. Dispositifs de freinage

	<p>Moteur frein</p>  <p>Module de freinage par manque de courant</p> 	<p>Module de freinage par injection de courant de courant</p> 
<p>P R I N C I P E</p>	<p>Frein à manque de courant Lorsque le frein est alimenté, les disques de freinage sont séparés électromagnétiquement. Lorsque l'alimentation électrique du frein est coupée, les disques de freinage sont plaqués l'un contre l'autre sous l'action de ressorts. Ce sont ces ressorts qui déterminent le couple de freinage.</p>	<p>Frein par injection de courant Le freinage est obtenu par l'alimentation des enroulements du stator d'un moteur en courant pulsé, commandé par un thyristor.</p>
<p>A V A N T A G E S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Un tel dispositif peut faire partie intégrante du moteur, il s'agit alors d'un moteur frein, ou être conçu sous forme de module pouvant être ajouté, si nécessaire, sur une transmission. - Sécurité de freinage en cas de coupure accidentelle d'alimentation. - Conditions de fonctionnement optimales. - Possibilité de déblocage manuel du frein. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permet un freinage doux et constant. - Pas d'usure mécanique et de ce fait aucun entretien. - Dispositif entièrement électrique, ne nécessitant aucune modification mécanique du mécanisme à freiner. - Adaptation facile à différents types de moteur.
<p>I N C O N V É N I E N T S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptation mécanique pouvant être importante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Par principe, ces dispositifs ne respectent pas le principe de l'action positive. Une défaillance (absence d'alimentation, défaillance interne, etc.) peut entraîner une absence de freinage. - La possibilité d'obtenir électriquement des temps de freinage très courts, sur des moteurs non conçus à cet effet, peut entraîner leur détérioration. - Ne convient pas en général pour des freinages fréquents. - Vérifier les caractéristiques électriques lors de l'association avec un contrôleur de vitesse nulle analogique.
<p>Note : Lorsque l'estimation du risque conduit à qualifier la fonction de freinage comme une fonction de sécurité directe, celle-ci ne peut alors être réalisée à l'aide d'un simple module de freinage par injection de courant.</p>		

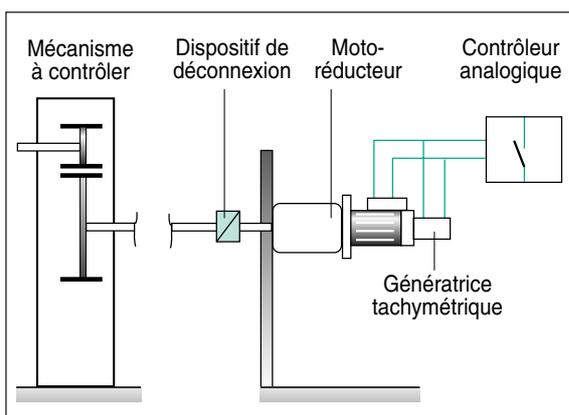
C. Détecteurs de vitesse nulle

Détecteur mécanique : Liaison mécanique par accouplement du contrôleur de rotation et du mécanisme à contrôler. Le basculement du contact de sortie est obtenu par l'intermédiaire d'un accouplement magnétique à glissement (1-2) et d'un accouplement fluïdique (3-4).



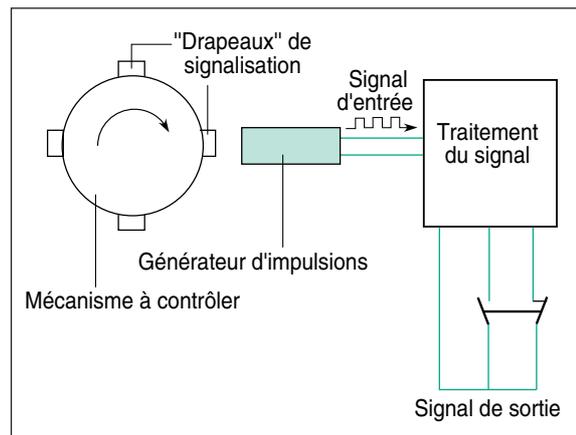
Détecteur analogique : Comparaison d'une consigne préaffichée avec un signal analogique proportionnel à la vitesse de rotation. Ce signal analogique pouvant être généré soit par une génératrice tachymétrique, soit par la force électromotrice prise sur les enroulements statoriques du moteur.

Ce type de détecteur ne contrôle que la rotation du moteur et pas nécessairement la rotation des éléments mobiles dangereux.



Détecteur numérique : Traitement digital des impulsions. Ce type de détecteur se décompose généralement en deux éléments distincts, un générateur d'impulsions et un dispositif de traitement du signal. Les impulsions de commande sont généralement délivrées par un détecteur de proximité associé à un disque

segmenté, un arbre à came, une roue dentée ou tout autre « drapeau » de signalisation.



Étant donné le risque, inhérent au principe de base de ces d'appareils (détection d'une absence de signal d'entrée), de fausse information en cas de défaillance, les contrôleurs de rotation utilisés pour assurer des fonctions de sécurité directe doivent nécessairement posséder une architecture redondante et/ou des fonctions de contrôle.

Il est également très important de s'assurer que le dispositif retenu est conçu et installé de façon à résister aux contraintes environnementales anormales qui pourraient l'affecter (perturbations électriques, électromagnétiques, climatiques, mécaniques, etc.).

Facteurs à prendre en compte

- Nature des éléments dangereux.
- Temps d'accès aux éléments mobiles après déblocage des protecteurs.
- Temps d'arrêt effectif des éléments mobiles ou, suite à une estimation du risque, seuil de vitesse à partir duquel le phénomène dangereux peut être considéré comme supprimé.
- Caractéristiques techniques du mécanisme à contrôler (mode d'entraînement, vitesse maximale et minimale, taux de décélération, en fonction des différents modes de fonctionnement).
- Lors de l'association avec un dispositif de freinage par contre-courant, vérifier la compatibilité entre les caractéristiques électriques des deux composants.

Document de référence

Contrôleurs de vitesse de rotation. Étude de dispositifs de détection d'arrêt [4.14].

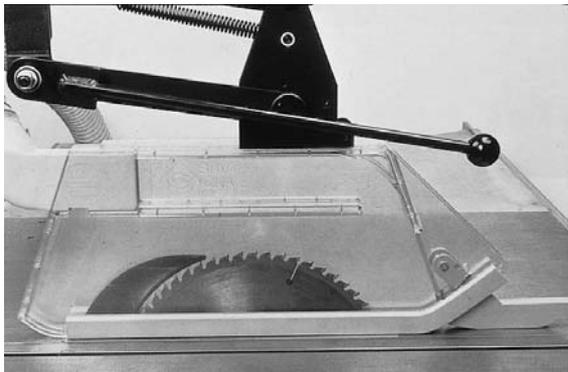
4.5. Protecteur réglable sans outil

Définition (NF EN 292-1, § 3.22.3)

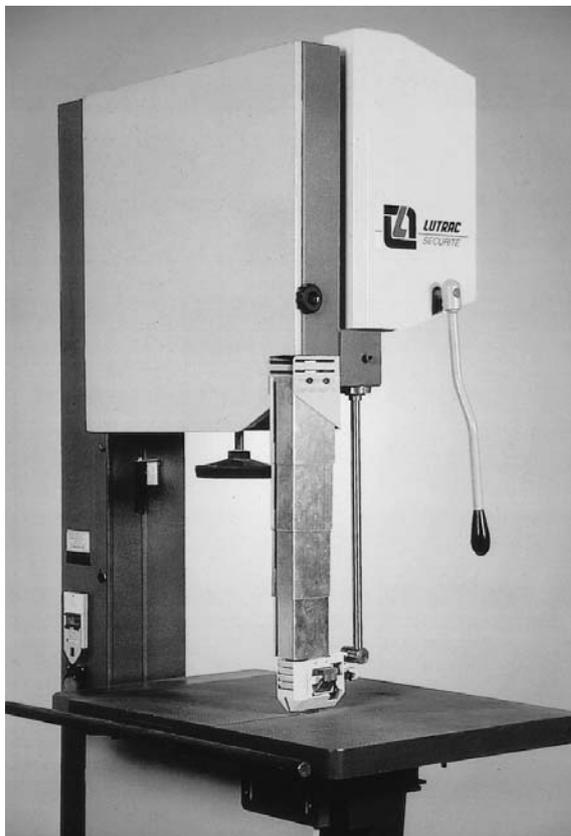
« Protecteur fixe ou mobile qui est réglable dans son ensemble ou qui comporte des parties réglables. Le réglage demeure fixe pendant une opération particulière. »

Exemples

Protecteur réglable pour scie circulaire à table



Protecteur réglable pour scie à ruban de menuiserie



Protecteur réglable pour machine-outil (perceuse)



Principe

Lorsqu'il est impossible d'empêcher l'accès aux parties dangereuses contribuant au travail parce qu'elles sont inévitablement exposées pendant leur fonctionnement (par exemple : foret d'une perceuse, lame de scie circulaire ou à ruban), on peut admettre l'emploi d'un protecteur réglable sans outil.

Consignes particulières

- Le protecteur ne doit pas pouvoir être facilement déposé (butées, etc.).
- Le protecteur doit être facilement réglable sans entrer dans la zone dangereuse.

Facteurs à prendre en compte

- Conception du protecteur (fixation, résistance, vision, matériau, etc.).
- Dimensions des ouvertures éventuelles du protecteur.
- Principes ergonomiques.
- Mode de réglage automatique/manuel.

Documents de référence

- NF EN 292 1 & 2 Sécurité des machines, principes généraux de conception.
- NF EN 294 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs (atteinte à travers les ouvertures).
- NF EN 953 Sécurité des machines, prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles.

4.6. Comparaison de matériels entrant dans les dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage

MATÉRIELS	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Interrupteur à manœuvre positive d'ouverture (et à ouverture forcée)	À lui seul fournit au circuit de commande de la machine une information fiable sur la position « ouverte ou fermée » d'un protecteur.	<ul style="list-style-type: none"> - La came ou la rampe actionnant l'interrupteur doit être immobilisée durablement pour éviter tout déplacement accidentel. Elle doit donc être soudée, rivée ou goupillée par exemple. - L'interrupteur ne doit pas être trop exposé aux chocs, projections de poussières, liquide de coupe...
Interrupteur à clé captive (ou codée)	Il comporte notamment un organe de commande qui ne peut être normalement actionné que par une clé spéciale rendue solidaire du protecteur.	L'existence d'un orifice pour l'introduction de la clé présente l'inconvénient d'une possibilité de colmatage en présence de poussières ou de particules de bois.
Interrupteur à clé avec verrouillage électromagnétique	<ul style="list-style-type: none"> - Son usage est plus simple que celui d'un interrupteur de position classique à contact d'ouverture, qui nécessite l'élaboration et le montage d'une came ou d'une rampe spéciale sur le protecteur pour ne pas être neutralisable et, pour un système d'interverrouillage, le montage d'un verrou piloté électriquement. - Il permet le contrôle d'un protecteur complètement amovible (avec ou sans démontage). 	<ul style="list-style-type: none"> - Il est essentiellement utilisable sur un protecteur dont l'ouverture est réservée à des accès peu fréquents, notamment pour des opérations de réglage, de montage ou de maintenance. - L'utilisation d'un tel dispositif dans une zone empoussiérée nécessite des précautions particulières.
Interrupteur à commande magnétique « de sécurité »	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité d'installation et d'entretien. - Étanchéité aux poussières. - Intègre deux chaînes de détection (NO+NF) et un aimant codé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il n'est pas à manœuvre positive d'ouverture. - Il nécessite un autocontrôle des deux contacts.
Verrou électromagnétique	Il permet de satisfaire l'exigence d'interverrouillage.	<ul style="list-style-type: none"> - La position fermée du protecteur doit être réalisée avec suffisamment de précision pour éviter un non-blocage du pêne et un défaut de mise en marche par non fermeture du contact associé. - Dans le cas des portes pivotantes, il est parfois nécessaire de compléter l'information de fermeture donnée par le contact du pêne par celle d'un interrupteur de position supplémentaire de la porte. - Il doit être implanté dans une zone exempte de pollutions (poussières, copeaux...)
Serrure d'interverrouillage	Avec une serrure directement adaptable sur une porte et dont la clé ne peut pas être retirée tant que la porte n'est pas effectivement fermée, on peut interdire l'accès à des zones dangereuses.	Il faut tenir compte des paramètres suivants : implantation (à l'intérieur ou à l'extérieur), climat, température, ambiance (normale ou corrosive) et fréquence d'usage.
Relais et contacteur auxiliaire à contacts liés	<ul style="list-style-type: none"> - Modes de défaillance prévisibles. - Les mesures compensatoires peuvent être facilement prises. - Le « collage » d'un contact ne supprime pas la sécurité directe et n'inhibe pas certaines fonctions d'autocontrôle. 	Il doit avoir une endurance mécanique suffisante.
Contrôleur de discordance	<ul style="list-style-type: none"> - Il effectue le contrôle des détecteurs de position associés à un écran matériel à ouverture cyclique ou occasionnelle. - Il intègre une autosurveillance de ses composants et offre en sortie des contacts d'utilisation confirmant que les informations en entrée sont valides. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'écart de synchronisme conditionne, dans une certaine mesure, le réglage des détecteurs de position reliés à ses entrées. - Il est difficile de recommander une valeur de l'écart de synchronisme car il dépend de l'inertie du protecteur.
Contrôleur d'arrêt « de sécurité »	<ul style="list-style-type: none"> - Il permet la détection d'une très faible vitesse de rotation, voire l'arrêt d'un mécanisme. - Il intègre un test interne de la tension d'alimentation, une conception redondante et un autocontrôle. 	Par principe, les détecteurs d'arrêt détectent une absence de signal (analogique, numérique ou mécanique). De ce fait, ils ne peuvent être à manœuvre positive d'ouverture.

5 Équipements de protection sensibles conçus pour la détection des personnes

5.1. Équipements de protection sensibles optoélectroniques

Dans la norme NF EN 61496-1 deux types d'équipements de protection électrosensibles (ESPE) sont détaillés, l'ESPE de type 2 et l'ESPE de type 4. Il incombe au constructeur de la machine et/ou à l'uti-

lisateur de prescrire le type qui correspond à une application particulière en fonction de l'estimation du risque effectuée auparavant.

Les ESPE de type 2 et de type 4 doivent respectivement satisfaire aux prescriptions applicables aux parties des systèmes de commande de la catégorie 2 et de la catégorie 4, conformément à la norme NF EN 954-1.

	Résumé des prescriptions	Comportement du système*	Exemples d'application
ESPE de type 2	La ou les fonctions de sécurité doivent être contrôlées à intervalles convenables par le système de commande de la machine.	<ul style="list-style-type: none"> • L'apparition d'un défaut peut mener à la perte de la fonction de sécurité entre les intervalles de contrôle. • La perte de la fonction de sécurité est détectée par le contrôle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle d'accès de zone (enceinte robotisée).
ESPE de type 4	Le système de commande doit être conçu de façon à ce que : <ul style="list-style-type: none"> • un défaut unique du système de commande ne doit pas mener à une perte de la fonction de sécurité, et • le défaut unique doit être détecté à, ou avant, la prochaine sollicitation de la fonction de sécurité. Si cette détection n'est pas possible, une accumulation de défauts ne doit pas mener à une perte des fonctions de sécurité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lorsque les défauts se produisent, la fonction de sécurité est toujours assurée. • Les défauts seront détectés à temps pour empêcher une perte de la fonction de sécurité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs de protection sur machines dangereuses (exemple : presse).

* L'appréciation du risque indiquera si la perte totale ou partielle de la fonction de sécurité provenant du défaut est acceptable.

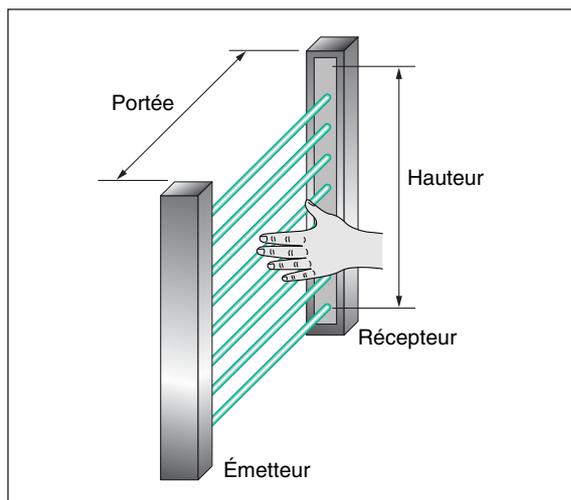
5.1.1. Réglementation

Les « dispositifs électrosensibles conçus pour la détection de personnes » sont inclus dans les composants de sécurité listés à l'annexe IV de la directive 98/37/CE du 22 juin 1998 [5.1]. Ils sont donc, en l'absence de normes harmonisées les concernant, soumis à certification par tierce partie (examen « CE » de type).

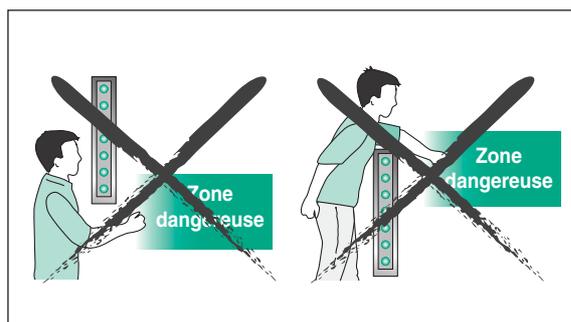
5.1.2. Choix d'un ESPE

Hauteur et portée du faisceau

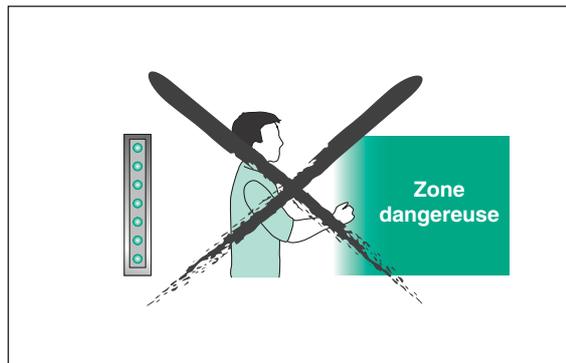
Ces deux caractéristiques déterminent la surface du champ protégé par l'ESPE.



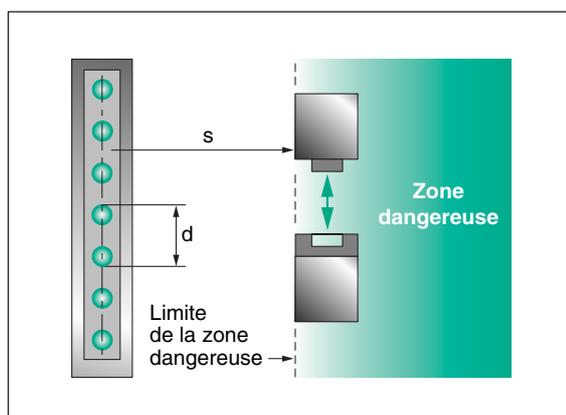
La zone dangereuse ne doit être accessible qu'au travers du champ protégé par l'ESPE.



Il ne doit pas être possible de se tenir entre le champ de détection et la zone dangereuse.



Sensibilité et distance de sécurité



Zone à protéger

Lorsque le champ de protection ne couvre pas parfaitement tous les accès possibles vers la zone dangereuse (sur le côté, par-dessous ou par-dessus le barrage immatériel), il faut ajouter des protections complémentaires (protecteurs fixes, mobiles, dispositifs électrosensibles, etc.) protégeant ces accès.

La protection par ESPE n'est pas adaptée aux machines présentant des risques de projection.

Fonctions de sécurité à remplir

Détection du doigt ou de la main :

→ ESPE de sensibilité d inférieure ou égale à 40 mm (barrage immatériel).

Détection du passage du bras ou du corps :

→ ESPE de sensibilité d inférieure ou égale à 70 mm (dispositifs multifaisceaux).

Détection de présence dans une zone dangereuse

Distance de sécurité

Cette distance S permet d'adapter le temps d'accès au temps d'arrêt de l'élément mobile dangereux.

$$S = K \times (t1 + t2) + C$$

S = distance de sécurité en mm avec

$$S_{\text{mini}} = 100 \text{ mm}$$

K = constante en mm/s, calculée à partir des vitesses d'approche du corps humain de la zone dangereuse (NF EN 999)

$t1$ = temps de réponse global du dispositif en secondes (donnée constructeur)

$t2$ = temps de mise à l'arrêt de la machine en secondes

C = distance supplémentaire en mm (NF EN 999)

La protection par ESPE n'est généralement pas adaptée aux machines présentant un temps de mise à l'arrêt important.

Catégorie de l'ESPE

Pour assurer sa fonction de sécurité, l'ESPE et son raccordement doivent correspondre à la catégorie du système de commande de la machine considérée.

A. Contrôle d'accès par barrière immatérielle

Principe

Dispositif optoélectronique à faisceaux multiples. L'occultation d'une partie du champ de détection provoque l'arrêt des mouvements dangereux.

En ce qui concerne la formation du rideau lumineux par balayage de zone, deux technologies sont actuellement proposées, sans que l'une ou l'autre puisse être préférée :

- barrières à balayage électronique,
- barrières à miroir tournant.

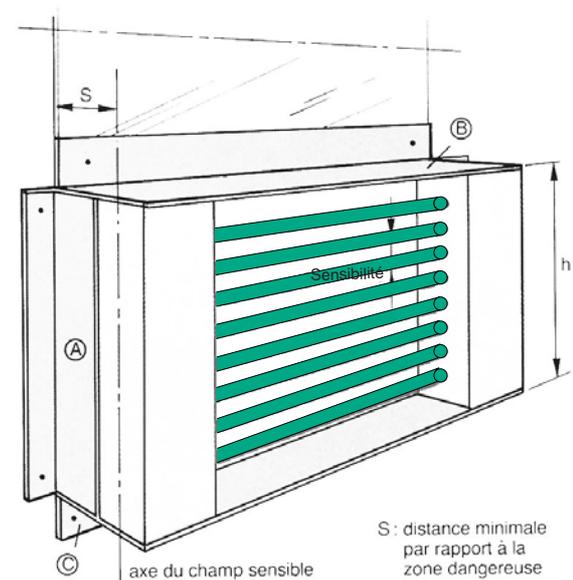
Facteurs à prendre en compte

- caractéristiques fonctionnelles (portée, volume sensible, sensibilité, etc.)
- vitesse d'approche,
- temps d'obtention de l'arrêt des mouvements dangereux,
- distance champ de détection/éléments dangereux,
- sûreté de fonctionnement.

Ce type de contrôle d'accès ne garantit pas l'absence de personnel dans la zone contrôlée.

Exemple de protections

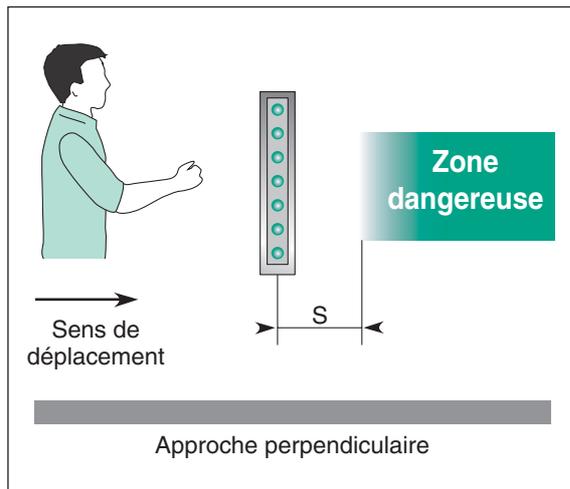
Barrière immatérielle verticale et protections complémentaires matérielles fixes (A,B,C)



■ BARRIÈRE DE SENSIBILITÉ INFÉRIEURE OU ÉGALE À 40 mm

Ce type de barrière est nécessaire pour détecter le passage du doigt ou de la main de l'opérateur. La barrière se trouve généralement proche de la zone dangereuse.

Détermination de S pour une approche perpendiculaire (NF EN 999)



Pour les presses, il est nécessaire de se référer aux documents spécifiques.

(voir Avant-propos).

$$K = 2\,000 \text{ mm/s}$$

$$C = 8 \times (d - 14) \text{ avec } C_{\text{mini}} = 0 \text{ mm}$$

et d = sensibilité de la barrière en mm (donnée constructeur).

$$\text{soit } S = 2\,000 \times (t_1 + t_2) + 8 \times (d - 14)$$

Si la distance de sécurité calculée à l'aide de cette relation est supérieure à 500 mm, celle-ci pourra être réduite en utilisant $K = 1\,600 \text{ mm/s}$ mais à condition de respecter une distance S minimum de 500 mm.

Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$

- une barrière immatérielle de sensibilité $d = 14 \text{ mm}$ et de temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$

$$S = 2\,000 \times (0,02 + 0,4) + 8 \times (14 - 14) = 840 \text{ mm}$$

S est supérieur à 500 mm, on peut donc utiliser $K = 1\,600 \text{ mm/s}$

soit :

$$S = 1\,600 \times (0,02 + 0,4) + 8 \times (14 - 14) = 672 \text{ mm}$$

Nota :

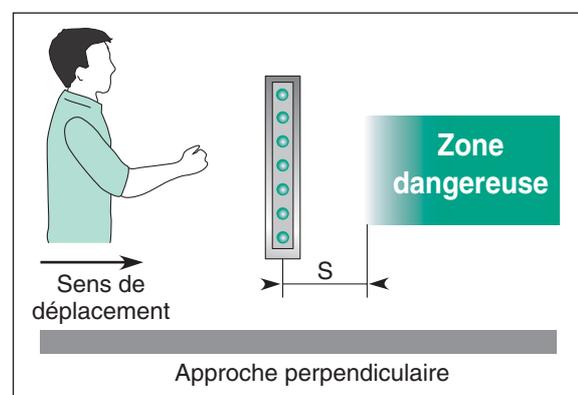
La distance minimale S ne doit jamais être inférieure à 100 mm.

De plus, si la barrière immatérielle est utilisée pour la commande d'enchaînement de cycles, elle doit avoir une capacité de détection d'objet inférieure ou égale à 30 mm, la valeur de K doit toujours être égale à 2 000 mm/s et la distance minimale S ne doit pas être inférieure à 150 mm si la capacité de détection de la barrière immatérielle est supérieure à 14 mm.

■ BARRIÈRE DE SENSIBILITÉ SUPÉRIEURE À 40 mm ET INFÉRIEURE OU ÉGALE À 70 mm

Ce type de barrière ne doit être utilisé que s'il ressort de l'estimation du risque que la détection des mains n'est pas nécessaire. Il permet de détecter le passage d'un bras ou du corps de l'opérateur. Ce type de détection convient aux protections d'accès ou périmétriques.

Détermination de S pour une approche perpendiculaire (NF EN 999)



Hauteur du faisceau le plus bas $\leq 300 \text{ mm}$

Hauteur du faisceau le plus haut $\geq 900 \text{ mm}$

$$K = 1\,600 \text{ mm/s}, C = 850 \text{ mm}$$

$$\text{soit } S = 1\,600 \times (t_1 + t_2) + 850 \text{ mm}$$

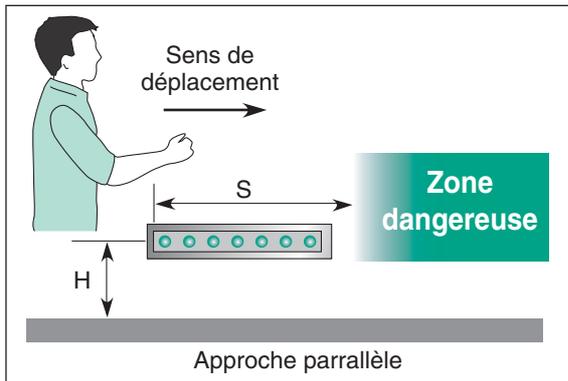
Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$

- une barrière immatérielle de sensibilité $d = 50 \text{ mm}$ et de temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$

$$S = 1\,600 \times (0,02 + 0,4) + 850 = 1\,522 \text{ mm}$$

Détermination de S pour une approche parallèle (NF EN 999)



H : Hauteur du faisceau le plus élevé

$$H_{\text{maxi}} = 1\,000 \text{ mm}$$

$$H_{\text{mini}} = 15 \times (d - 40 \text{ mm}) \text{ avec}$$

d : sensibilité de la barrière en mm
(donnée constructeur)

Lorsque **H** est supérieur à 300 mm, il existe un risque d'accès accidentel sous la zone de détection.

$$K = 1\,600 \text{ mm/s}$$

$$C = 1\,200 - (0,4 \times H) \text{ avec } C_{\text{mini}} = 850 \text{ mm}$$

$$\text{soit } S = 1\,600 \times (t_1 + t_2) + 1\,200 - 0,4 H$$

Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$

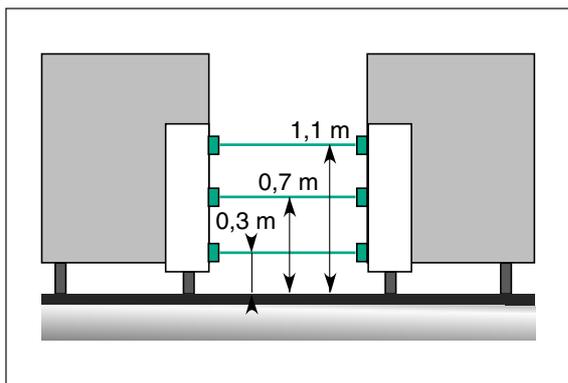
- une barrière immatérielle de sensibilité $d = 50 \text{ mm}$ et de temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$.

- une implantation de barrage pour $H_{\text{mini}} = 15 \times (50 - 40 \text{ mm}) = 150 \text{ mm}$

$$S = 1\,600 (0,02 + 0,4) + 1\,200 - 0,4 \times 150 = 1\,812 \text{ mm}$$

■ BARRIÈRE DE SENSIBILITÉ SUPÉRIEURE À 70 mm

Ces dispositifs ne détectent pas nécessairement le passage du corps ou d'une partie du corps vers la



zone dangereuse. Ce type de détection convient aux protections d'accès ou périmétriques.

Hauteur du faisceau le plus bas $\leq 300 \text{ mm}$

Hauteur du faisceau le plus haut $\geq 900 \text{ mm}$

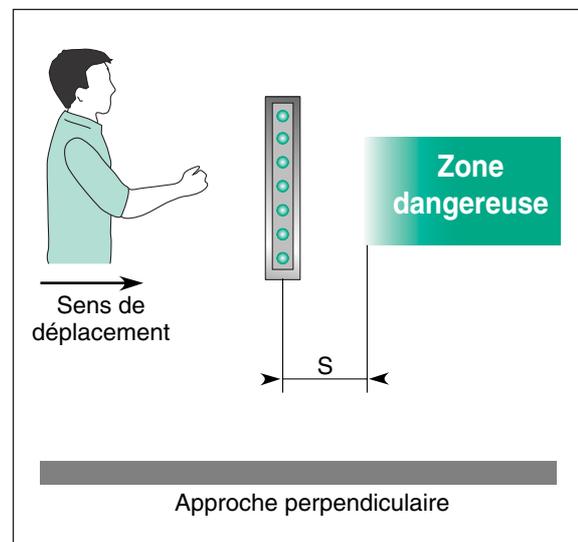
Par exemple, pour les dispositifs à 3 et 4 faisceaux, il est recommandé de respecter les hauteurs suivantes :

Nombre de faisceaux	Hauteur recommandée
4	300-600-900-1 200 mm
3	300-700-1 100 mm

Lors de l'estimation du risque, il est important de prendre en compte les cas suivants :

- passage sous le faisceau le plus bas,
- passage de la main, du bras ou du corps entre deux faisceaux,
- passage de la main au-dessus du faisceau le plus haut.

Détermination de S pour une approche perpendiculaire (NF EN 999)



$$K = 1\,600 \text{ mm/s}$$

$$C = 850 \text{ mm}$$

soit

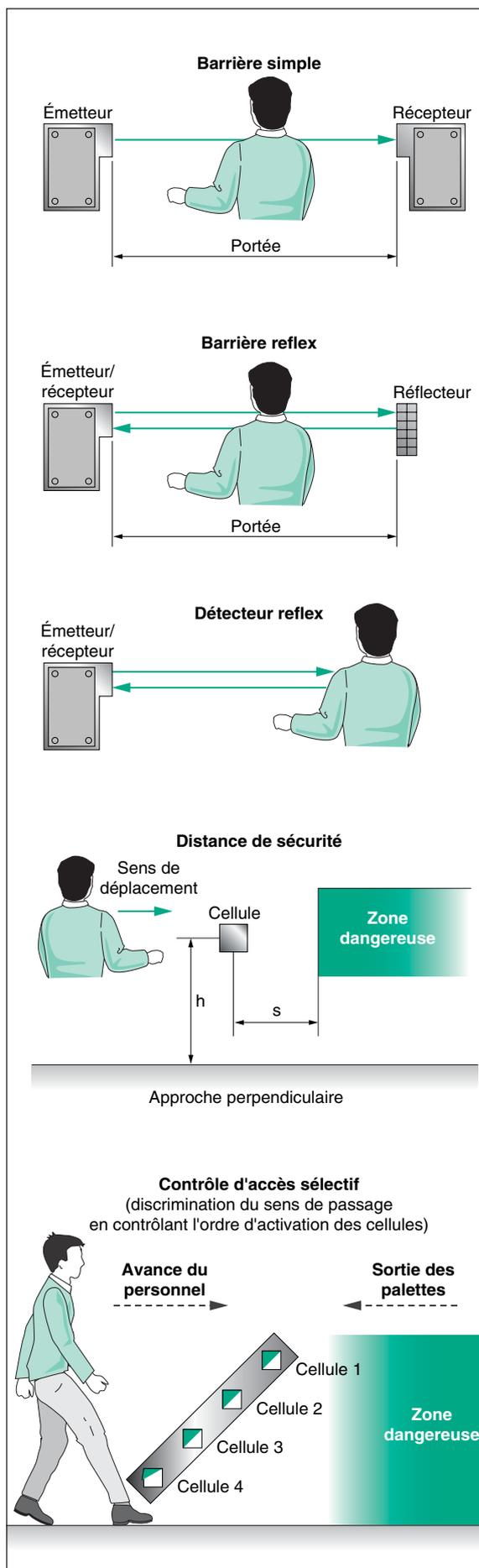
$$S = 1\,600 \times (t_1 + t_2) + 850 \text{ mm}$$

Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$.

- un dispositif de sensibilité $d = 300 \text{ mm}$ et de temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$.

$$S = 1\,600 \times (0,02 + 0,4) + 850 = 1\,522 \text{ mm}$$



B. Contrôle d'accès par cellule(s) monofaisceau

Principe

Dispositif optoélectronique à faisceau unique. L'occultation d'un ou plusieurs faisceaux lumineux provoque l'arrêt des mouvements dangereux. Dans tous les cas, les cellules doivent être de « sécurité ».

Le faisceau doit être parallèle au sol et coupé par le corps d'une personne en position debout. La hauteur recommandée pour l'implantation d'une cellule monofaisceau est de 750 mm. Ce type de contrôle d'accès ne garantit pas l'absence de personnel dans la zone contrôlée.

Facteurs à prendre en compte

- caractéristiques fonctionnelles (portée, volume sensible, sensibilité, etc.),
- vitesse d'approche,
- temps d'obtention de l'arrêt des mouvements dangereux,
- distance champ de détection/éléments dangereux,
- sûreté de fonctionnement.
- possibilité d'éviter la détection en passant par-dessus ou par-dessous le faisceau.

Détermination de S

$K = 1\,600 \text{ mm/s}$

$C = 1\,200 \text{ mm}$

soit $S = 1\,600 \times (t_1 + t_2) + 1\,200 \text{ mm}$

Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$.

- une cellule de temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$.

$S = 1\,600 \times (0,02 + 0,4) + 1\,200 = 1\,872 \text{ mm}$

En cas d'association de plusieurs cellules, l'électronique gérant les différentes cellules (autocontrôle) doit être également à sécurité positive.

Un faisceau explore une surface sensible. Ce type de dispositif permet de créer une surface sensible soit dans le plan horizontal (plancher sensible immatériel), soit dans le plan vertical (« paravent » sensible immatériel).

C. Exemples de détections superficiques et périmétrique

Figure a

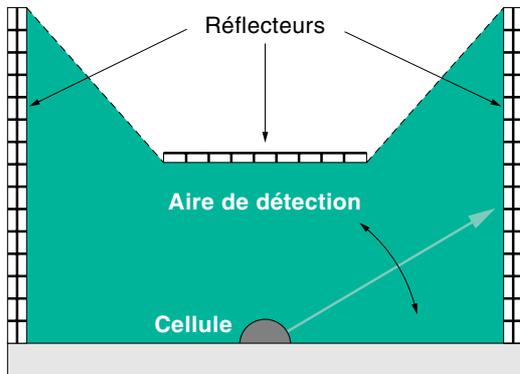
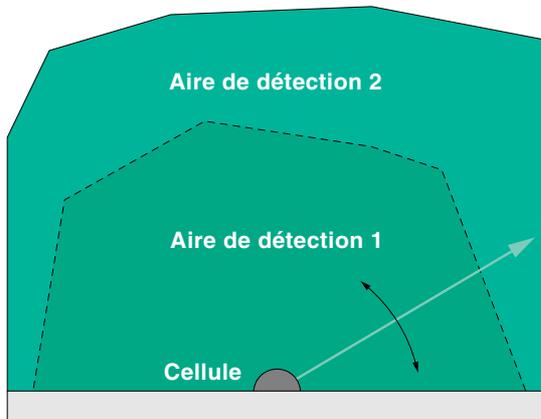
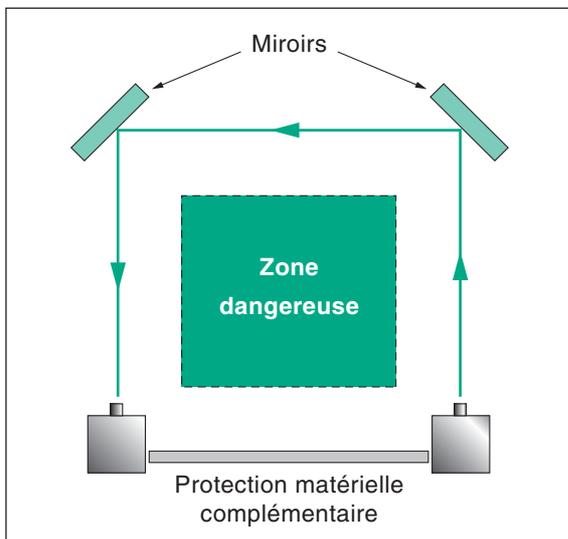


Figure b



Barrage immatériel et miroirs de renvoi permettant la protection de plusieurs accès avec un seul barrage immatériel (vue de dessus).



Les limites de la zone sensible sont définies par des réflecteurs spéciaux (figure a), ou par programmation (figure b) dans le cas de cellules plus complexes, celles-ci permettant entre autres :

- de définir le contour géométrique souhaité,
- de définir plusieurs zones de sécurité.

Ce type de dispositif est bien adapté à des situations telles que sites automatisés et robotisés.

Par exemple, un accès dans la zone 2 provoque une alarme ou le passage en vitesse réduite du robot ; l'accès en zone 1 provoque l'arrêt d'urgence.

Documents de référence

- NF EN 294 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs.
- NF EN 811 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 999 Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.
- NF EN 61496-1 Sécurité des machines - Équipements de protection électrosensibles. Partie 1 : Prescriptions générales et essais.
- CEI 61496-2 Sécurité des machines - Équipement de protection électrosensible. Partie 2 : Prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD).
- pr NF EN 61496-3 Sécurité des machines - Systèmes de protection électrosensibles. Partie 3 : Prescriptions particulières pour les systèmes utilisant des systèmes actifs optoélectroniques sensibles aux réflexions diffuses (AOPDDRS).

5.2. Équipements de protection sensibles à la pression

5.2.1. Définitions

Tapis sensible à la pression (NF EN 1760-1)

« Dispositif de sécurité comprenant un(des) capteur(s) qui répond à l'application d'une pression et un circuit de commande avec ou sans fonction de contrôle selon la catégorie spécifiée et une ou plusieurs interfaces de sortie (voir NF EN 954-1).

Dans un tapis sensible, la surface sensible se déforme localement pour actionner le(s) capteur(s). »

Plancher sensible à la pression (NF EN 1760-1)

« Dispositif de sécurité comprenant un(des) capteur(s) qui répond à l'application d'une pression et un circuit de commande avec ou sans fonction de contrôle selon la catégorie spécifiée et une ou plusieurs interfaces de sortie (voir NF EN 954-1).

Dans un plancher sensible, la surface sensible se déforme dans sa totalité quand le(s) capteur(s) est(sont) activé(s) ou actionné(s). »

Bord sensible à la pression (NF EN 1760-2)

« Dispositif de sécurité comprenant :

a) Un ou plusieurs capteurs qui génère(nt) un signal lorsqu'une pression est appliquée à une partie de sa surface extérieure, où :

- la longueur est supérieure à la largeur,
- la section transversale est constante sur toute la surface sensible à la pression,
- la largeur de la section transversale est supérieure à 8 mm,
- l'ensemble du champ sensible effectif est déformé localement pour actionner le(s) capteur(s).

Note : La largeur de la section transversale est généralement inférieure ou égale à 80 mm. Elle peut être plus grande que 80 mm.

b) Un circuit de commande qui répond à un signal provenant du capteur et qui génère et transmet un ou plusieurs signaux de sortie vers le système de commande d'une machine. »

Barre sensible à la pression (NF EN 1760-2)

« Dispositif de sécurité comprenant :

a) Un ou plusieurs capteurs qui génère(nt) un signal lorsqu'une pression est appliquée à une partie de sa surface extérieure, où :

- la longueur est supérieure à la largeur,
- la section transversale est constante sur toute la surface sensible à la pression,
- la largeur de la section transversale est supérieure à 8 mm et généralement inférieure à 80 mm,
- le champ sensible effectif se déplace dans sa totalité pour actionner le(s) capteur(s).

Note : La surface d'une barre sensible peut également se déformer localement, mais la déformation ne doit pas actionner le(s) capteur(s).

b) Un circuit de commande qui répond à un signal provenant du capteur et qui génère et transmet un ou plusieurs signaux de sortie vers le système de commande d'une machine. »

Pare-chocs sensible à la pression (NF EN 1760-3)

« Dispositif sensible à la pression avec un capteur ayant les caractéristiques suivantes :

- la section transversale de la surface sensible peut être régulière ou irrégulière,
- la largeur de la section transversale est généralement supérieure à 80 mm,
- la surface sensible effective est déformée localement ou peut se déplacer en bloc. »

Plaque sensible à la pression (NF EN 1760-3)

« Dispositif sensible à la pression avec un capteur ayant les caractéristiques suivantes :

- la surface sensible effective est normalement, mais pas nécessairement, plane,
- la largeur de la surface sensible effective est généralement supérieure à 80 mm,
- la surface sensible effective se déplace d'un bloc. »

Câble sensible à la pression (NF EN 1760-3)

« Dispositif sensible à la pression avec un capteur ayant les caractéristiques suivantes :

- un câble, un cordon, une corde ou un fil mis en tension,
- une variation de la tension est détectée pour donner un signal de sortie. »

5.2.2. Réglementation

Les « dispositifs sensibles à la pression conçus pour la détection de personnes » sont inclus dans les composants de sécurité listés à l'annexe IV de la directive 98/37/CE du 22 juin 1998 [5.1]. Ils sont donc, en l'absence de normes harmonisées les concernant, soumis à certification par tierce partie (examen « CE » de type).

A. Bordures (bords et barres) sensibles

Principe

Une pression exercée sur la bordure sensible entraîne une déformation qui provoque l'arrêt du mouvement dangereux et si nécessaire l'inversion du mouvement. Les différentes technologies rencontrées sont : pneumatique, électrique et optique. Il existe deux types principaux d'applications :

- Application de type A

Le capteur est normalement monté sur une surface mobile susceptible d'engendrer un risque de collision, d'emprisonnement ou d'écrasement. Dans de telles applications, il est admis que des parties du corps puissent être emprisonnées pendant une courte période. Il est souhaitable que la force de pression soit la plus faible possible.

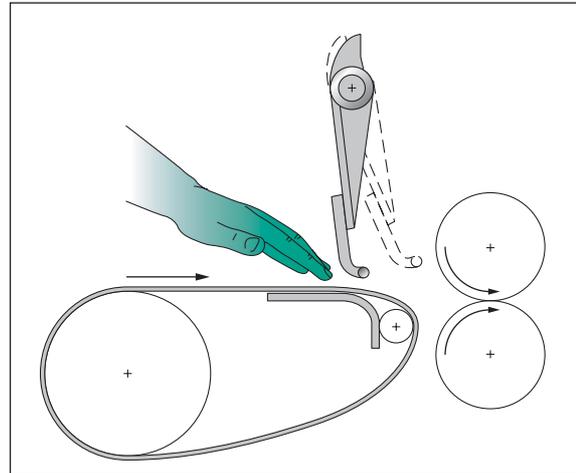
- Application de type B

Le capteur est normalement monté sur un objet fixé à une certaine distance de sécurité par rapport à la zone de danger d'une machine. Le capteur est actionné lorsqu'une personne ou une partie du corps humain s'approche trop près de la zone dangereuse. Il est souhaitable que la distance de sécurité soit suffisante pour assurer que les parties dangereuses d'une machine sont mises au repos avant qu'il soit possible de les atteindre.

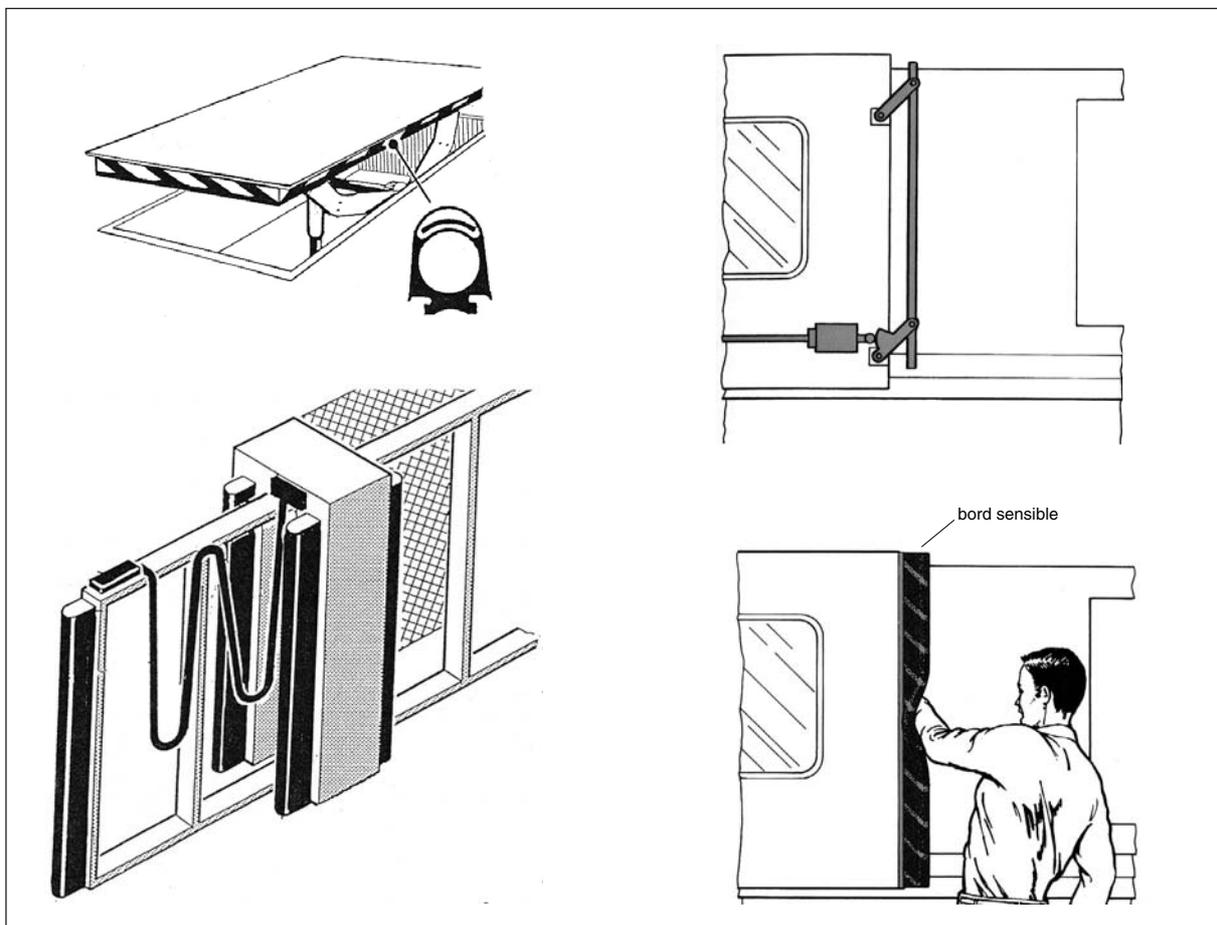
- Type B1 : Dispositif de sécurité destiné à être actionné par les doigts, les mains, ou les bras d'une personne.

- Type B2 : Dispositif de sécurité destiné à être actionné par le torse ou la cuisse d'une personne.

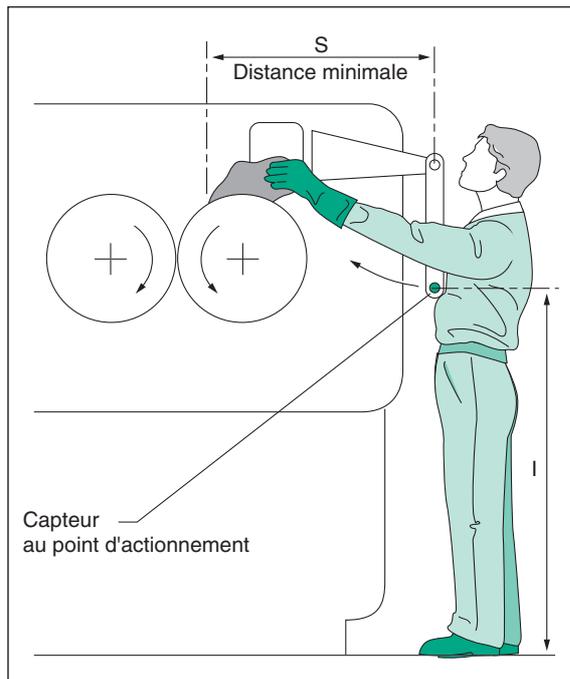
Exemple d'application de type B1



Exemples d'applications de type A



Exemple d'application de type B2



Pour déterminer la distance de sécurité S , depuis le plan d'actionnement du dispositif de sécurité jusqu'au point dangereux le plus proche, il est nécessaire de se reporter à la norme NF EN 999.

Facteurs à prendre en compte

- Caractéristiques fonctionnelles (compressibilité, sensibilité, temps de réponse, etc.).
- Temps d'obtention de l'arrêt des mouvements dangereux.
- Effort de pression maximale.
- Énergie cinétique maximale de la partie mobile.
- Distance champ de détection/éléments dangereux.
- Aptitude à l'emploi, sûreté de fonctionnement.

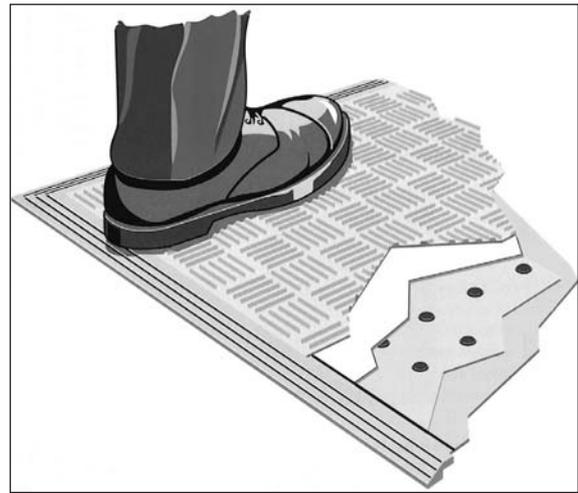
Documents de référence

- NF EN 294 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs.
- NF EN 349 Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain.
- NF EN 811 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 999 Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.

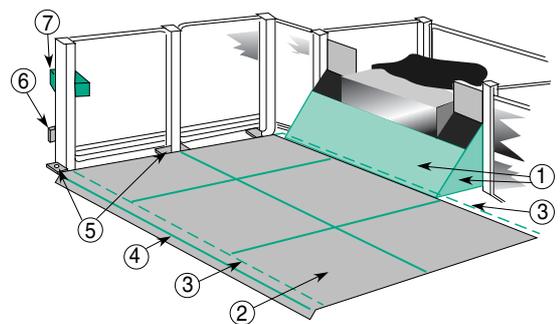
- NF EN 1760-2 Sécurité des machines - Dispositifs de protection sensibles à la pression. Partie 2 : Principes généraux de conception et d'essai des bords et barres sensibles.
- Installation et mise en service des pare-chocs sensibles à la pression [5.2].
- Dispositifs de protection sensibles à la pression [5.3].

B. Tapis et planchers sensibles

Exemple d'utilisation



Installation bien conçue



- 1) Un « couvercle à ressort » empêche que les pieds d'ancrage de la machine ne soient utilisés par l'opérateur pour se placer « en dehors » de la zone du tapis, c'est-à-dire dans la zone dangereuse. Il protège également les câbles et élimine les zones mortes dues aux couvre-câbles.
- 2) Les tapis sont tous situés dans la zone de sécurité et fixés dans la position adéquate.
- 3) Les zones insensibles sont placées de manière à minimiser leur utilisation comme seuils d'accès à la zone dangereuse.
- 4) Les bords des tapis sont protégés par des rebords inclinés qui protègent également les câbles et les connecteurs et réduisent les risques de perte d'équilibre au minimum.
- 5) Des protections à pleine hauteur avec des supports conçus pour éliminer tout accès entre la protection et le système de tapis.
- 6) Jonction des câbles installée à l'extérieur de la protection fixe.
- 7) Circuit de commande situé à un emplacement bien protégé et fournissant une visibilité totale sur la machine lors de l'utilisation du bouton de réarmement local.

Principe

Une présence sur la surface provoque l'arrêt du mouvement dangereux et si nécessaire l'inversion du mouvement.

Technologies rencontrées : pneumatique, électrique, acoustique, optique.

Remarques importantes

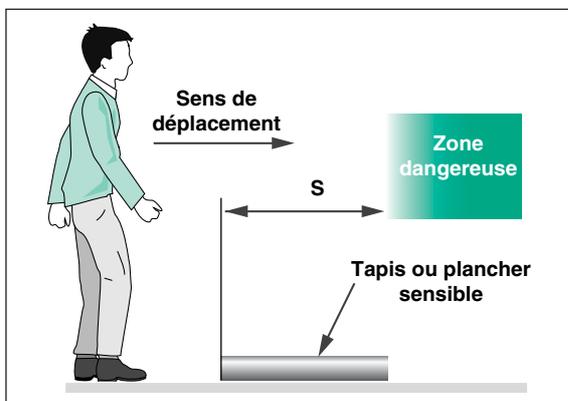
Certains dispositifs sont neutralisables en interposant un panneau répartissant le poids du corps sur une grande surface.

Certains dispositifs peuvent être endommagés par perforation, lors de chutes d'objets, de matière en fusion, etc.

Facteurs à prendre en compte

- Caractéristiques fonctionnelles (compressibilité, sensibilité, etc.).
- Vitesse d'approche.
- Temps d'obtention de l'arrêt des mouvements dangereux.
- Distance champ de détection/éléments dangereux.
- Aptitude à l'emploi, sûreté de fonctionnement.
- Conditions de fonctionnement (chute de pièces, produits corrosifs, etc.).

Détermination de S



Pour les tapis et planchers sensibles installés au sol, la distance de sécurité minimale **S** doit être calculée en utilisant la formule :

$$S = 1\,600 \times (t_1 + t_2) + 1\,200 \text{ mm}$$

Si ces dispositifs sont installés sur une marche ou une plate-forme surélevée, cette distance peut être réduite d'une valeur de $0,4 \times H$ (H est la hauteur de la marche en millimètres par rapport au sol).

Exemple de calcul de S pour :

- une machine possédant un temps d'arrêt de $t_1 = 0,4 \text{ s}$.

- un tapis ou un plancher sensible installé au sol dont le temps de réponse $t_2 = 0,02 \text{ s}$.

$$S = 1\,600 \times (0,02 + 0,4) + 1\,200 = 1\,872 \text{ mm}$$

Documents de référence

- NF EN 294 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs.
- NF EN 349 Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain.
- NF EN 811 Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 1760-1 Sécurité des machines - Dispositifs de protection sensibles à la pression. Partie 1 : Principes généraux de conception et d'essai des tapis et planchers sensibles à la pression.
- Tapis et planchers sensibles : les bonnes conditions [5.4].

5.3. Comparaison des équipements sensibles conçus pour la détection des personnes

AVANTAGES

Équipements optoélectroniques ESPE		Équipements sensibles à la pression	Autres équipements
Cellule « monofaisceau »	Barrage immatériel (barrage lumineux)	Tapis, bord, barre et plancher sensibles	Dispositifs à infrarouge passif, à ultrasons Cellule de sécurité à balayage rotatif
<p>Elle s'avère suffisamment performante tant au niveau de la détection d'obstacles que de la tenue en environnement perturbé.</p> <p>De ce fait, elle est bien adaptée pour faire partie d'un ensemble plus complet, associant par exemple plusieurs cellules de ce type à un boîtier d'autocontrôle extérieur.</p>	<p>Certains barrages immatériels ont reçu un visa d'examen technique ou une attestation française d'examen de type. Ceux-ci ont été soumis à des essais consistant à vérifier le niveau de sécurité positive ; leurs caractéristiques principales ont été relevées ainsi que leur pérennité en présence de conditions d'environnement pouvant être rencontrées dans l'industrie.</p> <p>Les essais ont été suffisamment poussés pour vérifier qu'un maximum de précautions ont été prises lors de la conception et de la réalisation du barrage.</p>	<p>Le plancher et le tapis sensibles sont très utiles pour la protection de zones étendues.</p> <p>Les bords et barres sensibles sont très utiles pour la protection contre les risques de choc et/ou d'écrasement (chariot filoguidé, porte à fermeture automatique, etc.).</p>	<p>Cellule de sécurité à balayage rotatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elle permet de créer des surfaces sensibles jusqu'à 50 m². • Elle peut travailler dans un plan horizontal (plancher sensible immatériel) ou dans un plan vertical (« paravent » sensible immatériel). • Elle est bien adaptée à des situations telles que sites automatisés et robotisés. <p>Dispositif à ultrasons : La distance entre émetteur et récepteur peut atteindre 30 m.</p> <p>Dispositifs à infrarouge passif : Ils peuvent être une alternative pour réaliser un contrôle d'accès ou de présence sélectif là où les autres moyens de protection sont inadaptés.</p>

INCONVÉNIENTS

Équipements optoélectroniques ESPE		Équipements sensibles à la pression	Autres équipements
Cellule « monofaisceau »	Barrage immatériel (barrage lumineux)	Tapis, bord, barre et plancher sensibles	Dispositifs à infrarouge passif, à ultrasons Cellule de sécurité à balayage rotatif
<p>Elle n'est pas acceptée comme protection principale sur une presse pour le travail à froid des métaux. Dans les cas qui nécessitent une association de cellules, il faut s'assurer d'une part d'un espacement satisfaisant entre cellules, d'autre part de l'utilisation d'une électronique à sécurité positive pour assurer cette association.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Des précautions doivent être prises pour qu'il ne soit pas soumis à des vibrations excessives. • Lorsque son champ de protection ne couvre pas parfaitement tous les accès possibles vers la zone dangereuse, il faut ajouter des protection complémentaires qui obligent l'opérateur à passer au travers du champ de protection pour atteindre l'élément mobile dangereux. 	<p>Malgré l'amélioration évitée du plancher et du tapis sensibles dans les dernières années, il subsiste une faiblesse due au fait que le niveau de sécurité résulte aussi de l'état du sol sur lequel ils sont placés et de leurs conditions d'utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les huiles de coupe, les fluides hydrauliques et les fluides de nettoyage peuvent leur être nocifs. • Les déchets chauds ou froids peuvent également se révéler problématiques. • Dans certains cas, les machines proches peuvent irradier de la chaleur de manière intermittente, d'où des possibilités de pannes ou de défaillances. • Il n'est pas toujours possible d'anticiper les effets combinés de semblables phénomènes. • Possibilité de contournement. 	<p>Cellule de sécurité à balayage rotatif : Afin d'éviter des déclenchements intempestifs, la zone « balayée » doit être bien délimitée.</p> <p>Dispositif à ultrasons :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il peut y avoir des zones mortes dans le volume de détection. • Risque d'interférences ultrasonores. <p>Dispositifs à infrarouge passif : Nécessite une maîtrise parfaite de l'environnement (flux de matière, température, flux d'air, rayonnements, etc.). Une mauvaise estimation des paramètres de détection et/ou de l'environnement peuvent entraîner soit des détections intempestives, soit une absence de détection.</p>

6

Dispositifs de validation

6.1. Commandes bimanuelles

6.1.1. Définitions

Représentation schématique d'un dispositif de commande bimanuelle

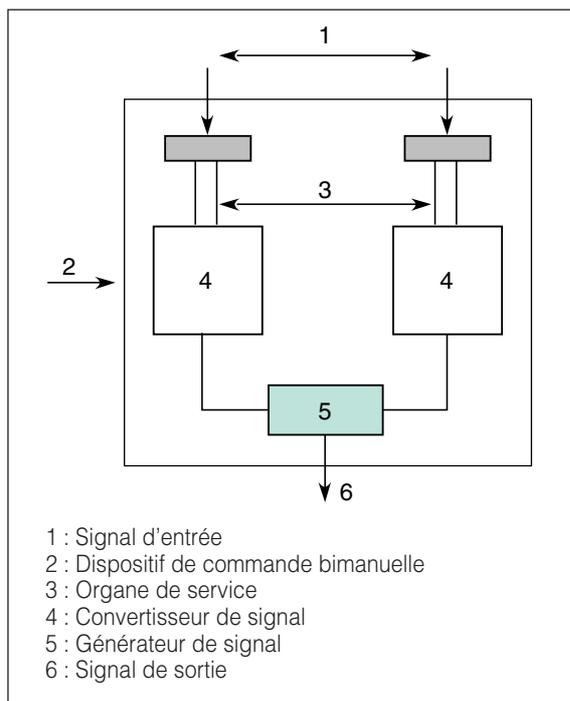


Fig. 1.

Dispositif de commande bimanuelle
(NF EN 574, § 3.1)

« Dispositif qui requiert au moins une manœuvre simultanée par les deux mains pour déclencher et entretenir, tant qu'une situation dangereuse existe, tout fonctionnement d'une machine, assurant ainsi une mesure de protection seulement pour la personne qui l'actionne » (voir fig. 1).

Organe de service (NF EN 574, § 3.3)

« Élément du dispositif de commande bimanuelle qui détecte un signal d'entrée émis avec une main et le transmet à un dispositif de commande » (voir fig. 1).

Convertisseur de signal (NF EN 574, § 3.6)

« Élément du dispositif de commande bimanuelle qui reçoit un signal d'entrée d'un organe de service et transmet et/ou adapte ce signal sous une forme recevable par le système de commande conçu pour le générateur de signal » (voir fig. 1).

Générateur de signal (NF EN 574, § 3.7)

« Partie du dispositif de commande bimanuelle qui génère le signal de sortie résultant du traitement des deux signaux d'entrée » (voir fig. 1).

Remarque :

Comme le montre la figure 1, le bloc logique d'un dispositif de commande bimanuelle comprend le circuit de commande du générateur de signal et, lorsqu'il existe, celui du convertisseur de signal.

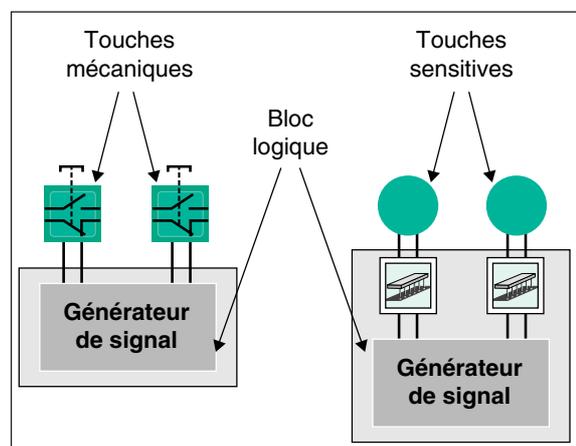


Fig. 2 : Illustration de la notion de bloc logique.

Dans le cas d'un dispositif de commande bimanuelle équipé de boutons poussoirs mécaniques, ceux-ci ne possédant pas de circuit de commande, le bloc logique est assimilé au générateur de signal.

Lorsque ce sont des touches sensibles qui équipent un dispositif de commande bimanuelle, le bloc logique comprend le circuit de commande du générateur de signal et celui des touches sensibles (cf. figure 2).

6.1.2. Réglementation

Les « blocs logiques de commande bimanuelle » sont inclus dans les composants de sécurité listés à l'annexe IV de la directive 98/37/CE du 22 juin 1998 [5.1]. Ils sont donc, en l'absence de normes harmonisées les concernant, soumis à certification par tierce partie (examen « CE » de type).

La norme NF EN 574 propose un classement des dispositifs de commande bimanuelle en trois types qui sont définis d'une part par un nombre minimal de caractéristiques fonctionnelles et d'autre part, par l'application de principes de conception garantissant le maintien de la sécurité apportée par ces dispositifs. Le tableau ci-dessous précise les prescriptions minimales apportées par chacun des types de base.

Le choix et la conception d'un type de dispositif de commande bimanuelle dépendent des critères suivants :

- risque(s) présent(s),
- appréciation du risque,

- expérience dans l'usage de la technologie,
- autres facteurs spécifiques à chaque application (par exemple la protection contre les neutralisations).

6.1.3. Principe

Les commandes bimanuelles représentent un des moyens traditionnels de protection par occupation simultanée des deux mains tant que subsiste un risque. Ces dispositifs sont utilisés notamment sur des machines telles que les presses travaillant au « coup par coup » et nécessitant l'intervention de l'opérateur dans la zone de travail pour des opérations de chargement et de déchargement des pièces à façonner. Qu'elle soit électrique ou pneumatique, la commande bimanuelle se compose toujours :

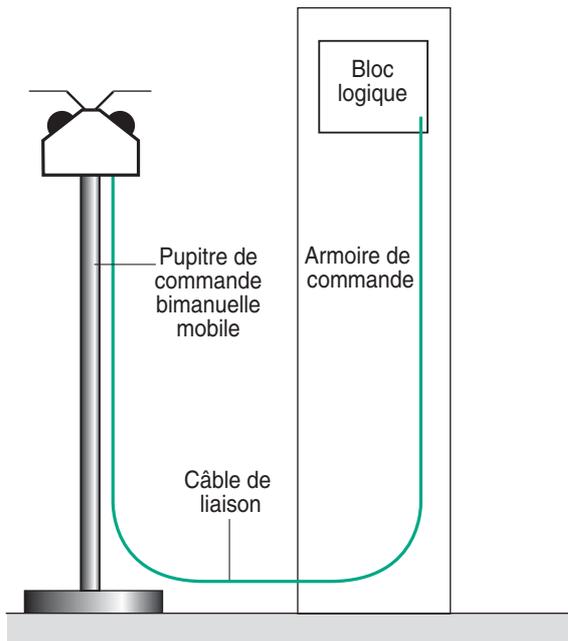
- d'un pupitre fixe ou mobile supportant les organes de service,
- d'un circuit intégré ou non au pupitre, éventuellement sous la forme d'un bloc logique relié aux organes de service.

Qu'elle soit intégrée ou non à la commande d'une machine, qu'elle soit réalisée à partir de modules, ou d'éléments discrets, une commande bimanuelle doit satisfaire aux caractéristiques fonctionnelles suivantes :

- les organes de service doivent être disposés de telle manière qu'ils ne puissent être actionnés que par les deux mains sans être une gêne pour l'opérateur ;
- un ordre de commande ne peut être délivré que par action simultanée sur les deux organes de service, le relâchement d'un seul devant entraîner son interruption ;
- l'action sur les deux organes de service doit être synchrone, un décalage de 0,5 seconde maximum est toutefois toléré.

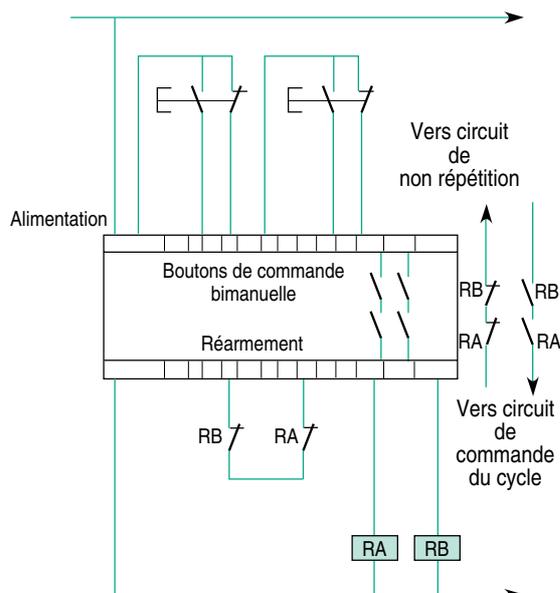
PRESCRIPTIONS	TYPE				
	I	II	III		
			A	B	C
Usage des deux mains					
Relation entre le signal d'entrée et le signal de sortie					
Interruption du signal de sortie					
Protection contre les manœuvres accidentelles					
Protection contre la fraude					
Réinitiation du signal de sortie					
Manœuvre synchrone					
Utilisation de la catégorie 1 selon NF EN 954-1					
Utilisation de la catégorie 3 selon NF EN 954-1					
Utilisation de la catégorie 4 selon NF EN 954-1					

Schéma d'installation



Les blocs logiques ne possédant pas un contrôle du signal de sortie doivent être impérativement installés dans l'armoire de commande. Le câble de liaison doit être blindé, le blindage devant être relié à la masse par une seule de ses extrémités.

Exemple de branchement : Bloc logique comportant, en sortie, deux contacts de fermeture et un circuit de réarmement.



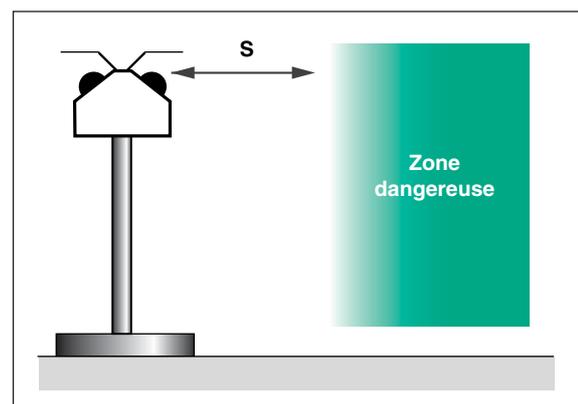
Il est préférable d'utiliser des blocs logiques comportant deux contacts de fermeture afin d'obtenir un ordre d'arrêt par mise hors tension.

6.1.4. Facteurs à prendre en compte

- Défaillances de mode commun.
- Protection contre les neutralisations.
- Vitesse d'approche et temps d'obtention de l'arrêt des mouvements dangereux.
- Accessibilité et éloignement par rapport à la zone dangereuse.
- Caractéristiques fonctionnelles du dispositif de commande bimanuelle (antirépétition, temps de réponse, etc.).

6.1.5. Distance de sécurité (NF EN 999)

Une distance de sécurité minimale S entre la zone dangereuse et l'organe de service le plus proche doit être respectée. Cette distance permet d'adapter le temps d'accès au temps d'arrêt de l'élément mobile dangereux.



Elle doit être calculée en utilisant la formule suivante :

$$S = K \times (t_1 + t_2) + C$$

S = distance de sécurité en mm avec

$$S_{\text{mini}} = 100 \text{ mm}$$

$K = 1600 \text{ mm/s}$, calculé à partir des vitesses d'approche du corps humain de la zone dangereuse

t_1 = temps de réponse global du dispositif en secondes (donnée constructeur)

t_2 = temps de mise à l'arrêt de la machine en secondes

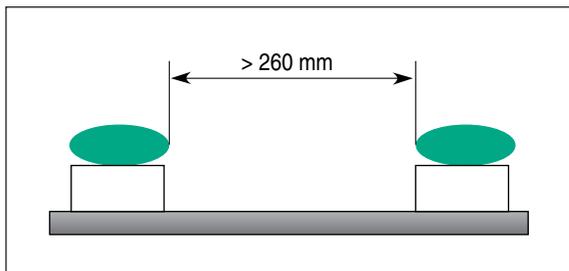
$C = 250 \text{ mm}$ (distance supplémentaire en mm)

Note : dans la mesure où, lorsque le dispositif est actionné, un capot de protection adéquat empêche la pénétration dans la zone dangereuse d'une partie des mains, la distance supplémentaire C peut être nulle.

6.1.6. Mesures expérimentales de protection contre la neutralisation (NF EN 574)

a) Protection contre la neutralisation avec une seule main

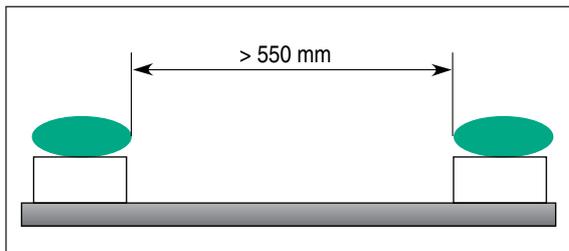
- Séparation des organes de service par une distance au moins égale à 260 mm, représentant l'écartement des doigts d'une main.



- Séparation des organes de service par un ou plusieurs écrans ou une surélévation de telle façon qu'ils ne puissent être touchés avec les extrémités d'une corde de 260 mm.

b) Protection contre la neutralisation avec une main et le coude du même bras

- Éloignement des organes de service par une distance au moins égale à 550 mm.



- Séparation des organes de service par un ou plusieurs écrans ou une surélévation conçus de telle façon que les organes de service ne puissent être touchés simultanément par les extrémités d'un dispositif de mesure composé d'une barre rigide de 300 mm, n'excédant pas 5 mm de diamètre, et d'une corde de 250 mm fixée à cette dernière.

Note : d'autres mesures de protection peuvent être adoptées en fonction des risques possibles de neutralisation. Ces dispositions sont détaillées dans la norme NF EN 574.

6.1.7. Documents de référence

- NF EN 292 1 & 2 Sécurité des machines, principes généraux de conception.
- NF EN 294 Sécurité des machines, distances de sécurité pour empêcher l'accès aux zones dangereuses.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines, parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 983 Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques - Pneumatique.
- NF EN 894-1 Sécurité des machines - Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 1 : Principes généraux des interactions entre l'homme et les dispositifs de signalisation et organes de service.
- NF EN 894-2 Sécurité des machines - Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 2 : Dispositifs de signalisation.
- NF EN 894-3 Sécurité des machines - Exigences ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 3 : Organes de service.
- NF EN 999 Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.
- NF EN 1050 Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 Sécurité des machines, équipement électrique des machines. Partie 1 : Prescriptions générales.
- Dispositifs de commande bimanuelle [6.1].

6.2. Autres dispositifs de validation

6.2.1. Généralités

Dans un certain nombre de cas tels que :

- dépistage de dysfonctionnement, contrôle lors d'une mise en production, ...
- commande de machine en mode réglage ou pour certaines productions très particulières, ...

il est très difficile, voire impossible, d'assurer « complètement » la sécurité de l'opérateur et on est alors conduit, pour aboutir à une sécurité acceptable, à rechercher la « Possibilité d'éviter ou de limiter le dommage » tel que décrit dans la norme NF EN 1050.

Cette possibilité d'éviter ou de limiter le dommage prend en compte (cf. NF EN 1050) :

- a) les personnes qui exploitent la machine,
- b) la rapidité d'apparition de l'événement dangereux,
- c) la conscience du risque,
- d) la possibilité humaine d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple action réflexe, agilité, possibilité de fuite),
- e) l'expérience et la connaissance pratique.

Les dispositifs de validation constituent un moyen donné à l'opérateur pour éviter ou limiter le dommage.

6.2.2. Définitions

Dispositif de validation (NF EN 292-1, § 3.23)

« Dispositif de commande supplémentaire utilisé conjointement avec une commande de mise en marche et qui, lorsqu'il est actionné de façon permanente, permet à une machine de fonctionner. »

Dispositif de validation (NF EN 60204-1 : 1997, § 9.2)

« Un dispositif de validation est un appareil manuel de commande supplémentaire, utilisé en combinaison avec une commande de marche et qui, continuellement appuyé, autorise le fonctionnement d'une machine. »

Lorsqu'un dispositif de validation est prévu comme partie d'un système, sa conception ne doit permettre le mouvement que dans une seule position de l'organe de service. Dans toute autre position, le fonctionnement doit être arrêté.

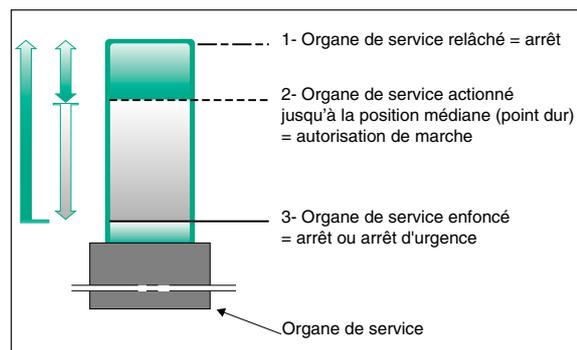
Il doit présenter les caractéristiques suivantes :

- être connecté à un arrêt de catégorie 0 ou 1 (voir 9.2.2) ;
- être conçu selon des principes ergonomiques ;
- pour le type à deux positions :
 - position 1 : interrupteur en fonction mise hors tension (organe de service au repos),
 - position 2 : fonction autorisée (organe de service appuyé),
- pour le type à trois positions :
 - position 1 : interrupteur en fonction mise hors tension (organe de service au repos),
 - position 2 : fonction autorisée (organe de service appuyé en position milieu),

- position 3 : fonction mise hors tension (organe de service appuyé au-delà de la position milieu).
Lors du retour de la position 3 à la position 2, la fonction ne doit pas être autorisée. »

6.2.3. Principe

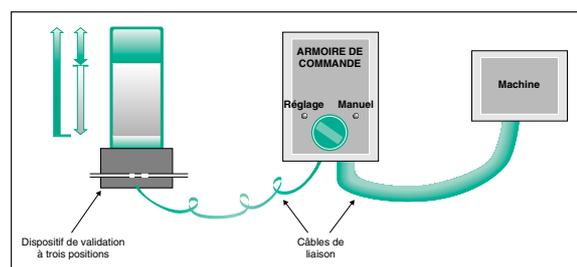
- La plupart des dispositifs de validation ont trois positions et sont conçus spécifiquement pour assurer cette fonction. Le fonctionnement de ce dispositif peut être schématisé comme suit :



Lorsque l'organe de service revient de la position 3 à la position 1 il ne doit pas y avoir de passage par la position 2 (l'autorisation de marche ne doit pas devenir active).

La position 3 est très utile car, en présence d'un danger, le réflexe de l'opérateur peut être de relâcher ou d'enfoncer (de se crispier) : ici dans les deux cas il y a immédiatement une commande d'arrêt.

- L'action de ce dispositif de validation dans le circuit de commande peut être schématisée ainsi :



Lorsque le dispositif de validation est en position 1 ou 3, l'armoire de commande doit assurer un arrêt de catégorie 1 ou 0 (cf. normes NF EN 60204-1 et NF EN 418 et cette brochure § 7.2).

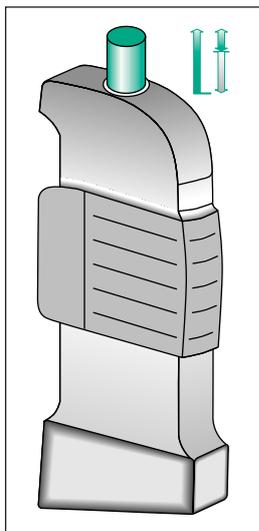
Lorsque le dispositif de validation a été actionné jusqu'en position 3, la reprise du fonctionnement ne peut se faire qu'après une action de réarmement (indépendamment du retour du dispositif de validation en position 1).

Suivant les cas de figure et l'analyse des risques il pourra être nécessaire :

- de s'assurer qu'un court-circuit ou une coupure du câble de liaison n'altère pas la sécurité,
- de prévoir un sélecteur imposant l'usage d'une clé pour passer en mode « Réglage avec dispositif de validation ».

6.2.4. Facteurs à prendre en compte

A. Poignée de validation



Ce type de dispositif de validation est principalement utilisé dans les systèmes de fabrication automatisés assez importants (ligne de production avec plusieurs machines et robots par exemple). Il est alors utilisé pour le dépiégeage des dysfonctionnements, le contrôle des mises en production...

Les principaux facteurs à prendre en compte sont :

- la connaissance des dangers, la compétence et la qualification de l'opérateur ;
- la possibilité de travailler à vitesse réduite, à utiliser aussi souvent que possible. À titre indicatif la norme ISO 11161 (§ 5.4.1.) fournit les renseignements suivants : « ... L'application de la mesure "vitesse réduite" suppose qu'une personne peut se retirer à temps d'un risque provenant de mouvements dangereux. On peut le supposer si la vitesse finale ne dépasse pas 15 m/min dans le cas de mouvements dangereux sans risque de pincement ou de cisaillement (dû à la poussée) ou qu'elle ne dépasse pas 2 m/min dans le cas de mouvements dangereux avec risque de pincement ou de cisaillement. Ces valeurs s'appliquent également à la

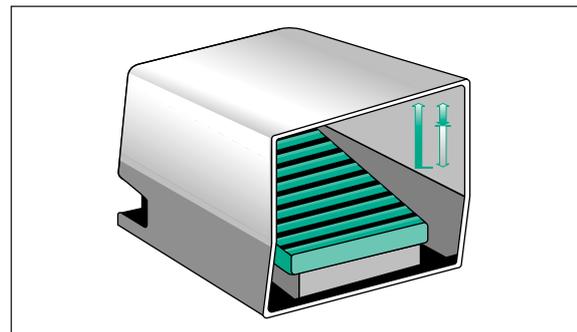
vitesse réduite en utilisant un dispositif de validation... » ;

- la possibilité de se tenir dans une zone repérée sans risque, à utiliser aussi souvent que possible ;
- la possibilité, après un arrêt correspondant à la position 3 de l'organe de service, de pouvoir dégager très rapidement la victime, soit grâce à quelques grands axes de déplacement rendus « équilibrés » (déplaçables à la main) soit, à défaut, grâce à une commande spécifique de dégagement après arrêt clairement identifiée.

Ce point est d'autant plus important que le risque d'écrasement peut toucher le tronc de l'opérateur (ce qui entraîne très rapidement la mort).

Remarque : Dans certains cas et si l'appréciation du risque le permet, un dispositif de validation à deux positions associé à un arrêt d'urgence peut être utilisé à la place d'un dispositif de validation à trois positions : cette dernière solution reste celle à privilégier.

B. Pédale de validation



Ce type de dispositif de validation est surtout utilisé sur des machines recourant à une vitesse très lente principalement pour des opérations de réglage et quelquefois pour des opérations de production particulières.

Les principaux facteurs à prendre en compte sont :

- la connaissance des dangers, la compétence et la qualification de l'opérateur ;
- la vitesse de travail, qui doit être très faible.

Il semble nécessaire de prendre comme base la valeur citée dans la norme NF EN 12622 : 2001 - Presses plieuses hydrauliques § 5.3.14 :

« Les dispositifs de commande à action maintenue utilisés en complément d'une vitesse de fermeture lente doivent avoir une disposition assurant que la vitesse ne peut dépasser 10 mm.s⁻¹. Si d'autres modes de fonctionnement permettent une vitesse supérieure à 10 mm.s⁻¹, alors la vitesse lente doit

être sélectionnée manuellement en agissant sur un sélecteur qui active le dispositif de commande à action maintenue et simultanément règle la vitesse lente. La vitesse ne doit pas uniquement être limitée par le réglage des paramètres variables.

Les moyens de limitation sont par exemple des plaques à orifice fixe, puissance de pompe limitée. [...] Lorsque le dispositif de commande à action maintenue est une pédale, la 3^e position doit être atteinte en passant un point de pression. La force requise ne doit pas dépasser 350 N » ;

- la possibilité, après un arrêt correspondant à la position 3 de l'organe de service, de pouvoir dégager rapidement la victime, par exemple avec une commande spécifique clairement identifiée de dégagement après arrêt.

6.2.5. Documents de référence

- NF EN 292 1 & 2 Sécurité des machines - Principes généraux de conception.
- NF EN 1050 Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 Sécurité des machines - Équipement électrique des machines - Prescriptions générales.
- ISO 11161 Système d'automatisation industrielle - Sécurité des systèmes de fabrication intégrés - Prescriptions fondamentales.
- NF EN 12622 Sécurité des machines-outils - Presses plieuses hydrauliques - Sécurité.

7

Dispositifs d'arrêt d'urgence

7.1. Définitions

Arrêt (NF EN 60204-1, § 9.2.5.3)

« Le choix de la catégorie d'arrêt doit être déterminé à partir de l'évaluation du risque. En outre, les mesures adéquates pour assurer un arrêt fiable doivent être prescrites.

Sur demande, des moyens de raccordement des dispositifs de protection et de verrouillage doivent être fournis. Si applicable, la fonction d'arrêt doit signaler à la logique du système de commande qu'une telle condition existe. Le réarmement de la fonction d'arrêt ne doit pas entraîner de conditions dangereuses. »

Arrêt contrôlé (NF EN 60204-1, § 3.12)

« Arrêt du mouvement d'une machine par réduction du signal de commande à 0 dès que l'ordre d'arrêt a été reconnu par le dispositif de commande mais en maintenant la puissance aux actionneurs de la machine durant la procédure d'arrêt. »

Fonction d'arrêt d'urgence (NF EN 418, § 3.1)

« Fonction destinée :

- à parer à des risques (phénomènes dangereux) en train d'apparaître, ou à atténuer des risques (phénomènes dangereux) existants, pouvant porter atteinte à des personnes, à la machine ou au travail en cours,

- à être déclenchée par une action humaine unique quand la fonction d'arrêt normal ne convient pas. Dans l'esprit de cette norme, les risques sont ceux qui peuvent prendre naissance à l'occasion :
- d'anomalies dans le fonctionnement de la machine (dysfonctionnements de la machine, propriétés inacceptables du matériau travaillé, erreurs humaines...),
- du fonctionnement normal de la machine. »

Équipement d'arrêt d'urgence (NF EN 418, § 3.2)

« C'est l'ensemble de composants conçu pour accomplir la fonction d'arrêt d'urgence, c'est-à-dire :

- l'organe de service : il fait fonctionner l'appareil de commande lorsqu'on l'actionne. Il est conçu pour être actionné par une personne,
- l'appareil de commande : il engendre l'ordre d'arrêt d'urgence lorsque l'organe de service associé est actionné,
- la partie du système de commande⁹ conçue pour traiter l'ordre d'arrêt d'urgence,
- les appareils de commutation de puissance (contacteurs, distributeurs, variateurs de vitesse, etc.), les moyens de déconnexion (embrayage, etc.) et freins utilisés pour accomplir la fonction d'arrêt d'urgence, même s'ils sont également utilisés lors du fonctionnement normal de la machine. »

9. Voir chapitre 9.

7.2. Principales exigences de sécurité (NF EN 418, § 4.1)

« • La fonction d'arrêt d'urgence doit être disponible et à même de fonctionner à tout instant, quel que soit le mode de marche.

Note : Lorsque des appareils de commande peuvent être déconnectés (« pendant » d'apprentissage, par exemple) ou lorsque la machine peut être partiellement consignée, il convient de prendre des précautions pour éviter que l'on confonde les appareils de commande actifs et les appareils de commande inactifs.

- L'appareil de commande et son organe de service doivent fonctionner suivant le principe de l'action mécanique positive.

- L'équipement d'arrêt d'urgence ne doit être substitué ni à un protecteur ou à un dispositif de protection adéquat, ni à un dispositif de sécurité fonctionnant automatiquement ; en revanche, il peut être utilisé comme complément à de tels dispositifs.

- Après l'action sur l'organe de service, le dispositif d'arrêt d'urgence doit fonctionner de telle sorte que le phénomène dangereux soit écarté ou atténué automatiquement de la meilleure manière possible.

- L'arrêt d'urgence peut être :
un arrêt de catégorie 0, c'est-à-dire mise à l'arrêt par :

- interruption immédiate de l'alimentation en énergie de l'actionneur (des actionneurs),

- ou déconnexion mécanique (débrayage) entre les éléments dangereux et leur(s) actionneur(s), et, si nécessaire, freinage (arrêt non contrôlé),

- un arrêt de catégorie 1** : arrêt contrôlé, les actionneurs restant alimentés en énergie afin qu'ils puissent mettre la machine à l'arrêt, puis interruption de l'alimentation en énergie lorsque l'arrêt est obtenu.

- L'ordre d'arrêt d'urgence doit avoir priorité sur tous les autres ordres.

- Toute action sur l'organe de service conduisant au déclenchement de l'ordre d'arrêt d'urgence doit aussi conduire au blocage mécanique de l'appareil de commande de façon que, lorsque cesse l'action, l'ordre d'arrêt d'urgence reste maintenu jusqu'à ce que l'appareil soit « réarmé ». Il ne doit pas être possible d'obtenir le blocage mécanique de l'appareil de commande sans déclencher l'ordre d'arrêt.

En cas de défaillance de l'appareil de commande (moyens de blocage mécanique compris), le déclenchement de l'ordre d'arrêt doit avoir priorité sur la fonction de blocage.

- Le « réarmement » de l'appareil de commande ne doit être possible que par une action manuelle sur l'appareil de commande lui-même.

- Le « réarmement » de l'appareil de commande ne doit pas, à lui seul, provoquer le redémarrage. »

Pour la réalisation d'une installation d'arrêt d'urgence, on pourra se reporter à la norme NF EN 60204-1 concernant « l'équipement électrique des machines ».

Cas des installations complexes

Dans le cas de machines ou d'éléments de machines conçus pour travailler associés, les dispositifs d'arrêt, y compris d'arrêt d'urgence, doivent pouvoir arrêter non seulement la machine mais aussi tous les équipements en aval ou en amont si leur maintien en marche peut constituer un danger.

Le dispositif d'arrêt d'urgence ne doit pas être confondu avec le dispositif de coupure d'urgence.

Ce dernier est imposé par le décret n° 88-1056 (article 10) du 14 novembre 1988 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers du courant électrique.

Ce dispositif a pour fonction principale la coupure en charge de tous les conducteurs actifs d'un circuit dont le maintien sous tension peut être dangereux en cas de choc électrique ou de risque d'incendie ou d'explosion.

Il doit être placé à proximité immédiate de la - ou des - machine(s) qu'il commande. Cette fonction de coupure en charge peut être remplie par le dispositif de commande normal servant à la mise en marche et à l'arrêt de l'appareil, à condition que ce dispositif de commande assure la coupure en une seule manœuvre de tous les conducteurs actifs.

Pour certains appareils ou machines, la fonction « coupure d'urgence » peut être assurée par le dispositif « d'arrêt d'urgence ».

En revanche, dans la plupart des machines, le dispositif de « coupure d'urgence » peut s'avérer insuffisant pour assurer seul la fonction d'arrêt d'urgence ».

7.3. Organes de service d'arrêt d'urgence (NF EN 418, § 4.4.1)

« Les organes de service d'arrêt d'urgence doivent être conçus, pour pouvoir être actionnés facilement par l'opérateur et par les personnes pouvant avoir besoin de les actionner.

Divers types d'organes de service peuvent être utilisés :

- boutons en forme de champignon, câbles, barres,
- poignées,

- dans des cas particuliers, dispositifs de commande par pédale, sans capot protecteur...

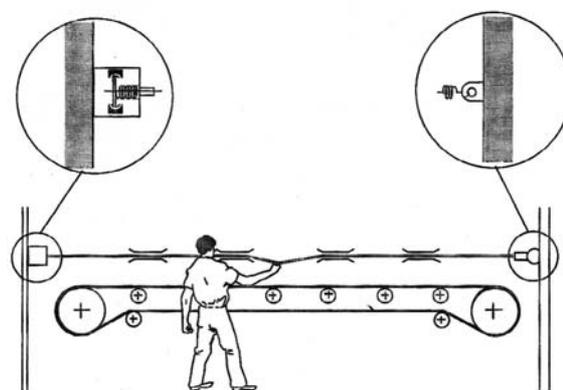
Quand la machine est divisée en plusieurs « zones d'arrêt d'urgence », sa conception doit être telle qu'il soit facile de distinguer quel(s) organe(s) de service correspond(ent) à une zone donnée.

Les organes de service d'arrêt d'urgence doivent être de couleur rouge. La surface située derrière l'organe de service, lorsqu'il en existe une et pour autant que ce soit praticable, doit être de couleur jaune. »

Exemples d'organes de service d'arrêt d'urgence Boutons en forme de champignon



Câbles



Les paramètres suivants doivent être pris en considération lorsque des câbles sont utilisés comme organes de service :

- la flèche du câble et l'effort nécessaire pour déclencher le signal d'arrêt d'urgence,
- la flèche maximale possible,
- l'espace libre entre le câble et l'environnement proche.

En cas de rupture ou de décrochage du câble, l'ordre d'arrêt d'urgence doit être délivré automatiquement.

Ce type d'organe de service est utilisé sur des installations telles que les machines transferts, les bandes transporteuses, les laboratoires d'essais, etc.

7.4. Documents de référence

- NF EN 292-1 & 2 Sécurité des machines, principes généraux de conception.
- NF EN 418 Sécurité des machines, équipement d'arrêt d'urgence, aspects fonctionnels.
- NF EN 894-1 Sécurité des machines - Principes ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et de commande - Partie 1 : Interactions entre l'homme et les dispositifs de signalisation et de commande.
- NF EN 894-2 Sécurité des machines - Principes ergonomiques pour la conception des dispositifs

de signalisation et de commande - Partie 2 : Dispositifs de signalisation.

- NF EN 999 Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.
- NF EN 1050 Sécurité des machines, principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 Sécurité des machines, équipement électrique des machines. Partie 1 : Prescriptions générales.
- Performances d'arrêt d'urgence des robots manipulateurs industriels [7.1].

8

Consignations et déconsignations

8.1. Définitions [8.1]

Consignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de mettre et de maintenir en sécurité (si possible par un moyen physique) une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en état de marche d'une machine, fermeture d'un circuit électrique, ouverture d'une vanne...) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants.

Il existe, en outre, d'autres définitions plus spécifiques : consignation d'ordre électrique, consignation d'arrêt machine...

Déconsignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de remettre en état de fonctionnement une machine, un

appareil ou une installation préalablement consigné, en assurant la sécurité des intervenants et des exploitants.

Intervenant

Un intervenant est chargé de réaliser des travaux prédéfinis. Ce peut être :

- soit une personne,
- soit une équipe réduite, comprenant un chef d'équipe ou un chargé de travaux présent en permanence sur le chantier.

Chargé de consignation

Un chargé de consignation est une personne compétente désignée par le chef d'entreprise pour effectuer la consignation et la déconsignation d'une installation et qui est chargée de prendre ou de faire prendre les mesures de sécurité qui en découlent.

8.2. Procédures types de consignation [8.1]

Phase de consignation	Nature du risque		
	Électrique	Chimique	Mécanique
Séparation	Mise hors tension de tous les circuits de puissance et de commande de façon pleinement apparente*, y compris les alimentations de secours.	Suppression des arrivées de tous les fluides ou solides de façon pleinement apparente* y compris les circuits auxiliaires.	Coupure de la transmission de toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente* y compris secours et accumulation d'énergie.
Condamnation	Verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant.		
Signalisation	Information claire et permanente de la réalisation de la condamnation.		
Purge	Mise à la terre et en court-circuit des conducteurs (opération à réaliser après la vérification). Décharge des condensateurs.	Vidange, nettoyage (décroûtage...) Élimination d'une atmosphère inerte ou dangereuse. Ventilation.	Mise au niveau d'énergie le plus bas par : - arrêt des mécanismes, y compris volants d'inertie, - mise en équilibre mécanique stable (point mort bas) ou, à défaut, calage mécanique, - mise à la pression atmosphérique.
Vérification	Absence de tension entre tous les conducteurs (y compris le neutre) et entre eux et la terre.	Absence de : - pression, - écoulement. Contrôle spécifique éventuel (atmosphère, pH...).	Absence d'énergie : - tension, - pression, - mouvement.
Identification	Éventuellement balisage des zones dangereuses résiduelles. Elle a pour but de s'assurer que les travaux seront effectués sur l'installation ou l'équipement consigné. Pour cela, les schémas et le repérage des éléments devront être lisibles, permanents et à jour.		

* C'est-à-dire, soit par la vue directe du dispositif de séparation, soit par un asservissement fiable entre la position de ce dispositif et celle de l'organe extérieur de manœuvre reflétant cette position.

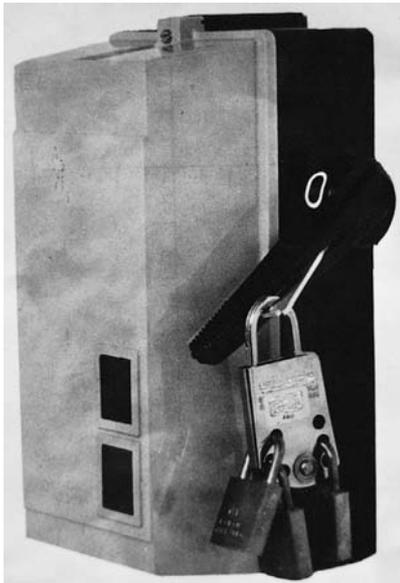
8.3. Procédures de déconsignation

[8.1]

Exemples de condamnations

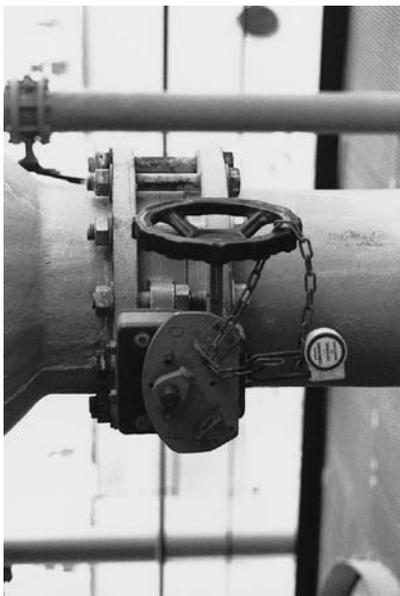
Coffret électrique :

- verrouillage par multicadenas,
- position visible du sectionneur.



Vannes :

- condamnation par cadenas,
- signalisation.



L'ordre d'arrêt maintenu peut être introduit à cinq niveaux différents :

- verrouillage appliqué au système de commande, par exemple au niveau des entrées d'un automate programmable ou au niveau des préactionneurs,

- verrouillage appliqué aux éléments de puissance,
- séparation mécanique, par exemple à l'aide d'un embrayage,
- immobilisation des éléments mobiles à l'aide d'un dispositif de retenue mécanique, par exemple une cale, un sabot d'arrêt, etc.

L'analyse des risques doit permettre de déterminer le contenu et l'ordre des opérations de déconsignation.

Par exemple :

- la dépose ou l'arrêt du dispositif de purge ou la réalimentation en énergie peuvent entraîner des risques spécifiques (mouvements de vérins, démarrage à vide de pompes),
- une initialisation des équipements commandés par certains automatismes (microprocesseur...) devra être effectuée avant toute remise en service afin d'éviter des commandes intempestives.

Une attention particulière sera apportée à l'identification des circuits pour limiter les risques de confusion d'installation et donc de déconsignation intempestive. En particulier, c'est le chargé de consignation qui a pour rôle de recevoir les dispositifs de condamnation restitués par les différents intervenants à la fin de leur travail.

Note : avant la phase de redémarrage normal, une phase transitoire est souvent nécessaire : la phase d'essai, pour laquelle les sécurités mises en place pour l'exploitation doivent être parfois partiellement neutralisées ; des procédures compensatrices spécifiques et rigoureuses doivent alors être mises en place pour cette phase d'essai.

8.4. Documents de référence

- NF EN 954-1 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception.
- NF EN 1037 Sécurité des machines - Prévention de la mise en marche intempestive (consignation et autres mesures).
- NF EN 1050 Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 Sécurité des machines, équipement électrique des machines. Partie 1 : Prescriptions générales.
- Consignations et déconsignations [8.1].

9

Sûreté de fonctionnement des machines Circuits de commande

9.1. Définitions

Partie d'un système de commande relative à la sécurité (NF EN 954-1, § 3.1)

« Partie ou sous partie(s) du système de commande qui répond à des signaux d'entrée et génère des signaux de sortie relatifs à la sécurité. Les parties combinées d'un système de commande relatives à la sécurité commencent aux points où les signaux sont déclenchés et se terminent à la sortie des pré-actionneurs (voir également l'annexe A de l'EN 292-1 : 1991). Cela inclut également des systèmes de surveillance. »

Catégorie (NF EN 954-1, § 3.2)

« Une classification des parties d'un système de commande relatives à la sécurité liée à leur résistance aux défauts et à leur comportement à la suite de défauts et qui est satisfaite par la disposition structurelle des parties et/ou leur fiabilité. »

Sécurité des systèmes de commande
(NF EN 954-1, § 3.3)

« Aptitude à exécuter leur(s) fonction(s) pendant un temps donné, selon leur catégorie spécifiée reposant sur leur comportement en cas de défaut. »

9.2. Généralités

Les systèmes de commande (parties ou sous-parties) relatifs à la sécurité doivent être conçus afin que les principes de l'appréciation du risque (NF EN 1050) soient pris en compte dans les cas suivants :

- lors de toute utilisation normale et lors du mauvais usage prévisible,
- en cas de défauts,
- en cas d'erreurs humaines prévisibles durant l'utilisation normale de la machine dans sa globalité.

En conséquence, ils doivent :

- donner priorité aux ordres d'arrêt,
- être conçus en sécurité positive, c'est-à-dire pas de risque en cas de défaillance :
 - d'alimentation en énergie,
 - de composants,
 - de dispositifs de sécurité.
- être de catégorie supérieure ou égale à celle déterminée suite à une estimation du risque préalable,
- être non neutralisables,
- être éprouvés et fiables,
- être faciles à maintenir.

9.3. Catégories des parties de système de commande relatives à la sécurité

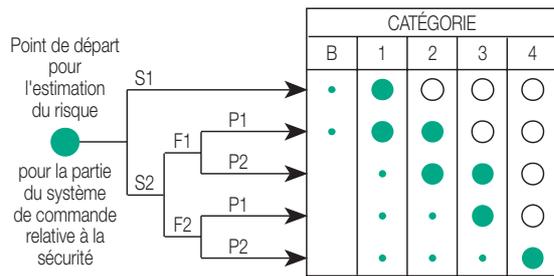
Résumé des prescriptions applicables aux catégories (NF EN 954-1, § 6.2)

Cat ¹⁰	Résumé des prescriptions	Comportement du système ¹¹	Base principale de la sécurité
B	La partie du système de commande de machine relative à la sécurité et/ou ses dispositifs de protection, ainsi que ses composants doivent être conçus, fabriqués, sélectionnés, montés et combinés selon les normes pertinentes afin de pouvoir faire face aux influences attendues.	Si un défaut se produit, il peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.	Par la sélection des composants
1	Les exigences de la catégorie B s'appliquent. Doit utiliser des composants et des principes éprouvés.	Comme décrit pour la catégorie B mais avec une plus grande sécurité relative à la fiabilité de la fonction de sécurité.	
2	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. La ou les fonctions de sécurité doivent être contrôlées à intervalles convenables par le système de commande de la machine. Note : ce qui convient dépend de l'application et du type de machine.	<ul style="list-style-type: none"> - L'apparition d'un défaut peut mener à la perte de la fonction de sécurité entre les intervalles de contrôle. - La perte de la fonction de sécurité est détectée par le contrôle. 	
3	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. Le système de commande doit être conçu de façon à ce que : <ul style="list-style-type: none"> - un défaut unique du système de commande ne mène pas à une perte de la fonction de sécurité, - si cela est raisonnablement faisable, le défaut unique soit détecté. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lorsqu'un défaut unique se produit, la fonction de sécurité est toujours assurée. - Certains défauts seront détectés, mais pas tous. - L'accumulation de défauts non détectés peut conduire à la perte de la fonction de sécurité. 	Par la structure
4	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. Le système de commande doit être conçu de façon à ce que : <ul style="list-style-type: none"> - un défaut unique du système de commande ne mène pas à une perte de la fonction de sécurité, - le défaut unique soit détecté à, ou avant la prochaine sollicitation à la fonction de sécurité. Si cette détection n'est pas possible, une accumulation de défauts ne doit pas mener à une perte de la fonction de sécurité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lorsque les défauts se produisent, la fonction de sécurité est toujours assurée. - Les défauts seront détectés à temps pour empêcher une perte de la fonction de sécurité. 	

10. La catégorie n'est pas destinée à être utilisée dans un ordre ou une hiérarchie quelconque par rapport aux prescriptions de sécurité.

11. L'appréciation du risque indiquera si la perte totale ou partielle de la fonction de sécurité provenant de défauts est acceptable.

Exemple de grille de sélection (NF EN 954-1, annexe B)



- Catégories possibles nécessitant des mesures complémentaires
- Catégories ayant la préférence pour les points de référence
- Mesures excessives pour le risque en question

S : Gravité de lésion

- S1 : Lésion légère (normalement réversible),
- S2 : Lésion sérieuse (normalement irréversible), y compris le décès.

F : Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux

- F1 : Rare à assez fréquent et/ou courte durée d'exposition,
- F2 : Fréquent à continu et/ou longue durée d'exposition.

P : Possibilité d'éviter le phénomène dangereux

- P1 : Possibilité sous certaines conditions,
- P2 : Rarement possible.

Remarque : Il est important de ne pas confondre cet exemple de grille de sélection de catégories des *parties de systèmes de commande relatives à la sécurité* avec l'exemple, plus global, de grille de détermination d'un *indice de risque* donné au § 2.2, figure page 13.

En effet, dans la grille de détermination d'un indice de risque, il apparaît un critère de sélection supplémentaire qui est *la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux*. Cette probabilité d'occurrence qui, lorsqu'elle est d'origine technique, est fonction du choix des composants et de la conception du système de commande relatif à la sécurité. Ce choix et cette conception sont dépendants de la catégorie retenue pour le système de commande, catégorie pouvant être déterminée à l'aide de la grille ci-dessus.

9.4. Système de commande électromécanique

(Travail et sécurité, mai 1995, pp. 309 à 315)

Ce chapitre s'applique à la prévention des accidents pouvant survenir lors de l'exploitation d'un système de production automatisé. Il est établi que ceux-ci surviennent le plus souvent lors de la présence ou de l'intrusion d'une personne dans une zone rendue dangereuse par des organes en mouvement et l'on conçoit facilement que la mise en sécurité du personnel puisse, entre autres, être obtenue par l'immobilisation et le maintien à l'arrêt des éléments dangereux.

Il s'agit ici de convaincre de la faisabilité de ce type de prévention dans la mesure où, lors de la conception, un certain nombre de moyens matériels et logiciels ont été mis en œuvre. Bien évidemment, les solutions proposées dans ce chapitre ne sont applicables qu'aux systèmes dans lesquels la sécurité résulte de l'arrêt du mouvement. Par conséquent, les systèmes nécessitant la poursuite de la mission même en mode dégradé (chimie, pétrochimie, nucléaire, avionique...) ne sont pas concernés par ce chapitre.

L'objectif n'est pas de décrire les exigences propres à la conception des dispositifs de protection auxquels est dévolue la fonction « détection de présence ou d'intrusion », mais seulement d'attirer l'attention sur l'importance de faire bon usage des possibilités offertes par l'interface de sortie de ces dispositifs d'une part, et, d'autre part, de la nécessité de prévoir, dès la conception des parties « puissance » et « commande » d'un automatisme, une architecture et des fonctions capables d'intégrer des moyens de prévention. Si l'on transgresse cette étape, la prévention perd en effet toute efficacité même si de bons composants de sécurité (protecteurs, dispositifs électrosensibles de protection...) sont utilisés.

9.4.1. Principes de base

La norme NF EN 292-1 définit deux types de fonctions de sécurité.

a) Les fonctions de sécurité directe qui sont classées en deux catégories :

- Les fonctions de sécurité spécifiquement destinées à assurer la sécurité.

- Les fonctions conditionnant la sécurité.

Leur impact sur la sécurité est tel que leur dysfonctionnement engendre un risque immédiat de lésion ou d'atteinte à la santé.

Pour répondre à ces exigences, les préventeurs admettent maintenant la nécessité d'agir directement sur le ou les préactionneurs qui commande(nt) les actionneurs susceptibles d'entraîner des mouvements dangereux. Elles doivent être traitées par une logique à sécurité positive (sécurité assurée même en présence de certaines défaillances).

Dans l'état actuel des techniques et des connaissances, l'INRS déconseille de faire confiance à une logique de type programmée pour assurer les fonctions de sécurité directe ; a fortiori celles-ci ne doivent en aucun cas être traitées par le seul automate programmable.

Bien que l'apparition d'une nouvelle génération d'automates programmables dits « à sécurité renforcée » relance le débat, il nous semble opportun de maintenir cette règle dans la limite où les études engagées sur ces dispositifs n'ont pas encore abouti à des résultats stabilisés.

Cette position est soutenue par la norme NF EN 60204-1 qui, dans le paragraphe 12.3.5 intitulé *Utilisation pour des fonctions de sécurité*, précise dans une note qu'il est « *difficile de déterminer avec un certain degré de certitude les cas où un accident significatif peut résulter du mauvais fonctionnement du système de commande, et de se fier au bon fonctionnement d'un canal unique sur un équipement électronique programmable. Tant que cette situation perdurera, il n'est pas judicieux de se fier uniquement au bon fonctionnement d'un tel dispositif à canal unique* ».

Bien naturellement, malgré ces réserves, les informations relatives aux fonctions de sécurité directe peuvent de surcroît être exploitées par l'automate programmable, notamment pour gérer le freinage, la remise en route, les contrôles...

Exemples de fonctions de sécurité directe :

- arrêt d'urgence,
- commande bimanuelle,
- verrouillage du fonctionnement d'une machine en fonction de la position d'un protecteur,
- détection d'une personne ou d'une partie de son corps au moyen de dispositifs électrosensibles (barres immatériels, cellules, tapis, planchers...).

b) Les fonctions de sécurité indirecte lesquelles ont généralement une action de contrôle ; leurs défaillances n'engendrent pas de risque immédiat

mais abaissent le niveau de sécurité global. Elles peuvent être assurées par automates programmables.

Exemples de fonctions de sécurité indirecte :

- autocontrôle du bon fonctionnement d'un dispositif de verrouillage associé à un protecteur,
- contrôle de pression,
- contrôle de température,
- contrôle de vitesse.

Dans la pratique, c'est l'évaluation du risque (voir norme NF EN 1050) qui renseignera sur le type de fonction de sécurité à considérer comme directe ou indirecte. En effet, pour certaines applications, les paramètres, pression, température... peuvent devenir prépondérants et être traités comme des fonctions de sécurité directe.

Implantation dans l'équipement des moyens permettant d'assurer les fonctions de sécurité

C'est dès la conception qu'il est nécessaire de prévoir les moyens pour assurer la sécurité. En effet, les informations issues d'un dispositif d'arrêt d'urgence, d'un dispositif de verrouillage associé à un protecteur, d'un dispositif sensible... doivent s'intégrer naturellement dans le processus de commande des actionneurs considérés comme pouvant entraîner des risques, cela sans que l'utilisateur ait à modifier le câblage d'origine et/ou le programme de l'automate, afin d'éviter la perte de garantie et l'apparition de risques nouveaux...

9.4.2. Intégration de la sécurité à différents niveaux de système

L'intégration de la sécurité dans la commande d'un actionneur doit intervenir aux trois niveaux suivants :

- la partie puissance (ou partie opérative),
- la partie commande qui intègre la gestion du processus et des sécurités,
- la partie « logique câblée » consacrée à la sécurité qui, bien que faisant partie de la commande, mérite un développement spécifique.

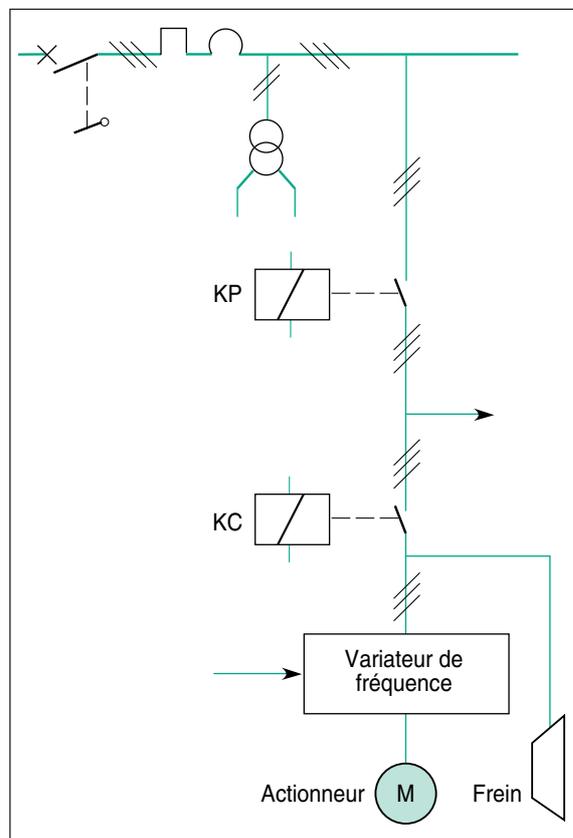
9.4.2.1. Partie puissance

Si l'on souhaite assurer la sécurité par arrêt du mouvement, il faut :

- arrêter de manière certaine,
- optimiser le temps de mise à l'arrêt,
- maintenir l'arrêt.

Ces exigences ont, bien entendu, une retombée sur la conception de la partie opérative, laquelle devrait être réalisée de la manière exposée dans le schéma ci-dessous.

1. Présentation des moyens utilisables pour provoquer l'arrêt sûr d'un actionneur



Remarques

L'exemple proposé sur le schéma 1 permet de commander l'arrêt de l'actionneur par deux techniques différentes : par les contacteurs (KP, KC) ou par le variateur de fréquence.

Dans la pratique, on pourra se contenter d'une redondance en mettant en œuvre :

- soit contacteur + variateur,
- soit contacteur (KP) + contacteur (KC).

Le choix de la structure redondante sera fonction des résultats d'une analyse des risques engendrés par l'installation sur laquelle on souhaite faire de la prévention.

À titre indicatif, on peut envisager les cas de figure suivants :

a) Temps d'obtention de l'arrêt minimisé tenant compte d'un mécanisme à inertie importante

Il faut non seulement interrompre l'arrivée d'énergie sur l'actionneur M (contacteur) mais aussi enclencher le frein électromécanique.

La solution « contacteur + frein » s'impose.

b) Temps d'obtention de l'arrêt minimisé avec prise en compte du risque de déstabilisation de la charge

Pour certaines applications, un freinage brutal peut entraîner un transfert de risque (chute du produit transporté par exemple). Ainsi, le freinage le mieux adapté devra suivre une rampe de décélération résultant du meilleur compromis temps d'obtention de l'arrêt/stabilité de la charge.

Dans ce cas de figure, la solution optimale sera : variateur de fréquence + contacteur à commande différée.

c) Temps d'obtention de l'arrêt avec un mécanisme présentant peu d'inertie

C'est le cas des mouvements lents mettant en œuvre des transmissions à crémaillère, vis sans fin, etc. On peut alors simplement utiliser deux contacteurs montés en série (par exemple KP et KC schéma 1).

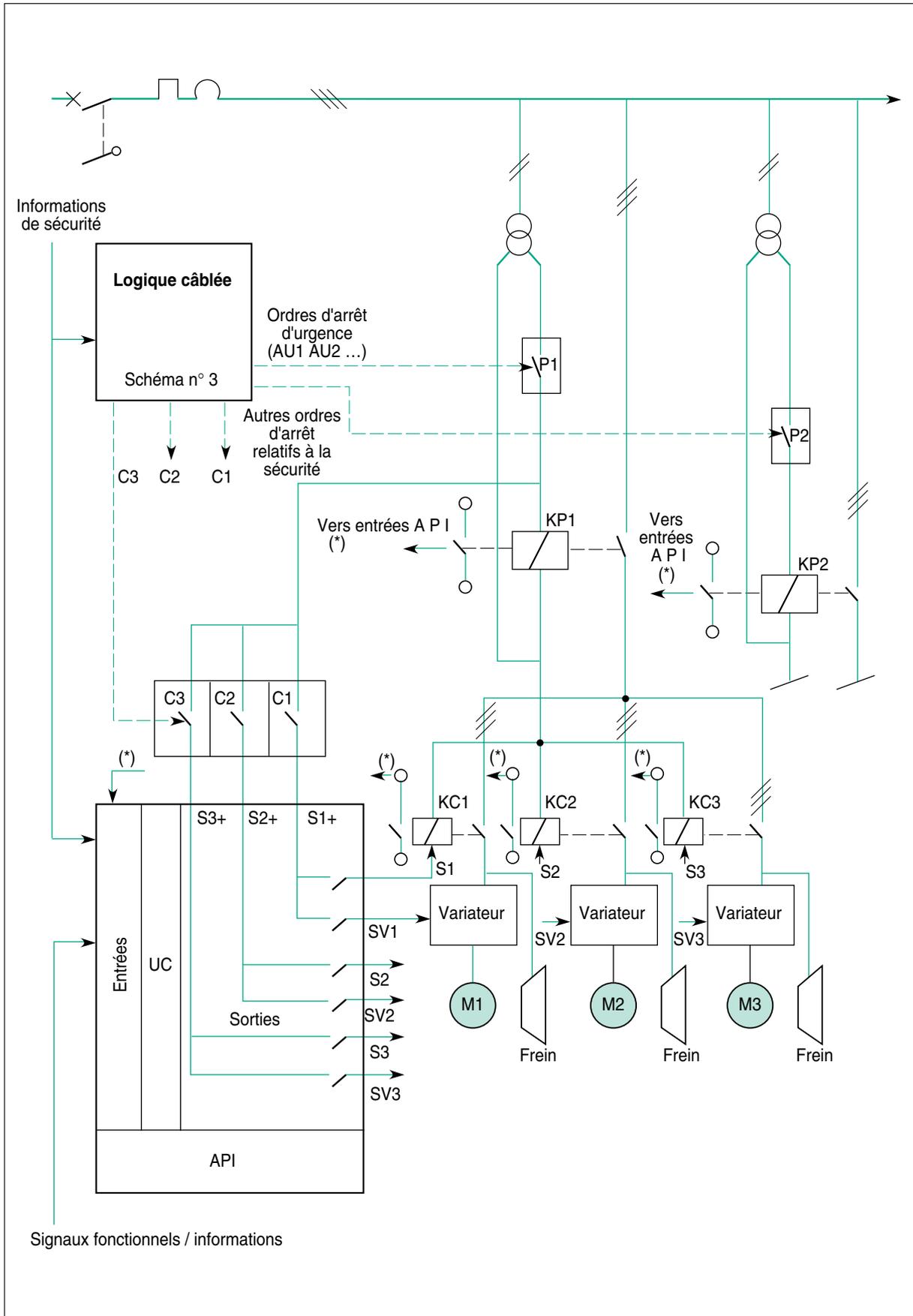
9.4.2.2. Partie commande

La partie commande a pour mission essentielle de commander la réalisation, par l'équipement, de la fonction requise. Elle peut mettre en œuvre soit une technologie à relais, soit une technologie hybride à relais et électronique, soit un automate programmable. Quelle que soit la technologie utilisée, il est indispensable d'y inclure des fonctions destinées à assurer la sécurité, réalisées en logique câblée qui agiront à deux niveaux :

- directement sur l'alimentation de l'actionneur ou des actionneurs,
- indirectement sur la commande elle-même.

Le schéma 2 est un exemple qui répond à ces deux critères et pour lequel a été prise la précaution de séparer la partie purement fonctionnelle qui est gérée ici par automate programmable (situation maintenant courante) de la partie « gestion » des protecteurs ou dispositifs de sécurité. Cette disposition permet d'éliminer les modes communs de défaillance : notamment la défaillance de l'automate n'aura pas de conséquence immédiate sur la sécurité. En outre, la maintenance en sera plus aisée et la confiance envers les dispositifs de sécurité plus grande (il est plus facile de modifier un programme qu'un câblage).

2. Exemple de structure pouvant être mise en œuvre pour réaliser une commande répondant aux exigences de sécurité



Remarques

On constate sur le schéma 2 que les informations relatives à la sécurité transitent par deux canaux :

a) par l'unité de commande, qui peut agir de manière indépendante ou simultanée sur le variateur (SV_1) et sur le contacteur KC_1 (S_1) de l'actionneur M_1 ;

b) par les circuits câblés « dédiés à la sécurité » (sécurité positive voir 3.17 de la NF EN 292-1), qui interviennent directement sur les contacteurs KP (P) et/ou KC_1 (C).

Cette façon de faire met en œuvre une technique de redondance particulière que l'on peut décomposer de la manière suivante :

- redondance hétérogène du traitement des événements de sécurité,
- redondance de la coupure en énergie car, pour chaque actionneur pouvant engendrer un mouvement dangereux, l'arrêt pourra être provoqué soit par le dispositif d'arrêt d'urgence, soit par le dispositif de protection qui lui est associé.

9.4.2.3. Partie logique câblée dédiée à la sécurité

Ce module réalisé en logique câblée est volontairement distinct de la partie « commande du processus ». Il a pour objet unique l'exploitation des signaux (engendrés, en général, par des contacts de relais, interrupteurs de fin de course...) provenant directement des dispositifs de protection (barrages immatériels, cellules monofaisceau, dispositifs d'arrêt d'urgence...); ses ordres de sortie actionnent les contacteurs KP et KC par l'intermédiaire des contacts P et C. Comme on peut le constater sur le schéma 2, ce module va hiérarchiser les ordres d'arrêt et les orienter vers les actionneurs concernés. Pour illustrer notre propos et en utilisant le schéma 2, nous allons voir comment les ordres d'arrêt sont engendrés et traités dans différents cas.

a) Traitement de diverses fonctions

- Traitement de l'ordre d'arrêt d'urgence

Sur une machine équipée de plusieurs actionneurs, l'arrêt d'urgence doit non seulement agir sur l'ensemble des actionneurs (cela dans le but évident de diminuer le temps de réaction homme-machine),

mais aussi avoir priorité absolue sur tous les autres ordres. Ainsi, le module « sécurité » devra traiter de manière prioritaire l'ordre d'arrêt d'urgence qui, en agissant sur le contacteur KP, supprimera l'arrivée d'énergie sur l'ensemble des actionneurs M_1 , M_2 , M_3 ... Bien entendu, l'événement « arrêt d'urgence » sera lui aussi traité parallèlement par la partie « commande du processus », par désexcitation de KC_1 , KC_2 , KC_3 et par l'envoi d'une consigne d'arrêt rapide sur les variateurs.

- Traitement d'un ordre issu d'un dispositif de protection (dispositif de verrouillage associé à un protecteur, barrage immatériel...)

Ici, contrairement à ce qui se passe dans le cas de l'arrêt d'urgence, l'ordre d'arrêt généré par le module « sécurité » sera destiné à agir uniquement sur l'axe concerné. Pour cela, la logique câblée de sécurité interviendra, par l'intermédiaire de l'un des contacts C, sur le contacteur KC relatif à l'actionneur en question. Bien entendu, l'événement de sécurité sera aussi analysé en redondance par la partie fonctionnelle qui agit sur la carte de sortie de l'automate programmable correspondant à cet actionneur.

- Traitement différé d'un ordre d'arrêt

Pour éviter un transfert de risque dû à un arrêt brutal, il est parfois conseillé d'appliquer d'abord un freinage commandé par automate, la coupure de la puissance par le circuit de sécurité étant différée d'un temps suffisant pour permettre un arrêt « sans casse ». Bien entendu, si l'automate ne remplit pas sa fonction, l'arrêt se fera néanmoins mais avec un léger retard et de manière brutale.

- Traitement d'un autocontrôle

Ce traitement peut être directement pris en compte par la partie fonctionnelle, à condition d'utiliser un automate programmable industriel (voir schéma 4).

Néanmoins cela ne saurait être une règle générale et doit s'apprécier en fonction de l'importance du risque.

b) Réalisation de la logique câblée

Les informations de sécurité traitées dans cet exemple sont issues :

- des arrêts d'urgence,
- de la commande d'armement/réarmement,
- des protecteurs dédiés aux actionneurs présentant un risque.

Ces différents moyens ont été retenus car ils sont les plus couramment utilisés. Ils fournissent l'infor-

mation sous forme de contacts, lesquels sont exploités par la logique câblée (schéma 3).

La fonction de ces dispositions de sécurité est définie comme suit :

L'arrêt d'urgence : voir chapitre 7.

Le dispositif de validation des sécurités

(armement/réarmement)

Lorsqu'un dispositif d'arrêt d'urgence ou un dispositif de sécurité a été sollicité, la machine ne doit redémarrer que sous l'effet d'une action volontaire de l'opérateur sur la commande « armement » prévue à cet effet. Cela permet de s'assurer que le risque a bien disparu.

Il est à noter que :

a) l'action du dispositif d'arrêt d'urgence a priorité sur une action maintenue de la commande d'armement/réarmement,

b) la relance de la séquence interrompue ne peut être obtenue qu'après avoir déverrouillé le dispositif d'arrêt d'urgence puis relâché et réactivé la commande d'armement/réarmement.

c) Principe de fonctionnement de la « logique câblée » (schéma 3)

La première ligne, affectée aux arrêts d'urgence alimente le relais KAU si aucun arrêt n'est sollicité.

Le relais P de la deuxième ligne est lui-même alimenté si le contact de contrôle des arrêts d'urgence (KAU) est fermé (aucun arrêt d'urgence actionné) si le contact de contrôle des sécurités appartenant à l'automate est fermé (contrôle positif) si les fonctions de sécurité correspondant aux relais C_1 , C_2 , C_3 sont activées mais non sollicitées et enfin si le contact « armement » est fermé. Ces conditions remplies, le relais P s'autoalimente par son contact associé P, sa mise hors tension se produira uniquement par KAU ou par le contact appartenant à l'automate.

Les relais C_1 , C_2 , C_3 sont alimentés par l'ensemble des contacts suivants :

- les contacts des dispositifs de sécurité,
- les contacts de contrôle appartenant à l'automate,
- le contact (KAU) vérifiant les arrêts d'urgence.

d) Commentaires

L'article 1.2.7 de l'annexe I de la directive « Machines » (98/37/CE) [5.1] impose, en ce qui concerne le circuit de commande, les exigences suivantes :

« Défaillance du circuit de commande »

Un défaut affectant la logique du circuit de commande ou une défaillance ou une détérioration du circuit de commande ne doit pas créer de situation dangereuse. En particulier, il ne doit y avoir :

- ni mise en marche intempestive,
- ni empêchement de l'arrêt de la machine si l'ordre en a déjà été donné,
- ni chute ou éjection d'un élément mobile de la machine ou d'une pièce tenue par la machine,
- ni empêchement de l'arrêt automatique ou manuel des éléments mobiles, quels qu'ils soient,
- ni inefficacité des dispositifs de protection ».

e) Exploitation des informations « de sécurité »

Après avoir montré comment il est possible d'intégrer la sécurité à tous les niveaux d'une machine ou d'un automatisme, il nous paraît utile de relier les actions préventives entreprises à chacun de ces niveaux en décrivant le traitement des informations relatives à la sécurité qui sont fournies par des contacts appartenant aux dispositifs d'arrêt d'urgence et de protection.

Sur le schéma 2, on constate qu'un actionneur peut être immobilisé par chacune des trois actions suivantes :

- désexcitation du/des contacteur(s) KP par l'intermédiaire du contact P, directement et uniquement commandé par la logique câblée,
- désexcitation du/des contacteurs KC, soit par l'intermédiaire du contact P ou des contacts C pilotés par la logique câblée, soit directement par l'automate programmable (contacts S),
- action sur le variateur de fréquence par l'intermédiaire soit du contact P, soit des contacts C pilotés par la logique câblée, soit directement par l'API (contact SV).

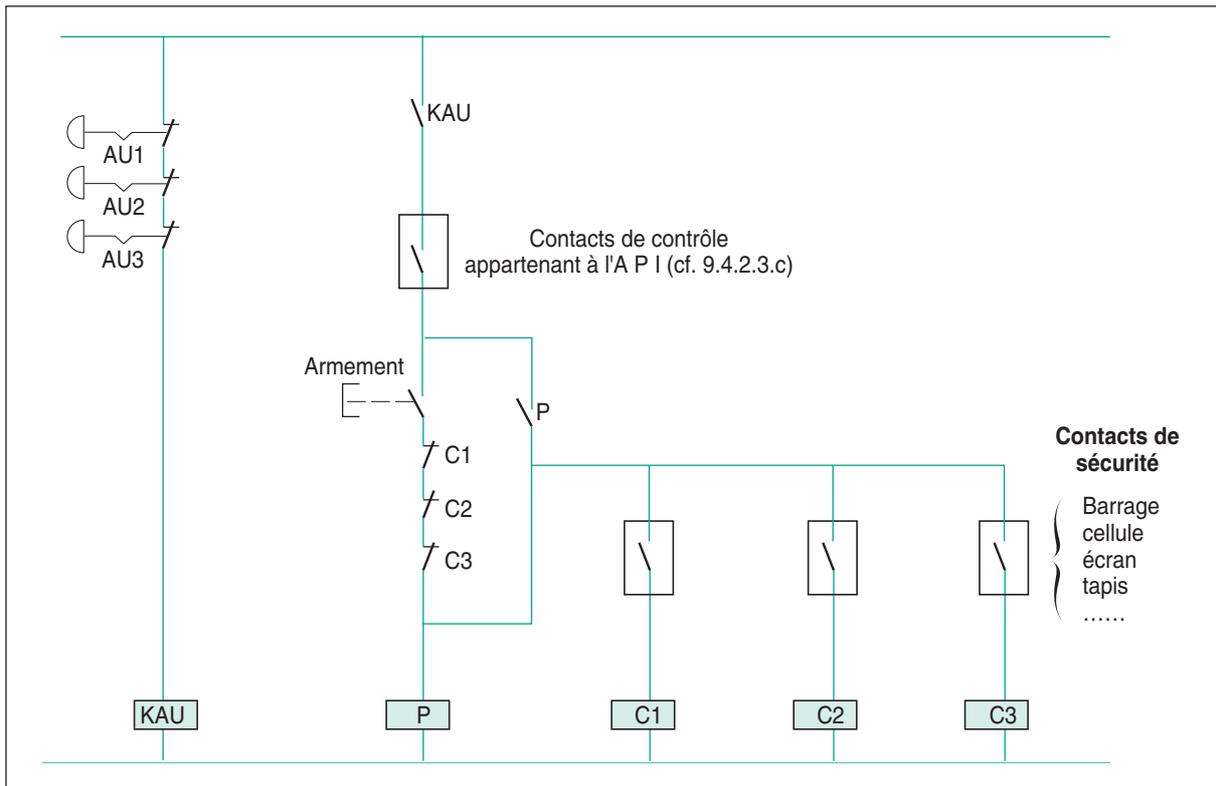
Ainsi une information de sécurité va transiter par deux voies :

- la logique câblée,
- l'automate programmable.

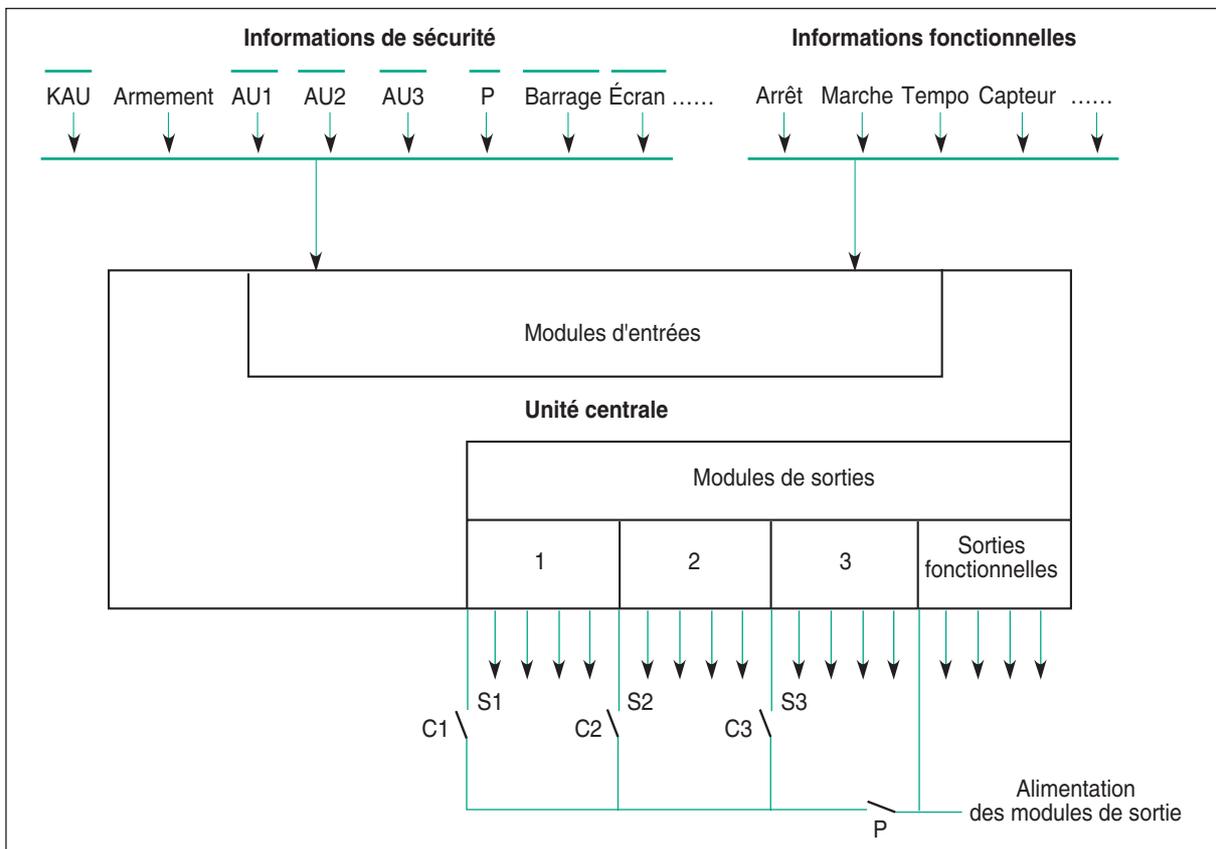
La « **logique câblée** » agit, selon la priorité affichée, soit directement sur la puissance (relais et contact P), soit sur l'automate programmable en coupant l'alimentation des cartes de sortie (relais et contacts C).

L'**automate programmable** agit soit sur le variateur de fréquence (SV), soit sur les contacteurs KC

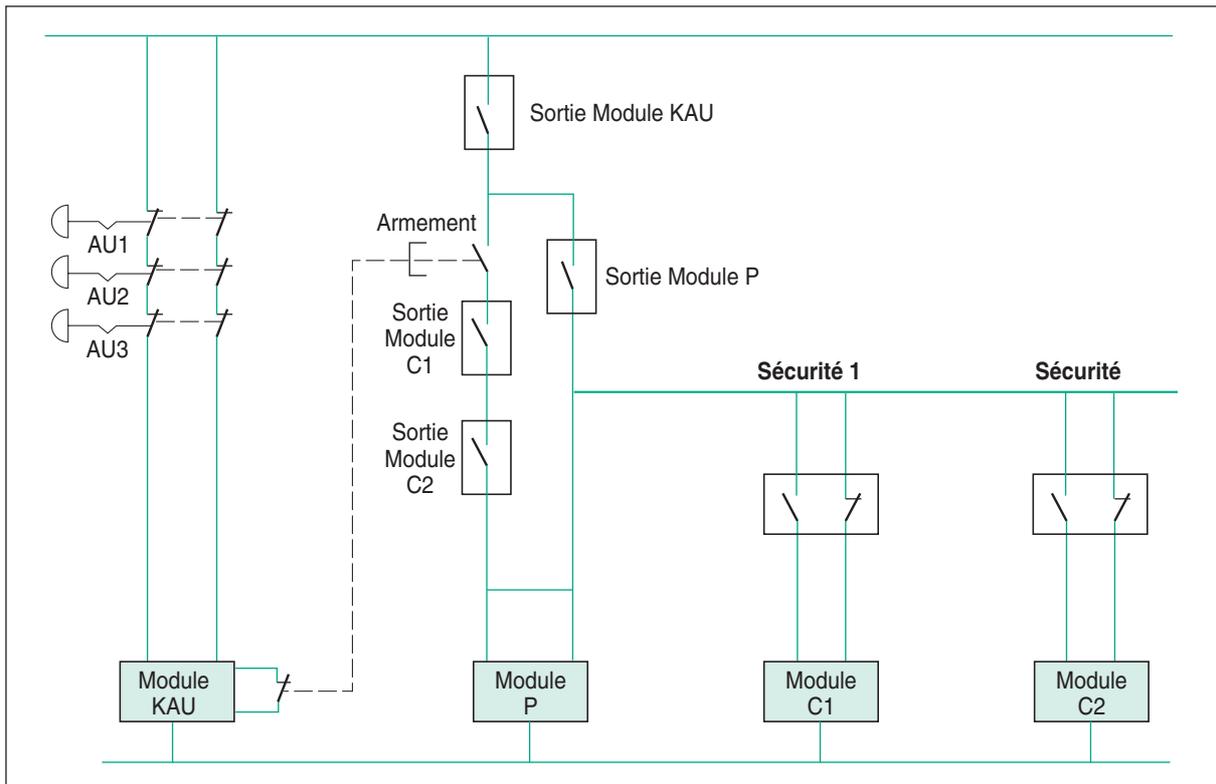
3. Description de la logique câblé du schéma 2



4. Action des informations de sécurité sur l'API



5. Traitement des fonctions de sécurité par modules de sécurité (blocs logiques)



(contacts S), soit enfin sur le relais P de la logique câblée (contact de contrôle appartenant à l'automate voir schéma 3).

L'obtention de la sécurité est donc basée sur une redondance de type hétérogène mais également par association de techniques de sécurité telles que :

- action directe des organes de sécurité sur la coupure de l'énergie (logique câblée),
- sécurité positive : organes à comportement orienté à la coupure¹² (contacts NF pour les détecteurs, contact NO pour les préactionneurs et relais),
- autocontrôle des dispositifs de protection : ces dispositifs détectent leur propre défaillance et émettent un ordre d'arrêt.

f) Remarques sur le bloc « logique câblée » (schéma 3)

Le schéma en logique câblée donné en exemple ne peut être utilisé qu'avec une structure telle que celle que décrit le schéma 2 car, dans ce cas, les relais KAU, P, C₁, C₂ et C₃ sont contrôlés par l'automate programmable industriel ; le « collage » de l'un d'entre eux est sans conséquence immédiate

12. Composants qui maintiennent leur sortie dans un état prévisible en cas de défaillance du système d'alimentation en énergie.

puisque, d'une part, l'ordre d'arrêt pourra encore transiter par l'automate programmable industriel et que, d'autre part, la défaillance sera détectée et provoquera la retombée du relais P (schéma 3).

En revanche, si l'on substitue à l'automate programmable industriel une logique câblée, il sera nécessaire, pour respecter le concept de sécurité positive, d'utiliser une technique d'autocontrôle faisant appel à des modules de sécurité, conçus de façon à détecter leurs propres défaillances. Bien entendu, ces précautions ne dispensent pas de respecter la structure présentée sur le schéma 2, notamment en séparant la partie fonctionnelle de la partie « sécurité ».

Le schéma 5 montre qu'on peut réaliser une logique entièrement câblée respectant le concept de sécurité positive en utilisant des modules de sécurité dont le fonctionnement sera sommairement rappelé ci-après.

La première ligne met en œuvre un module d'arrêt d'urgence dont la mission est de contrôler la coïncidence d'informations provenant des dispositifs d'arrêt d'urgence.

La deuxième ligne réalise la fonction d'arrêt d'urgence en tenant compte de certaines conditions indispensables telles que l'armement et la vérification des sécurités à chaque mise en route. Là aussi,

le relais P du schéma 3, dont la mission est capitale pour la sécurité, est remplacé par un module de sécurité à sorties autocontrôlées. La même technique est utilisée pour les entrées « sécurité » provenant des barrages immatériels, des dispositifs de verrouillage associés aux protecteurs...

Les raccordements dénommés « sortie module C1 » et « sortie module C2 » situés dans la ligne de commande du module P sont constitués de plusieurs contacts disposés en série, qui appartiennent aux relais internes des modules.

Module de sécurité

Principe de fonctionnement

Ces dispositifs ont pour mission de vérifier, par comparaison, la concordance de signaux apparaissant sur leurs entrées et la génération d'un signal de sortie si les messages d'entrée sont concordants.

De surcroît, cette fonction est réalisée en respectant le concept de sécurité positive par l'intermédiaire d'un autocontrôle ce qui nécessite une logique à relais relativement complexe.

Ces modules disposent tous des fonctionnalités suivantes :

- des sorties de sécurité constituées de plusieurs contacts disposés en série, appartenant aux relais internes à contacts guidés selon la norme NF EN 50205,
- un contrôle de la concordance des informations d'entrée,
- un contrôle de leurs liaisons avec les dispositifs de sécurité,
- une boucle de retour permettant de contrôler l'état des contacts de recopie associés aux relais ou contacteurs commandés par les sorties du module. Cette fonction permet de s'assurer que l'ordre a bien été exécuté par le relais ou le contacteur.

Pour résumer :

Par rapport au schéma 3, dans lequel la détection des défaillances est confiée à l'automate, il convient, lors de l'utilisation d'une structure totalement câblée, de substituer aux relais classiques des modules de sécurité autocontrôlés, ce qui oblige à doubler les informations d'entrée en utilisant des dispositifs de sécurité dont l'information de sortie est délivrée par deux contacts.

Cette façon de procéder permet en même temps de contrôler le bon fonctionnement des équipements d'arrêt d'urgence, des relais de sortie... ainsi que la liaison filaire équipements-modules.

Par souci de simplicité, nous n'avons pas traité des modes de marche et d'arrêt qui, eux aussi, influent considérablement sur la sécurité d'une machine ou d'un ensemble automatisé.

En effet, par nécessité, une machine dispose en dehors de la marche « normale » d'autres modes de fonctionnement mieux adaptés aux opérations de réglage, de maintenance... et, dans certains de ces modes, l'opérateur est amené à intervenir « hors protection » dans des zones dangereuses. Ces phases de fonctionnement doivent être, elles aussi, gérées « en sécurité », notamment en transférant de l'automatisme à l'intervenant l'initiative de la gestion des séquences.

Il faut donc prévoir la neutralisation des séquences automatiques au profit d'une commande nécessitant une action maintenue, traduisant la volonté de l'opérateur d'exécuter ou d'arrêter un mouvement donné. Pour plus d'informations sur ce sujet important, il est nécessaire de se reporter aux normes NF EN 60204-1, § 9.2.3 et 9.2.4 et NF EN 292-2, § 3.7.9 et 3.7.10 qui fixent les grands principes à respecter concernant les modes de marche.

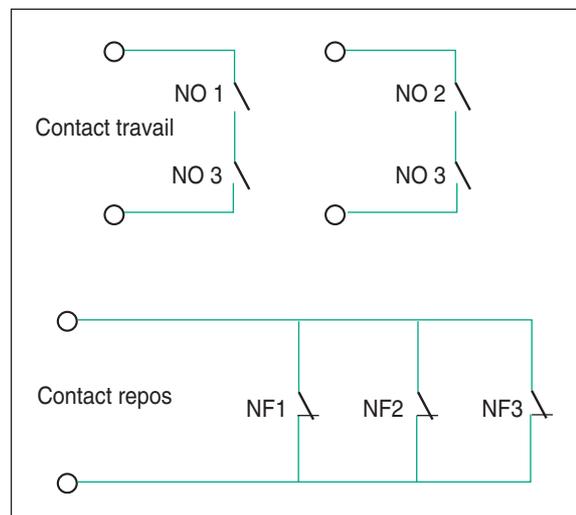
g) Implantation des contacts des dispositifs de sécurité

Tout dispositif de sécurité comporte la plupart du temps deux types de contacts :

- des contacts dits « travail » NO (NO = normalement ouvert) disposés en série,
- des contacts dits « repos » NF (NF = normalement fermé) disposés en parallèle.

Le schéma n° 6 représente ces différents contacts « relais hors tension ».

6. Contacts de sortie du dispositif de protection



Les contacts « travail » sont insérés à l'endroit appelé « sécurité » sur les schémas 3 et 5 alors que les contacts « repos » engendrent des informations « de sécurité » envoyées sur les entrées de l'automate programmable destinées à les recevoir.

9.4.3. Conclusions

Plus un système de commande est complexe, plus, d'une part, les risques d'erreurs et de pannes deviennent probables, plus, d'autre part, il devient difficile d'analyser son comportement, de le modifier, de le dépanner sans engendrer d'autres sources d'erreur et de panne.

Aussi l'une des règles essentielles à mettre en œuvre consiste à séparer physiquement la partie fonctionnelle souvent complexe de la partie sécurité.

Les exemples utilisés dans ce document montrent que cela est réalisable en utilisant des moyens simples dans la mesure où, dès la conception, a été prévue une architecture adaptée. Si ce n'est pas le cas, la mise en conformité d'une installation mal conçue peut se révéler très coûteuse, voire irréalisable.

La mise en œuvre d'une démarche d'intégration de la sécurité consiste, dans la pratique, à concevoir une logique de commande apte à recevoir et traiter en sécurité les informations provenant des divers dispositifs de protection, mais aussi à prévoir et réaliser des modes de marche et d'arrêt sûrs. Le choix et l'implantation des protecteurs et dispositifs de protection doivent être laissés à l'initiative du concepteur de la partie opérative, qui est bien placé pour faire la sélection et l'implantation la plus pertinente après une analyse des risques adaptée.

Pour réussir une bonne intégration de la sécurité, il convient également de considérer les aspects suivants :

- la présentation de l'information,
- la gestion des fonctions de sécurité dans les différents modes de travail,
- les problèmes de maintenance.

Ces différents points malgré leur importance n'ont pas été abordés dans ce chapitre.

On notera également que l'emploi d'un automate programmable non dédié à la sécurité n'est pas un obstacle à l'obtention d'un bon niveau de sécurité dans la mesure où le traitement des fonctions de sécurité ne lui est pas confié exclusivement, mais

est confié aussi à une logique câblée spécifique. En revanche, on peut lui confier sans crainte un rôle de supervision et d'assistance.

9.5. Automate programmable dédié à la sécurité

9.5.1. Introduction

La création ou la rénovation d'unités de fabrication automatisée conduit constructeurs et renovateurs à initier une réflexion quant aux choix technico-économiques à opérer pour développer leurs applications. Dans ce cadre, les décideurs sont nécessairement amenés à s'interroger et à prendre position sur le système de gestion des sécurités à mettre en œuvre et notamment sur l'utilisation d'automates programmables. Ce chapitre n'a pas l'ambition d'apporter des réponses précises à l'ensemble des questions que se posent les utilisateurs, mais il pourra les guider dans leur réflexion en présentant les étapes qu'ils devront franchir pour atteindre l'objectif qu'ils se sont fixés en terme de sécurité des personnes exploitant l'équipement.

Dans ce chapitre, vous pourrez :

- prendre connaissance de la réglementation qui accompagne l'exploitation des API ;
- vous familiariser avec les différentes approches possibles permettant, selon le niveau de performance requis et la nature de l'application, de choisir la structure du système de gestion des sécurités la mieux adaptée ;
- vous rendre compte des principales difficultés qui se poseront lorsque la gestion des sécurités sera confiée à un API dS.

9.5.2. Quelles réglementations doit-on appliquer ?

La directive « Machines » n° 98/37/CE, qui couvre le domaine des machines neuves, énonce des prescriptions (exigences essentielles de sécurité) de portée générale sur les objectifs à atteindre en termes de prévention, mais elle ne donne en aucun cas des solutions pour y satisfaire. Ce rôle est dévolu aux normes, qui pourront aider le concepteur

d'une machine ou d'un automatisme à satisfaire son obligation de prendre en charge la sécurité des intervenants et à intégrer cette composante lors de la conception de son circuit de commande.

Pour cela, trois catégories du document pourront être utilisées :

a) L'annexe 1 de la directive « Machines » n° 98/37/CE, qui comporte les exigences essentielles de sécurité et de santé relatives à la conception et à la construction des machines et composants de sécurité. La transcription en droit français de la directive européenne apparaît sur le code du travail (partie législative) par l'intermédiaire des articles L. 233-5 et suite en ce qui concerne les équipements de travail.

La partie réglementaire de l'annexe 1 apparaît dans le code du travail à la sous-section « Équipements de travail » qui cite les règles techniques de conception et de construction et les procédures de certification de conformité applicables aux équipements de travail (article R. 233-83, R. 233-84 et suite).

b) Les normes européennes harmonisées

Ces dernières constituent le support technique des directives. En fonction de leur avancement, on leur donne un préfixe différent :

- les normes de type EN ... sont applicables dans leur forme définitive ;
- les normes de type prEN ... indiquent que la norme en est encore à un stade de développement, non stabilisé.

Ces normes de sécurité sont classées en trois catégories :

- les normes de type A : ce sont des normes fondamentales de portée générale relatives à la conception et à l'utilisation des machines ;
- les normes de type B : ce sont des normes qui traitent d'un aspect de sécurité ou d'un dispositif de sécurité applicable à une large gamme de machines ;
- les normes de type C : il s'agit de normes de sécurité par catégorie de machine qui indiquent les risques spécifiques et les prescriptions de sécurité à mettre en œuvre.

c) Les documents accompagnant l'équipement de travail ou le composant de sécurité

Il s'agit de :

- la déclaration CE de conformité par laquelle le fabricant ou l'importateur atteste que l'équipement ou le composant est conforme aux règles

techniques et satisfait aux règles de procédure qui lui sont applicables ; pour établir cette déclaration, le fabricant peut s'appuyer sur des éléments (avis, certification) délivrés par des organismes de contrôle ;

- la documentation technique indiquant, d'une part, les spécifications techniques utilisées pour assurer la conformité du produit, et d'autre part, les conditions et règles d'utilisation.

Toutes ces dispositions s'appliquent à l'automate programmable lorsqu'il équipe une machine, notamment l'annexe 1 de la directive « Machines » qui stipule que : « un défaut affectant la logique du circuit de commande, une défaillance ou une détérioration du circuit de commande, ne doit pas créer de situations dangereuses ». Or, il est communément admis que l'on ne peut assurer le respect de cette exigence avec un automate programmable standard.

L'arrivée sur le marché d'automates programmables dédiés à la sécurité a conduit en avril 2000 le ministère de l'Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement à publier une note établie par le bureau CT5 et approuvée par la commission spécialisée n° 3 du conseil supérieur de la prévention. Cette note a été transmise aux directions régionales du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle. Elle a le mérite, même si elle n'a pas de valeur juridique, de donner un avis officiel sur l'exploitation des API dans des applications impliquant la sécurité des personnes.

Ce texte apporte notamment quelques conseils de base sur la manière d'aborder une commande intégrant un API, comme :

- l'adéquation existant entre l'estimation des risques de la technologie choisie ;
 - l'utilité qu'il y a à séparer les fonctions de sécurité de la gestion de la partie fonctionnelle ;
- et de rendre les fonctions de sécurité non modifiables par l'exploitant.

S'agissant plus spécifiquement des automates programmables dédiés à la sécurité, le ministère précise que, même dédiés à des fonctions de sécurité, ces composants de sécurité ne peuvent pas être mis isolément sur le marché, car c'est la qualité de l'ensemble de l'applicatif qui en fait un composant de sécurité. Il est également souligné que la mise en œuvre de ce type de composants complexes et la vérification du logiciel d'application restent des opérations délicates, et que de ce fait, il est déconseillé aux non-professionnels de recourir à ces dispositifs.

À ce jour, hormis quelques normes génériques telles que EN 61508, ISO 13849-1, il n'existe aucune norme spécifique traitant des APIdS. Ainsi, la note du ministère, même si elle date d'avril 2000, reste d'actualité.

9.5.3. Architecture d'un circuit de commande intégrant un API

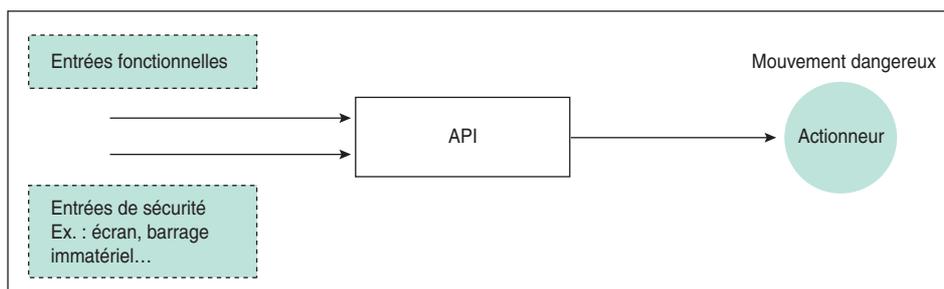
Rappelons que l'obtention du niveau de performance de sécurité requis pour une application est le résultat d'une démarche globale qui débute par une estimation des risques et se termine par la validation de l'application. L'APIdS et son logiciel applicatif ne représente qu'un élément de la chaîne de sécurité. Avant d'aborder les différentes architectures possibles, il y a lieu d'examiner la part prise par le circuit de commande dans la sécurité globale de la machine. En effet, si sur certaines machines présentant un niveau de risque très élevé, la conception du circuit de commande contribue de manière importante à la prévention des risques d'accident (cas des presses, notamment), il arrive aussi que la sécurité

repose pour l'essentiel, non sur le circuit de commande, mais sur d'autres moyens tels que la mise sous carter, l'éloignement, la mise en place de procédures d'intervention, etc. Dans ce contexte, les effets prévisibles d'une éventuelle défaillance du circuit de commande apparaissent comme négligeables dans l'appréciation des risques ISO 12100-1-2.

Les paragraphes suivants présentent les différentes architectures théoriques possibles pour la gestion des fonctions de sécurité sur une machine.

9.5.3.1. API gérant la commande et les sécurités

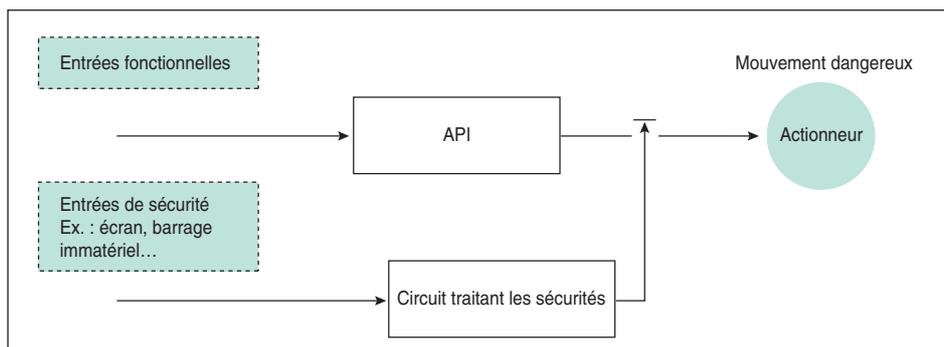
L'observation de ce synoptique montre qu'un mouvement dangereux peut se produire suite à une défaillance de l'API, les sécurités ne pouvant plus intervenir pour arrêter ce mouvement dangereux. Ce comportement est dû au fait qu'un API standard n'a pas été conçu pour détecter toutes ses défaillances internes et adopter une position de repli en sécurité lorsque celles-ci se produisent. Pour ces raisons, l'utilisation d'un API standard n'est pas admise pour gérer les fonctions de sécurité directe sur une machine.



9.5.3.2. API gérant la commande, le circuit traitant les sécurités étant séparé

On constate que le circuit traitant les sécurités a priorité sur la commande par l'API, la défaillance de ce dernier n'aura pas de conséquence directe sur la performance de sécurité. Cette architecture permet l'utilisation d'un automate car le traitement séparé des sécurités annihile les mouvements dangereux malgré la défaillance de l'API.

Ce type d'architecture se rencontre encore fréquemment, il permet de simplifier la validation d'une commande complexe en limitant cette dernière à la seule partie traitant les sécurités. De surcroît, il devient possible de verrouiller l'accès au traitement des sécurités tout en conservant la souplesse du traitement du *process* par l'API.



9.5.3.3. Redondance d'API gérant la commande et les sécurités

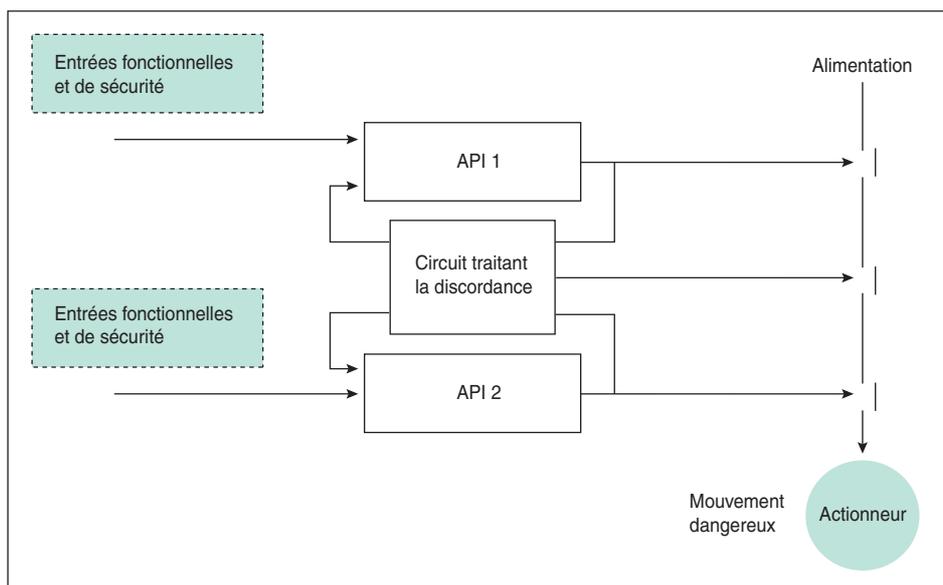
Dans cet exemple, la redondance choisie repose sur la mise en œuvre de deux automates devant donner la même information pour que celle-ci soit prise en considération ; en cas de discordance, il y a arrêt du processus et mise en sécurité.

La redondance privilégiant la disponibilité n'a pas été retenue, elle ne permet pas de maintenir son niveau de performance en présence de la défaillance d'une des deux voies.

Dans ce cas, la défaillance de l'un des deux automates ne peut pas mener à l'accident. La

discordance entre les deux sorties des API est détectée par un circuit extérieur qui commande l'arrêt du mouvement dangereux et interdit la remise en fonctionnement obligeant la réparation de l'API défaillant.

Cette architecture pourra être utilisée pour des systèmes où il est admis que la probabilité de défaillance de mode commun des deux API est négligeable. Elle doit être mise en œuvre par des spécialistes capables de valider l'application sachant que la sécurité dépend des mesures prises pour réduire les défaillances de mode commun et de la validation du circuit traitant la discordance des sorties des API.

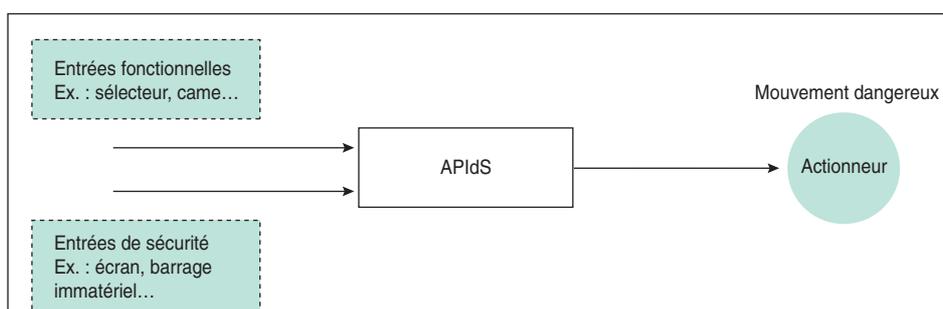


9.5.3.4. APIdS gérant la commande et les sécurités

Cette architecture peut être rencontrée sur les systèmes où la commande et les sécurités sont fortement imbriquées, comme la commande de certaines machines telles que les presses mécaniques par exemple.

Sur ce schéma, on remarque qu'une défaillance de l'APIdS pourrait conduire directement à l'accident malgré les sécurités initialement prévues. Il faut

préciser toutefois qu'un APIdS a justement été construit pour qu'une défaillance matérielle ou une mauvaise conception du logiciel système conduisant à une commande intempestive soit peu probable par rapport à celle d'un API standard. Resteront toutefois à traiter, comme pour les autres solutions, les problèmes liés aux programmes applicatifs, aux câblages, à la validation et à la maintenance.



9.5.3.5. APIdS gérant les sécurités séparées

Lorsque la complexité et/ou le nombre de fonctions de sécurité à traiter est important, il est envisageable de gérer les fonctions de sécurité par un APIdS alors que la commande fonctionnelle de la machine est confiée à un API standard. Dans cette architecture comme dans celle où l'APIdS devait gérer en plus le fonctionnel, la sécurité du système repose entièrement sur le comportement de l'APIdS en présence de défaillances. L'avantage de cette solution par rapport à la précédente, réside dans le fait que n'ayant à gérer que les sécurités, la validation s'en trouve simplifiée. De plus, les modifications du fonctionnel n'ont pas de conséquences sur le traitement des sécurités.

9.5.3.6. Conclusion

Le tableau ci-après résume les principales architectures décrites et potentiellement rencontrées sur un équipement industriel.

L'analyse de ce tableau montre la diversité des architectures qui s'offre aux concepteurs de circuits de commande de machines pour gérer la sécurité. Lorsque cela est possible, il convient de retenir les architectures où les sécurités sont séparées du fonctionnel. Cette solution a l'avantage d'identifier avec précision l'ensemble des moyens mis en œuvre pour éviter les situations à risque pouvant conduire à l'accident, de bien circonscrire ce qui doit être testé et validé, mais aussi de permettre des évolutions de la gestion du *process* sans entraîner une diminution de la performance des sécurités. Bien entendu, le choix d'une telle structure ne doit pas être considéré comme suffisant pour obtenir un bon niveau de performance de sécurité. La

complexité de l'application et la technologie retenue vont exiger des compétences très différentes selon que l'on utilisera l'une ou l'autre des technologies suivantes.

- La logique câblée

Cette technologie à base de relais électromécaniques a fait ses preuves depuis plusieurs décennies, car il est aisé avec celle-ci de réaliser et de valider les fonctions de sécurité en respectant les exigences fixées par les catégories décrites dans la norme ISO 13849-1 demandées pour les différents types d'applications rencontrés en machinerie.

- Les blocs logiques de sécurité

En machinerie, on a fréquemment recours aux fonctions de sécurité de base qui sont : arrêt d'urgence, double commande, contrôle de coïncidence... Ces fonctions sont maintenant proposées sous forme de modules électroniques prêts à l'emploi en ce sens que seules les entrées/sorties sont à raccorder. Ces modules sont conçus pour répondre aux normes régissant les fonctions de sécurité qu'ils assurent et possèdent un CE de type (lorsqu'ils appartiennent à la famille des composants de sécurité) ou d'un certificat de conformité (pour les autres). Plus récemment sont apparues des interfaces paramétrables permettant, avec un logiciel de programmation spécifique supporté sur un PC, de faire réaliser par un même module, soit plusieurs fonctions de sécurité, soit des fonctions de sécurité atypiques mieux adaptées aux besoins. L'utilisation de ces dispositifs facilite grandement l'intégration des fonctions de sécurité sur une machine par des automatismes confirmés ; cette démarche est conseillée lorsque la gestion des sécurités le permet. L'utilisateur conserve la maîtrise de son

Paragraphe	Architecture	Commentaires
§ 3.1	Un API	À proscrire pour la gestion des fonctions de sécurité.
§ 3.2	API + traitement des sécurités séparées	Conseillé lorsque le traitement des sécurités ne nécessite pas d'opérations complexes. Seul le traitement des sécurités séparées est à valider.
§ 3.3	Redondance d'API	L'arrivée des APIdS rend cette démarche inopportune.
§ 3.4	Un APIdS gérant le fonctionnel et les sécurités	Validation nécessitant une expertise (point abordé dans les paragraphes suivants). Limité à certaines applications bien ciblées.
§ 3.5	Sécurités séparées traitées par un APIdS	À conseiller pour des réalisations complexes. Mise en œuvre et validation nécessitant un haut niveau d'expertise.

application du fait d'une meilleure lisibilité de son application due en grande partie à la séparation de la partie sécurité de la partie fonctionnelle.

- Les dispositifs électroniques programmables

Lorsque la gestion des sécurités nécessite de nombreux échanges avec le processus de fabrication, la logique câblée, de même que les blocs logiques de sécurité montrent leurs limites pour des raisons d'encombrement, de câblage, de consommation, de maintenance... Il devient à ce moment-là utile d'engager une réflexion sur l'intérêt que l'on pourrait retirer de l'usage d'une gestion par une logique programmable dont la capacité et la souplesse de traitement sont bien supérieures. Les automates programmables industriels dédiés à la sécurité sont censés apporter une réponse à cette complexité de gestion en permettant de réduire les coûts de conception, de mise en œuvre et d'exploitation tout en assurant un haut niveau de protection. Nous allons montrer dans ce document que la réalité peut, si l'on y prend garde, être très éloignée des promesses faites par leurs promoteurs.

Ces automates se distinguent des API standards par la mise en œuvre de moyens spécifiques qui vont concerner la structure matérielle, le logiciel système ainsi que le logiciel de programmation, ce qui leur permet de répondre de manière définie à l'apparition d'une défaillance interne.

9.5.4. Deux grandes classes d'APIdS cohabitent

La première classe regroupe les APIdS destinés à la commande de processus ; la seconde regroupe ceux destinés à la commande des machines.

Les premiers sont dits « tolérants aux pannes » car conçus pour assurer la disponibilité d'un processus, c'est-à-dire permettre la poursuite en toute sécurité d'un processus en cours, malgré la défaillance d'une voie de traitement. Dans ce cas, la sécurité des personnes et la protection de l'environnement sont assurés par le maintien de l'activité. Ces automates mettent en œuvre des architectures redondantes d'ordre 3 avec voteur, ce qui permet de détecter la voie défaillante, ou des architectures d'ordre 2 avec détection du canal défaillant par autotests ou utilisation de CPU à deux microprocesseurs. Ces structures sont les seules capables de détecter la voie défaillante, d'assurer la conti-

nuité de processus en mode dégradé et d'initialiser une procédure d'urgence.

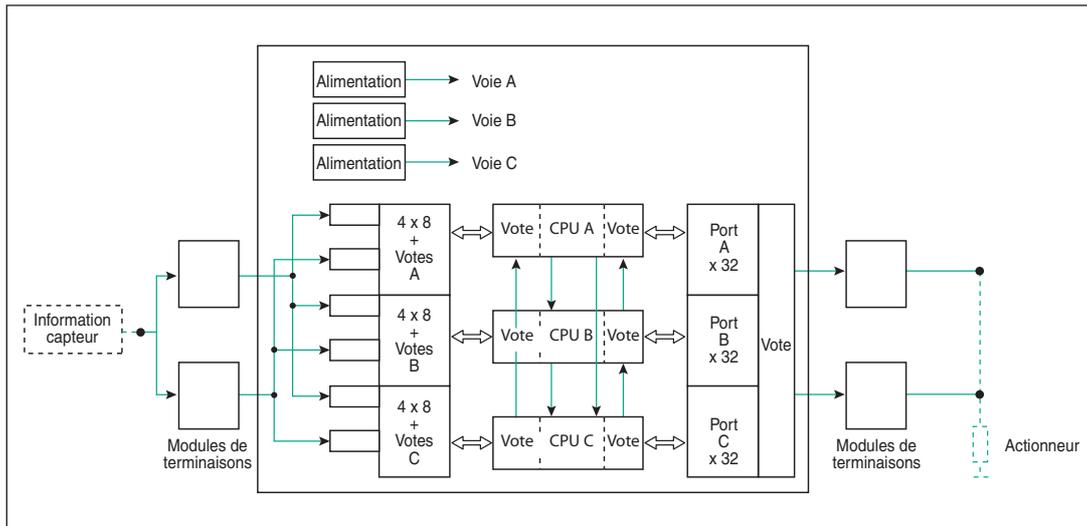
Les seconds sont conçus pour interrompre un mouvement dangereux lorsqu'une voie de traitement est défaillante. Les APIdS dédiés à la commande de machines dangereuses doivent être beaucoup plus réactifs que les précédents lors de la survenue d'une défaillance, ce qui nécessite des temps de réponse beaucoup plus courts que ceux exigés pour le pilotage de *process*. Cette différence est fondamentale, car elle a une influence évidente sur l'architecture interne des APIdS, sur les mécanismes de détection d'erreurs, sur le logiciel système, sur les outils de programmation...

Ce type d'automates se contente d'une architecture redondante d'ordre 2 mettant en œuvre des techniques de comparaison qui permettent de vérifier qu'il y a identité de résultats entre les deux voies lors des différentes étapes du traitement, sachant que les informations d'entrée sont identiques pour les deux voies.

Dans les faits, les constructeurs ont décliné le principe de redondance en différentes structures à voies indépendantes ou communicantes, en utilisant les mêmes composants pour les deux voies ou au contraire des composants de constructeurs différents nécessitant des logiciels systèmes identiques ou différents. Ces variations entraînent des niveaux de performances de sécurité et des coûts différents qu'il sera nécessaire de prendre en compte.

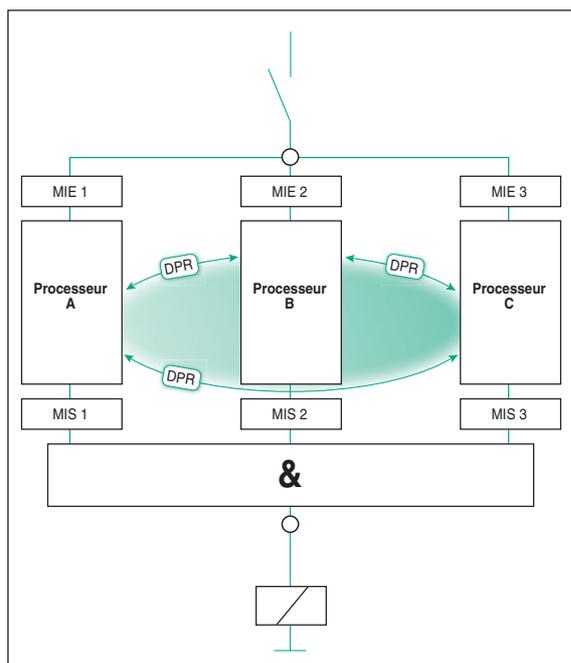
Pour illustrer nos propos, nous avons retenu deux exemples de structure d'APIdS (voir page 90). Le premier appartient à la famille « commande de processus », le deuxième à la famille « commande de machines ». Cette comparaison permet de mettre en exergue les différences entre ces deux familles. L'automate présenté ci-dessus donne un exemple de structure adaptée à une performance orientée sur la disponibilité.

On remarque que le constructeur ne s'est pas contenté d'un voteur unique en fin de traitement, qui aurait pour inconvénient d'éliminer la totalité de la voie de traitement défaillante. Il a au contraire judicieusement réparti les voteurs sur les blocs fonctionnels : cela permet de *shunter* uniquement le bloc défaillant et non pas la totalité de la voie. Cette technique a l'avantage, d'une part, d'augmenter la disponibilité de l'automate en modifiant le cheminement du traitement des données d'entrée, et d'autre part, de faciliter la maintenance en limitant l'intervention au seul bloc défaillant.



Exemple d'APIdS utilisé en commande de processus

Cette solution met en évidence une structure disposant de trois voies de traitement communicantes associées à un ET logique en sortie qui autorise une commande à condition que les trois voies de traitement donnent le même résultat dans un intervalle de temps donné. Dans cet exemple, les voies de traitement ne sont pas indépendantes, ce qui permet, d'une part, d'assurer la détection des défaillances latentes qui ne pourraient être vues par le circuit ET de sortie, et d'autre part, de raccourcir le délai de détection des défaillances. Cette solution a toutefois l'inconvénient d'être une source potentielle de défaillances de mode commun.



Exemple d'APIdS utilisé en commande de machines

9.5.5. Gestion des fonctions de sécurité en machinerie par APIdS

Si l'on fait le choix d'intégrer un APIdS à une application pour gérer les fonctions de sécurité, la réussite du projet dépendra de la façon dont on aura solutionné les étapes suivantes :

- le choix de l'APIdS en tant que composant ;
- l'élaboration du programme applicatif ;
- l'interconnexion de l'APIdS avec ses périphériques ;
- la validation de l'application.

Les paragraphes suivants vont développer ces aspects sans toutefois proposer des solutions « clé en main ». Nous nous limiterons à baliser le cheminement que tout concepteur devra suivre pour parvenir au résultat souhaité.

9.5.5.1. Choix de l'APIdS

Comme on l'a vu précédemment, ces automates mettent en œuvre des moyens matériels et logiciels qui leur permettent de répondre de manière définie à l'apparition d'une défaillance.

Parmi ces moyens, on peut citer :

- une structure au moins redondante des voies de traitement du signal ou autres dispositions donnant une garantie au moins équivalente ;
- des autotests destinés à vérifier l'absence de défauts latents ;
- une exécution contrôlée des logiciels systèmes implantés dans l'APIdS ;
- des logiciels applicatifs validés (blocs fonctions) ;
- la validation des APIdS par un organisme compétent.

Rappelons que des organismes compétents européens (BIA, BG, TÜV...) valident suivant une démarche volontaire des APIdS en fonction de différents référentiels issus :

- d'une norme européenne harmonisée : ISO 13849-1 ;
- de normes internationales de la CEI (Commission électrotechnique internationale) : la CEI 61508 et la CEI 62061 (encore à l'état de projet) ;
- d'une norme nationale, par exemple la VDE 801 pour l'Allemagne.

Il faut toutefois remarquer qu'il n'existe pas de norme spécifique APIdS, contrairement aux normes API, qui permettent d'avoir un avis de conformité sur ce produit.

À ce jour, un APIdS, composant matériel sans son logiciel applicatif, n'est pas considéré au sens réglementaire comme un composant de sécurité pouvant être mis isolément sur le marché. Les certificats délivrés pour certains APIdS n'étant pas des attestations d'examen CE de type (non listés à l'annexe IV de la directive « Machines »), on peut tout au plus en déduire une présomption d'aptitude à gérer des fonctions de sécurité. Cette présomption sera d'autant plus forte si l'organisme est reconnu pour la qualité de ses expertises dans ce domaine.

9.5.5.2. Aspect logiciel

Un APIdS sans son logiciel applicatif n'a aucune fonction définie. C'est uniquement lorsqu'il exécute un logiciel applicatif spécifique qu'il devient apte à gérer une ou plusieurs fonction(s) de sécurité d'une application industrielle. Cette propriété justifie l'intérêt des APIdS, car il devient ainsi possible avec un seul type de composant matériel et divers logiciels applicatifs de réaliser l'ensemble des fonctions de sécurité nécessitées par la diversité des applications en automatisme. De plus, la possibilité de modifier le logiciel permet une évolution de l'application, comme la gestion des zones de protection évolutives dans le temps.

Rappelons que le logiciel applicatif est le logiciel développé avec un langage propre à chaque APIdS pour gérer une application.

Cas particulier : pour les applications de type presse ou machine à bois, pour lesquelles le fonctionnel de la machine a un rôle déterminant sur la sécurité, le logiciel applicatif inclura fonctionnel et gestion des sécurités.

Un APIdS supporte deux types de logiciel :

- Le logiciel système ou d'exploitation qui a en charge la gestion des fonctionnalités internes propres à l'automate. Réalisé par le concepteur, ce logiciel intégré au composant automate bénéficie de la validation par un organisme compétent généralement pour l'APIdS. Ce logiciel n'est pas accessible aux utilisateurs et ne doit pas avoir d'incidence sur le logiciel applicatif.
- Le logiciel applicatif qui est de la responsabilité de son concepteur à savoir l'utilisateur, a pour mission de gérer les fonctions de sécurité. C'est donc de lui que dépendra le niveau de performance de l'application. On peut en déduire que le logiciel applicatif est le point faible d'une application intégrant un APIdS, car il ne bénéficie pas des mêmes garanties que le logiciel système.

Les **risques liés aux applications logicielles** sont induits, soit par des erreurs survenues lors du processus de conception, soit par la technologie logicielle adoptée.

S'agissant du processus de conception :

Pour fixer les idées et caractériser l'état de l'art actuel, la densité de fautes créées au cours du processus de développement est de l'ordre de 10 à 200 par millier de lignes de code exécutable, et la densité de fautes résiduelles en opération est de 0,01 à 10 par millier de lignes. Cette large variation dans ces valeurs accompagne des variations tout aussi larges en termes d'effort consacré au développement depuis une fourchette de 0,1 à 0,5 personne-année pour les valeurs supérieures relatives à des logiciels de grande taille (de quelques centaines de milliers à quelques millions de lignes de code) pour des applications critiques en termes économiques, à une fourchette de 5 à 10 personnes-années pour les valeurs inférieures des densités de fautes relatives à des logiciels de taille beaucoup plus modeste (quelques milliers ou dizaines de milliers de lignes de code) pour des applications critiques en termes de sécurité des personnes.

La réduction du nombre de fautes créées passe par l'amélioration du processus de développement notamment les activités de vérification. Ci-dessous sont citées les étapes nécessaires à la validation d'un logiciel applicatif.

- a) S'approprier les moyens mis en œuvre par le développeur pour atteindre l'objectif de sécurité revendiqué en s'appuyant sur :

- l'existence de prescriptions fonctionnelles de la machine (exigences normatives, de sécurité, de contrôles...);
- la façon dont ces prescriptions ont été mises en œuvre;
- les contrôles et évaluations réalisés (autocertification ou certification par un organisme compétent);
- l'existence de documents permettant une exploitation conforme aux spécifications d'origine.

b) Vérifier de façon purement formelle que le logiciel est bien écrit :

- modularité,
- hiérarchisation des modules,
- nombre d'instructions par module,
- nombre d'entrées/sorties des modules,
- affectation des entrées et des sorties,
- commentaires,
- ...

En fait, à partir d'outils spécifiques on doit savoir si le logiciel a été correctement écrit pour qu'il soit lisible, maintenable et testable. Ce critère est nécessaire mais n'est pas suffisant pour valider un logiciel, car on ne sait pas encore à ce stade ce qu'il exécute réellement.

c) Vérifier que le logiciel est conforme aux spécifications définies dans le cahier des charges en stimulant l'APIdS afin de vérifier que sa réaction est conforme à celle spécifiée, et cela dans toutes les configurations possibles d'utilisation.

En théorie, il faut vérifier la réponse de l'APIdS avec son logiciel applicatif pour chaque séquence d'entrée.

En réalité, on se rend compte rapidement qu'un test exhaustif devient irréalisable si le nombre de fonctions ou de séquences est important. Il convient alors d'utiliser des méthodes spécifiques adaptées aux logiciels pour assurer un niveau de confiance raisonnable quant à la conformité du cahier des charges. Parmi celles-ci on peut citer :

- l'amélioration du processus de développement en renforçant les vérifications lors de chaque étape de la création du logiciel;
- l'utilisation de générateurs automatiques pour produire le code source à portée des spécifications;
- le recours à des approches mathématiquement formelles qui permettent de réduire le nombre de fautes créées et résiduelles.

Malgré ces multiples précautions, il faut avoir conscience que la taille et la complexité des logiciels rendent utopique de vouloir par construction

ou par contrôle en fin de développement, éviter toutes les fautes contenues dans un logiciel. Force est de constater, pour le logiciel, qu'il n'existe pas de modèle de fautes et il est peu probable qu'il en existe un jour.

Pour cette raison, une démarche de sûreté de fonctionnement du logiciel doit reposer sur l'utilisation combinée de différentes techniques complémentaires. Il est nécessaire de mettre en place tout ce qui permettra de tolérer la présence de fautes, tout en garantissant l'absence d'événements aux conséquences graves.

Pour conclure sur le logiciel applicatif, nous avons abordé les fautes induites lors du processus de conception. En revanche, nous n'avons pas traité celles attachées à la technologie logicielle employée, ce qui laisse supposer que ces technologies utilisées pour développer le programme-source (langage de programmation) ou son modèle (langage de modélisation) ont un impact négligeable sur la présence de fautes, et donc sur la correction des programmes. Or, il a été démontré que certaines classes de fautes sont inhérentes aux technologies utilisées. Bien qu'ayant son importance, cette source de fautes ne sera pas abordée car l'utilisateur (créateur du logiciel applicatif) n'a aucune prise sur les outils logiciels.

d) Vérifier la pérennité de la solution retenue :

Les étapes précédentes franchies, il conviendra de mettre en place une procédure obligatoire afin de garantir que les modifications du programme seront faites dans le respect des règles prévues à cet effet. Chaque modification doit notamment être validée et inscrite dans un processus de traçabilité, ce qui limite la flexibilité et la souplesse reconnue à un APIdS.

9.5.5.3. Aspect intégration dans l'équipement

Cet aspect ne sera que brièvement abordé car il ne diffère que très peu des applications à base de logique câblée dont on maîtrise assez bien la mise en œuvre et la validation. Il faut toutefois signaler que cette mise en œuvre n'est pas commune à tous les APIdS et que chaque fabricant se doit de mettre à disposition un guide d'utilisation permettant un bon usage des entrées/sorties de l'APIdS en fonction du niveau de performance revendiqué.

Partant d'un APIdS avec son logiciel applicatif validé, le constructeur ou l'intégrateur doit le connecter à sa machine de façon sûre.

Pour cela, il doit :

- a) Choisir des capteurs et des actionneurs compatibles avec le niveau de sécurité attendu et le logiciel applicatif mis en œuvre dans l'APIdS. Ils seront soit autocontrôlés, soit à sécurité intrinsèque, soit doublés selon le type de capteurs/actionneurs retenus et le niveau de performance revendiqué.
- b) Réaliser le câblage entre les différents capteurs/actionneurs et les entrées/sorties de l'APIdS comme conseillé par le fabricant de l'APIdS et suivant le type de carte d'entrées/sorties utilisé.
- c) Valider la réalisation globale :
 - vérifier que toutes les fonctions prévues répondent au cahier des charges ;
 - injecter s'il y a lieu des fautes sur les capteurs et actionneurs de la machine ainsi que sur le câblage de ceux-ci et s'assurer à chaque fois du bon comportement de la machine.
- d) Établir la notice d'utilisation et de dépannage de la machine ainsi que les procédures de contrôle à mettre en place tout au long de son cycle d'utilisation pour en assurer sa pérennité.

9.5.6. Classement des applications gérées par APIdS

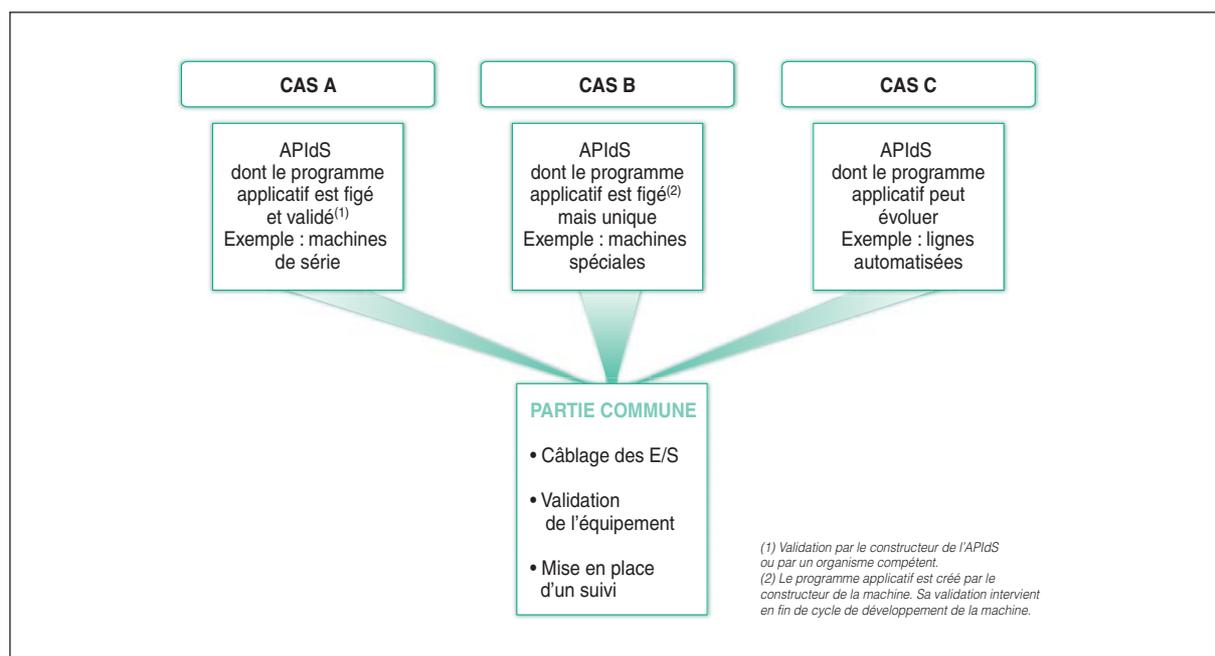
Le synoptique suivant propose une classification des diverses applications gérées par APIdS selon trois familles.

Première famille (cas A)

Elle concerne des applications simples de type machines dédiées à un usage spécifique telles que presses à emboutir, presses plieuses, cisailles, massicots, machines à bois..., dont les modes de marche sont définis dans le cahier des charges. Dans ce cas, il est tout à fait possible de réaliser un module logiciel applicatif totalement verrouillé et de ce fait inaccessible à l'utilisateur pour modification. Pour cette famille d'application, l'APIdS devient l'équivalent d'un bloc logique, les paramètres internes étant fixés dès la conception ainsi que l'affectation des entrées/sorties. Ainsi, l'intégrateur n'a plus qu'à câbler l'APIdS à sa machine en respectant le plan de câblage fourni respectant le plan de câblage fourni avec le logiciel applicatif. Il lui restera toutefois à contrôler par un test fonctionnel la bonne réalisation du câblage. Le concepteur du logiciel applicatif devra lui fournir les tests à effectuer pour l'aider à réaliser cette vérification.

On retrouve ainsi la philosophie des blocs logiques de sécurité pour lesquels l'intégrateur a pour seule initiative la réalisation du branchement et le contrôle de la bonne mise en œuvre sans se préoccuper des problèmes liés à la technique logicielle.

Bien entendu, le logiciel applicatif devra être verrouillé de façon à ce qu'il ne puisse plus être modifié par l'utilisateur et il devra comporter une signature garantissant sa pérennité tout au long de son utilisation.



Classement des applications gérées par APIdS en machinerie

Quelques constructeurs (Pilz, Siemens) proposent déjà des logiciels applicatifs validés.

Pour les machines à risques élevés listées à l'annexe IV de la directive « Machines » sur lesquelles des circuits de commande sûrs de catégorie 4 selon la norme ISO 13849-1 sont couramment requis au moins pour certaines fonctions, les constructeurs et les organismes notifiés n'accepteront sous leur responsabilité les APIdS que s'ils ont été reconnus d'un niveau équivalent avec leur applicatif par un organisme compétent¹³.

Pour des machines à risques élevés, il nous semble judicieux de confier la validation de l'ensemble de l'application à un organisme reconnu pour ses compétences en la matière.

Pour des machines à faibles risques, le constructeur pourra autocertifier son produit directement à condition de respecter les étapes énoncées ci-dessus. S'il n'en a pas les capacités, il devra utiliser des technologies éprouvées et connues ou faire appel à un organisme reconnu.

On peut remarquer dans ce type d'application où le programme est verrouillé, que l'utilisateur final n'a en aucun cas la possibilité d'intervenir sur le programme applicatif et donc sur la gestion des sécurités. Seul les paramètres de la machine (sans incidence sur la sécurité) lui sont accessibles. Pour assurer la pérennité des fonctions de sécurité, toute modification du processus de travail ou tout dépannage nécessitant une modification du programme devra faire l'objet d'une demande d'intervention auprès de l'intégrateur, charge à ce dernier de faire le nécessaire et de revalider l'équipement.

Deuxième famille (cas B)

Elle rassemble l'ensemble des machines atypiques développées soit unitairement, soit en série limitée. Contrairement au cas A, ces applications possèdent des logiciels applicatifs non standards, ce qui oblige l'utilisateur ou l'intégrateur à développer un logiciel applicatif spécifique à chaque machine à défaut de modules logiciels standards disponibles sur catalogue. De ce fait, il devient nécessaire de respecter les règles de conception précédemment énoncées d'où la nécessité :

- de disposer d'un personnel hautement qualifié et formé aux techniques de programmation/vérification ;
- de se doter d'un atelier logiciel performant ;
- de maîtriser tout le cycle de conception/développement.

Compte tenu de ces obligations, la réalisation de tests logiciels n'est accessible qu'à des structures capables d'assumer ces contraintes.

Troisième famille (cas C)

Elle se distingue des deux précédentes par le fait que le logiciel applicatif de l'APIdS gérant les fonctions de sécurité doit pouvoir être facilement adapté aux évolutions d'une production automatisée rencontrées par exemple dans l'industrie automobile, alimentaire ou la fabrication de produits en béton dans le bâtiment et les travaux publics. Cette obligation contraint l'intégrateur à fournir un système ouvert ne lui permettant pas de garantir une sécurité pérenne, contrairement aux cas A et B où le logiciel applicatif gérant les fonctions de sécurité est validé et verrouillé pour l'application.

Cette grande souplesse de modification du programme utilisateur pose des difficultés quant à la gestion et au maintien de la sécurité après une modification. En effet, de la même façon que chaque application nécessite une conception et une validation qui lui est propre, chaque modification apportée doit aussi être répertoriée et validée. Ceci demande un personnel hautement qualifié en programmation et l'existence de procédures de modifications à mettre en œuvre et à respecter.

9.6. Systèmes de commande hydraulique et pneumatique

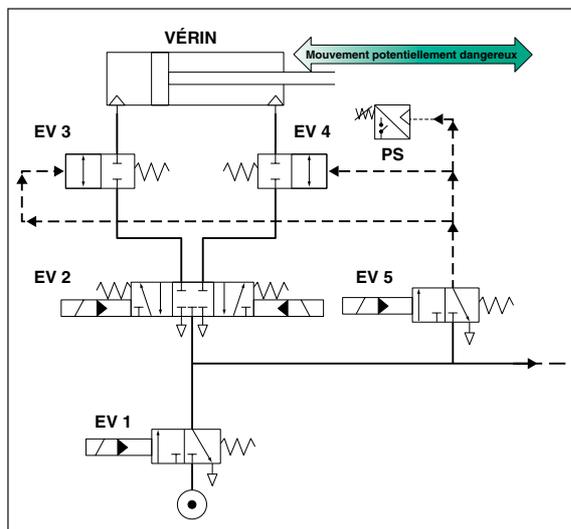
Les exigences générales auxquelles les systèmes de transmissions hydrauliques et pneumatiques doivent satisfaire sont détaillées respectivement dans les normes NF EN 982 et NF EN 983.

Le fluide fait également partie du système de commande hydraulique ou pneumatique. La nature et l'état du fluide sont des paramètres d'une grande importance. Une fois le fluide approprié choisi, il est particulièrement important de veiller à une filtration suffisante de celui-ci pendant le fonctionnement ; pour ce faire, on respectera les directives du fabricant des actionneurs (clapets, distributeurs, etc.). Les cinq catégories (B, 1, 2, 3 et 4) définies dans la norme NF EN 954-1 s'appliquent aux parties rela-

13. On considérera comme organisme compétent un organisme capable à la fois de tester le comportement des matériels par rapport aux perturbations environnementales et d'analyser la conception des logiciels du circuit de commande. Il s'agira par exemple d'un organisme déjà notifié dans le domaine des machines concernées ou dans le domaine des composants de sécurité.

tives à la sécurité de tous les types de systèmes de commande, donc également aux systèmes hydraulique et pneumatique.

À titre d'exemple, une partie relative à la sécurité d'un système de commande pneumatique de catégorie 3 selon la norme NF EN 954-1 est illustrée par la figure¹⁴ ci-dessous [9.6] et [9.7].



Commentaires

Le mouvement potentiellement dangereux est toujours commandé par deux distributeurs (EV2 et EV3 ou EV2 et EV4). La défaillance d'un distributeur ne conduit pas à la perte de la fonction de sécurité. Le pressostat PS permet de contrôler le bon fonctionnement de l'électrodistributeur EV5 qui permet le pilotage pneumatique de EV3 et EV4.

9.7. Documents de référence

- NF EN 292-1 Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie.
- NF EN 292-2 Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 2 : Principes et spécifications techniques.
- NF EN 418 Sécurité des machines - Équipement d'arrêt d'urgence, aspects fonctionnels. Principes de conception.
- NF EN 954-1 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception.

- NF EN 982 Sécurité des machines - Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques.

- Hydraulique

- NF EN 983 Sécurité des machines - Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques.

- Pneumatique

- NF EN 1037 Sécurité des machines - Prévention de la mise en marche intempestive (consignation et autres mesures).

- NF EN 1050 Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque.

- NF EN 50205 Relais de tout ou rien à contacts guidés (liés).

- NF EN 60204-1 Sécurité des machines - Équipement électrique des machines - Première partie : prescriptions générales.

- L'intégration de la sécurité - Conception d'un automatisme [4.11].

- Directive 98/37/CE du 22 juin 1998 [5.1].

- Concevoir une machine sûre - Enseigner la prévention des risques professionnels [9.1].

- Conception des automatismes pneumatiques [9.2].

- La sûreté des machines et installations automatisées [9.3].

- Armoires électriques. Guide pratique destiné à améliorer la sécurité d'exploitation des armoires électriques de tensions inférieures à 1000 V [9.4].

- Analyse des automates dédiés à la sécurité. Éléments méthodologiques [9.5].

- *Categories for safety-related control systems in accordance with EN 954-1* - BIA Report 6/97^e, HVBG, Sankt Augustin, 09/99, 216 p. [9.6].

- Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité [9.7].

- Barrière immatérielle. Enchaînement des cycles par désoccultation [9.8].

- Systèmes de commande. Quelles normes pour leur conception ? [9.9].

14. Ces exemples de circuit ne contiennent que les éléments nécessaires à leur compréhension.

Annexes

1. Normes citées dans le document
2. Références bibliographiques

CONCEVOIR DES MACHINES SÛRES... ...OU METTRE À NIVEAU SON PARC MACHINES

Tous les textes juridiques et techniques qui font référence en Europe

Pour vous permettre un accès pratique à cet ensemble de référence, l'AFNOR publie en collaboration avec l'UNM, un recueil en trois tomes

SÉCURITÉ DES MACHINES - CONCEPTION

Recueil 2000

3 volumes vendus ensemble :

volume 1 : 672 pages

volume 2 : 528 pages

volume 3 : 656 pages

Référence : 305 09 30

ISBN : 2-12-050930-1



La troisième édition de ce recueil consacré à la sécurité des machines dans le domaine de la conception poursuit un double objectif :
– permettre l'accès aux principales normes horizontales sur la sécurité des machines en disposant d'un outil de travail pratique,
– fournir un instrument important pour la démarche de l'évaluation des risques.

Cette nouvelle édition contient en particulier des normes récentes permettant de satisfaire aux exigences en matière d'ergonomie dans la conception des dispositifs de signalisation. Le thème des émissions, que ce soit dans le domaine du bruit ou des substances dangereuses, y est également traité.

Ce document de base pour la conception des machines s'adresse en premier lieu aux fabricants, mais également aux utilisateurs pour lesquels il sera un outil d'aide précieux pour appréhender le risque « machines ». Il constitue enfin un document indispensable aux rédacteurs et experts français investis dans l'élaboration des normes verticales par grand type de machines (normes dites « de type C »).

Pour acheter ce recueil et les normes suivantes, s'adresser à

AFNOR

11, avenue Francis de Pressensé

93571 SAINT-DENIS LA PLAINE CEDEX

Tél. 01 41 62 80 00 - Télécopie : 01 49 17 90 00

Internet : www.afnor.fr

Les normes sont susceptibles d'être révisées pour tenir compte de l'évolution de la technique. Penser à utiliser la dernière édition, le numéro de norme restant inchangé.

1. Normes citées dans le document

Référence	Indice de classement	Date	
NF EN 292 -1 (*)	E 09-001-1	12/1991	Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie.
NF EN 292 -2 (*)	E 09-001-2	06/1995	Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 2 : Principes et spécifications techniques.
NF EN 294	E 09-010	09/1992	Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs.
NF EN 349	E 09-011	09/1993	Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain.
NF EN 418	E 09-053-1	02/1993	Sécurité des machines - Équipement d'arrêt d'urgence, aspects fonctionnels - Principes de conception.
NF EN 574	E 09-037	04/1997	Sécurité des machines - Dispositifs de commande bimanuelle - Aspects fonctionnels - Principes de conception.
NF EN 811	E 09-012	12/1996	Sécurité des machines - Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres inférieurs.
NF EN 894-1	X 35-101-1	04/1997	Sécurité des machines - Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 1 : Principes généraux des interactions entre l'homme et les dispositifs de signalisation et organes de service.
NF EN 894-2	X35-101-2	04/1997	Sécurité des machines - Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 2 : Dispositifs de signalisation.
NF EN 894-3	X35-101-3	08/2000	Sécurité des machines - Exigences ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 3 : Organes de service.
NF EN 953	E 09-060	12/1997	Sécurité des machines - Protecteurs - Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles.
NF EN 954-1	E 09-025	02/1997	Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception.
NF EN 982	E 48-202	10/1996	Sécurité des machines - Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques - Hydraulique.
NF EN 983	E 49-202	10/1996	Sécurité des machines - Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques - Pneumatique.
NF EN 999	E 09-052	12/1998	Sécurité des machines - Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps.
NF EN 1037	E 09-053-2	03/1996	Sécurité des machines - Prévention de la mise en marche intempestive (consignation et autres mesures : remplace en partie XP E 09-053, juin 1989).

* Ces normes ont été remplacées respectivement par les normes NF EN 12100-1 et NF EN 12100-2.

Référence	Indice de classement	Date	
NF EN 1050	E 09-020	01/1997	Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque.
NF EN 1088	E 09-051	06/1996	Sécurité des machines - Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs - Principes de conception et de choix. (Remplace NF E 09-051, octobre 1988).
NF EN 1760-1	E 09-040	10/1997	Sécurité des machines - Dispositifs de protection sensibles à la pression - Partie 1 : Principes généraux de conception et d'essai des tapis et planchers sensibles à la pression.
NF EN 1760-2	E 09-041	10/2001	Sécurité des machines - Dispositifs de protection sensibles à la pression - Partie 2 : Principes généraux de conception et d'essai des bords et barres sensibles.
NF EN 1760-3	E 09-042	11/2004	Sécurité des machines - Dispositifs de protection sensibles à la pression - Partie 3 : Principes généraux de conception et d'essai des pare-chocs, plaques, câbles et dispositifs analogues sensibles à la pression.
ISO 11161		04/1994	Systèmes d'automatisation industrielle - Sécurité des systèmes de fabrication intégrés - Prescriptions fondamentales.
NF EN 12622	E 63-022	09/2001	Sécurité des machines-outils - Presses plieuses hydrauliques.
NF EN 13985	E 63-024	07/2003	Machines-outils - Sécurité - Cisailles guillotines.
NF EN 50205	C 45-330	12/2002	Relais de tout ou rien à contacts guidés (liés).
NF EN 60204-1	C 79-130	04/1998	Sécurité des machines - Équipement électrique des machines - Partie 1 : Prescriptions générales.
NF EN 60947-5-1 + amendements 1, 2 et 12	C 63-146	09/2004	Appareillage à basse tension - Cinquième partie : appareils et éléments de commutation pour circuits de commande - Section 1 : appareils électromécaniques pour circuits de commande.
NF EN 61496-1	C 79-151	08/2004	Sécurité des machines - Équipements de protection électrosensibles - Partie 1 : Prescriptions générales et essais.
CEI 61496-2		04/2006	Sécurité des machines - Équipement de protection électrosensible - Partie 2 : Prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD).
pr NF EN 61496-3	C 79-153	05/2006	Sécurité des machines - Équipements de protection électrosensibles - Partie 3 : Prescriptions particulières pour les équipements utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs sensibles aux réflexions diffuses (AOPDDR).

Légende :

NF EN + n° = norme européenne transposée comme norme nationale

EN + n° = norme européenne

CEI + n° = norme internationale dans un domaine électrique ou électronique

ISO + n° = norme internationale dans un domaine autre qu'électrique ou électronique.

pr NF EN = projet de norme européenne en cours d'élaboration.

2. Références bibliographiques

AVANT-PROPOS

1. Presses pour le travail à froid des métaux. Amélioration de la sécurité sur les presses en service dans le cadre de leur rénovation. Spécifications techniques à l'usage des préventeurs et des rénovateurs. INRS, 1995, ED 782.
2. Presses pour le travail à froid des métaux. Amélioration de la sécurité sur les presses en service dans le cadre de leur rénovation. Guide à l'usage des utilisateurs et des préventeurs. INRS, 1995, ED 783.
3. Brochures et fiches pratiques concernant les machines à bois.
NS 205 Recueil des protecteurs pour machines à bois conventionnelles usagées ou en service.
ED 92 Toupies à axe vertical. Choix des outils « anti-rejet ».
ED 99 Toupies verticales simples. Equipements de sécurité.
ED 101 Couteaux diviseurs pour scies circulaires.
ED 113 Les machines d'occasion et les accessoires de levage (ce document est applicable aussi à d'autres machines d'occasion que les machines à bois).

CHAPITRE 2

- 2.1. Prévention des risques mécaniques, solutions pratiques. AISS, 1994, ISBN 92-843-2080-1.

CHAPITRE 4

- 4.1. Dispositifs de verrouillage « intrinsèquement sûrs » pour protecteur fixe et protecteur mobile actionné occasionnellement. Fiche prévention. Dijon, CRAM Bourgogne-Franche-Comté, 1991, 91-1.
- 4.2. Dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage à transfert de clé(s). Fiche prévention. Dijon, CRAM Bourgogne et Franche-Comté, 1995, 94-2.
- 4.3. Dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage à transfert de clé. Description et principes d'utilisation. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1997, 121, ND 1549.

- 4.4. Interrupteurs de position à manœuvre positive d'ouverture. Choix et montage. Fiche pratique de sécurité. Paris, INRS, 2004, ED 15.
- 4.5. Interrupteurs de position électromécaniques à clé. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1992, 149, ND 1902.
- 4.6. Dispositif de verrouillage électrique à un interrupteur. Lyon, CRAM Rhône-Alpes, 5/95, D 34-201.
- 4.7. Détecteurs de position magnétiques à lames souples. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1997, 163, ND 2021.
- 4.8. Dispositifs de verrouillage « à sécurité positive » (autosurveillance) pour protecteur mobile actionné fréquemment. Fiche prévention. Dijon, CRAM Bourgogne-Franche-Comté, 1991, 91-2.
- 4.9. Détecteurs de proximité inductifs. Etude de dispositifs d'usage général. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1997, 131, ND 1676.
- 4.10. Dispositif de verrouillage électrique à deux interrupteurs. Lyon, CRAM Rhône-Alpes, 5/95, D 34-202.
- 4.11. L'intégration de la sécurité. Conception d'un automatisme. *Travail & Sécurité*. Paris, INRS, 1995, 536, pp. 309 à 315.
- 4.12. Dispositif de verrouillage à deux détecteurs ou interrupteurs avec autosurveillance par contrôle de la discordance. Lyon, CRAM Rhône-Alpes, 3/95, D 34-203.
- 4.13. Dispositifs d'interverrouillage avec ou sans dispositifs de déverrouillage différé pour protecteur mobile. Fiche prévention. Dijon, CRAM Bourgogne-Franche-Comté, 1992, 91-6.
- 4.14. Contrôleurs de vitesse de rotation. Étude de dispositifs de détection d'arrêt. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1995, 161, ND 2006.

CHAPITRE 5

- 5.1. Directive 98/37/CE du 22 juin 1998 (JO n° L 207 du 23 juillet 1998).
- 5.2. Installation et mise en service des pare-chocs sensibles à la pression. *Travail & sécurité*. Paris, INRS, 1997, 556, pp. 34 à 37.
- 5.3. Véhicules à guidage automatique (VGA). Dispositifs de protection sensibles à la pression. Normes et réglementation, conception, critères de choix. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 2000, 180, ND 2130.

- 5.4. Installation et mise en service. Tapis et planchers sensibles : les bonnes conditions. *Travail & Sécurité*. Paris, INRS, 1995, 536, pp. 316 à 319.

CHAPITRE 6

- 6.1. Dispositifs de commande bimanuelle. Fiche pratique de sécurité. Paris, INRS, 2001, ED 97.

CHAPITRE 7

- 7.1. Performances d'arrêt d'urgence des robots manipulateurs industriels. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1991, 143, ND 1826.

CHAPITRE 8

- 8.1. Consignations et déconsignations. Paris, INRS, 1993, ED 754.

CHAPITRE 9

- 9.1. Concevoir une machine sûre. Enseigner la prévention des risques professionnels. Paris, INRS, 1994, ED 1520.
9.2. Conception des automatismes pneumatiques. Paris, INRS, 1996, ED 736.

- 9.3. La sûreté des machines et installations automatisées. SADAVE, CITEF, 1992.

- 9.4. Armoires électriques. Guide pratique destiné à améliorer la sécurité d'exploitation des armoires et coffrets électriques de tensions inférieures à 1000 V. Fiche pratique de sécurité. Paris, INRS, 1993, ED 46.

- 9.5. Analyse des automates dédiés à la sécurité. Éléments méthodologiques. *Cahiers de notes documentaires*. Paris, INRS, 1997, 166, ND 2039.

- 9.6. *Categories for safety-related control systems in accordance with EN 954-1*. BIA Report 6/97^e, HVBG, Sankt Augustin, 09/99, 216 p.

- 9.7. Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité. Paris, INRS, 2003, ED 913.

- 9.8. Barrière immatérielle. Enchaînement des cycles par désoccultation. Fiche pratique de sécurité. Paris, INRS, 2003, ED 114.

- 9.9. Systèmes de commande. Quelles normes pour leur conception ? Fiche pratique de sécurité. Paris, INRS, 2005, ED 120.

Sécurité des machines et des équipements de travail

Moyens de protection contre les risques mécaniques

Nous remercions nos lecteurs de nous faire part de leurs suggestions, modifications, compléments* et autres remarques concernant ce document.

NOM :

Prénom :

Fonction :

Société :

Adresse :
(précisez BP et cedex)

Code postal :

Ville :

Téléphone :

Télécopie :

Objet de la demande : -----

À compléter et à adresser à :

INRS - DÉPARTEMENT ECT
30, rue Olivier-Noyer
75680 PARIS cedex 14

Téléphone : 01 40 44 30 00 – Télécopie : 01 40 44 30 75



* Merci de nous faire parvenir une documentation complète sur les produits pour lesquels vous souhaitez être cité dans ce document.

COMPOGRAVURE
IMPRESSION, BROCHAGE



42540 ST-JUST-LA-PENDUE
DÉCEMBRE 2006
DÉPÔT LÉGAL 2006 N° 3035

IMPRIMÉ EN FRANCE

Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CRAM ou CGSS.

Services prévention des CRAM

ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
BP 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
www.cram-alsace-moselle.fr

(57 Moselle)

3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)

11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 89 21 62 20
fax 03 89 21 62 21
www.cram-alsace-moselle.fr

AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,
64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 00
fax 05 56 39 55 93
documentation.prevention@cramaquitaine.fr

AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,
63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 22
fax 04 73 42 70 15
preven.cram@wanadoo.fr

BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura,
58 Nièvre, 70 Haute-Saône,
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,
90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord
38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 03 80 70 51 22
fax 03 80 70 51 73
prevention@cram-bfc.fr

BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
www.cram-bretagne.fr

CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintrailles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 81 50 00
fax 02 38 79 70 29
prev@cram-centre.fr

CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
4 rue de la Reynie
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 79 00 64
doc.tapr@cram-centreouest.fr

ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,
78 Yvelines, 91 Essonne,
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atpm@cramif.cnamts.fr

LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@cram-lr.fr

MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 05 62 14 29 30
fax 05 62 14 26 92
doc.prev@cram-mp.fr

NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,
55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
service.prevention@cram-nordest.fr

NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 63 40
bedprevention@cram-nordpicardie.fr
www.cram-nordpicardie.fr

NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,
61 Orne, 76 Seine-Maritime)
avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 21
fax 02 35 03 58 29
catherine.lefebvre@cram-normandie.fr
dominique.morice@cram-normandie.fr

PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 0 821 100 110
fax 02 51 82 31 62
prevention@cram-pl.fr

RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme,
38 Isère, 42 Loire, 69 Rhône,
73 Savoie, 74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@cramra.fr

SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud,
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@cram-sudest.fr

Services prévention des CGSS

GUADELOUPE

Immeuble CGRR
Rue Paul-Lacavé
97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00
fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

GUYANE

Espace Turenne Radamonthe
Route de Raban, BP 7015
97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04
fax 05 94 29 83 01

LA RÉUNION

4 boulevard Doret
97405 Saint-Denis cedex
tél. 02 62 90 47 00
fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes
97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31
05 96 66 51 32
fax 05 96 51 81 54
prevention972@cgss-martinique.fr

Ce document traite des moyens de protection contre les risques mécaniques. Il a pour objet de faciliter leur choix. Il présente des exemples de moyens de protection connus à ce jour, dont on peut s'inspirer pour réduire les risques mécaniques engendrés par les machines. Pour le choix final du moyen de protection, il est recommandé de s'appuyer sur les documents de référence cités en fin de chapitre.

Les deux premiers chapitres de ce recueil reprennent les principales définitions normalisées et résumant la démarche à suivre pour le choix d'un moyen de protection. Pour chacun d'entre eux, les points suivants sont abordés : les définitions normalisées spécifiques, l'aspect réglementaire, leur principe, les facteurs à prendre en compte pour leur choix et leur mise en œuvre et les principaux documents de référence.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00
Fax 01 40 44 30 99 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

Édition INRS ED 807

3^e édition • décembre 2006 • 4 000 ex. • ISBN 2-7389-1413-6

