

→ J. Marsot, service Machines et Dispositifs de Protection, centre de recherche de l'INRS, Nancy

Nacelles élévatrices de personnel

Etude des schémas de commande

CRADLE-TYPE PERSONNEL LIFTING DEVICES STUDY OF CONTROL SYSTEMS

The purpose of this study was to assess the safety level of control circuits on cradle-type personnel lifting devices and, if necessary, propose means of improving their safety in use. It was carried out at the request of the Paris Region Health Insurance Fund (CRAMIF), following accidents in several regions in which the control circuits were instrumental.

In the light of the assessment of the risks involved in using these machines, the solution would appear to lie in control circuit structure safety rather than in selecting individual components for their safety. Analysis of 18 control diagrams for lifting devices put onto the market between 1995 and 1996 showed that this recommendation was not fulfilled. Note that this does not reflect in any way on the safety of cradle lifting devices certified since January 11th, 1997.

Two principles are proposed: the redundant structure, and verifying the integrity of all the safety functions before the control circuit may authorise extension of the cradle lift. This ensures that all the safety conditions are met before the operator is placed in a potentially dangerous situation and also that a single fault in those parts of the control circuit does not cause loss of safety functions.

● personnel lifting device ● cradle ● control circuit ● safety device

Cette étude avait pour objectif d'évaluer le niveau de sécurité du circuit de commande des nacelles élévatrices de personnel et si besoin est, de proposer des solutions pour améliorer leur sécurité d'utilisation. Elle répondait à une demande de la Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile de France (CRAMIF) suite à des accidents rencontrés dans plusieurs régions et mettant directement en cause le circuit de commande de ces machines. L'estimation des risques présentés par l'utilisation de ces machines conduit à préconiser une sécurité assurée par la structure du circuit de commande et non par la sélection des composants le constituant. L'analyse de 18 schémas de commande appartenant à des nacelles commercialisées entre 1995 et 1996 montre que cette préconisation n'était pas satisfaite. Précisons que cette constatation ne préjuge bien entendu pas du niveau de sécurité des circuits de commande des nacelles élévatrices qui ont été certifiées depuis le 1^{er} janvier 1997.

Deux principes sont proposés : la structure redondante et la vérification de l'intégrité de l'ensemble des fonctions de sécurité avant d'autoriser, par le circuit de commande, le déploiement de la structure extensible. Ils permettront, d'une part de s'assurer que toutes les conditions de sécurité sont satisfaites avant que l'opérateur ne se trouve en situation potentiellement dangereuse, et d'autre part, d'éviter qu'un défaut unique dans ces parties du circuit de commande n'entraîne la perte des fonctions de sécurité.

● sécurité ● machine ● commande ● nacelle élévatrice

Les nacelles élévatrices de personnel entrent dans le champ d'application de la directive européenne « Machines » 89/392/CEE modifiée [1] dont la date d'application, pour ce type de machine était fixée au 1^{er} janvier 1997.

Or, les contacts pris par la CRAMIF dès 1995 avec certains constructeurs montrent que ceux-ci étaient très loin d'avoir pris connaissance des exigences essentielles de sécurité qui allaient être applicables à la conception des circuits de commande de ces nacelles [2]. En particulier, l'exigence suivante : « un défaut affectant la logique du circuit de commande, ou une défaillance ou une détérioration du circuit de commande ne doit pas créer de situations dangereuses (Directive 89/392/CEE, § 1.2.7) » ne semblait ne pas encore avoir été prise en compte pour la réalisation des circuits de commande.

Il n'était pas envisageable, dans le cadre de cette étude, d'analyser de façon

exhaustive le circuit de commande de tous les types d'appareils de levage de personnes (hayons élévateurs, nacelles se déplaçant le long de mâts, nacelles suspendues, etc.). En conséquence cette étude a été centrée sur les appareils relevant du projet de norme européen Pr EN 280 [3] à savoir les plates-formes élévatrices mobiles de personnel (1).

Ne sont également pas pris en considération dans cette étude :

- les critères de choix et les conseils d'utilisation d'une PEMP, qui font déjà l'objet de multiples documents [4 à 6],

- la défaillance ou le dysfonctionnement des actionneurs, des éléments de puissance et des éléments de transmission. Ils ne font pas partie du système de commande d'une machine.

(1) Cf. Glossaire page suivante.

DÉFINITIONS (PR EN 280)

Plate-forme élévatrice mobile de personnel

Elle est constituée au minimum par une plate-forme de travail, une structure extensible et un châssis (fig. 1).

Plate-forme de travail

Elle est constituée soit d'un plateau entouré d'un garde-corps, soit d'une nacelle qui peut être déplacée avec sa charge à la position permettant d'effectuer des travaux de montage, réparation, inspection ou autres travaux similaires.

Structure extensible

Cette structure, solidaire du châssis, supporte la plate-forme de travail, elle permet de la mouvoir jusqu'à la position voulue. Il peut s'agir, par exemple, d'une flèche ou d'une échelle simple, télescopique ou articulée, ou d'une structure à ciseaux, ou de toute combinaison de celles-ci avec ou sans possibilité d'orientation par rapport à la base (fig. 1).

Châssis

Le châssis est la base de la PEMP. Il peut être remorqué, poussé, automoteur, etc.

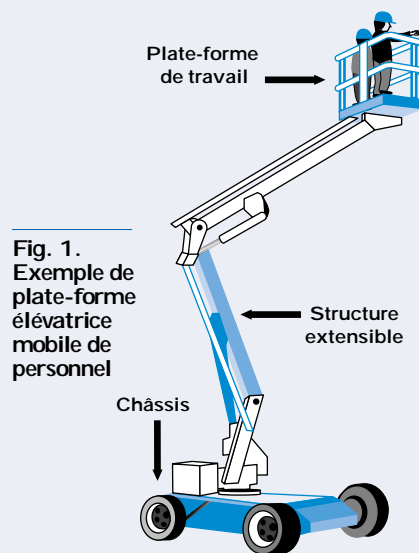


Fig. 1. Exemple de plate-forme élévatrice mobile de personnel

des circuits de commande des PEMP disponibles sur le marché français entre 1995 et 1996.

Il est également important de noter que ces schémas appartiennent à des nacelles mises sur le marché avant le 1^{er} janvier 1997, donc non soumises à examen « CE » de type.

Enfin, la détermination des mesures de sécurité à mettre en œuvre lors de la conception des circuits de commande s'est déroulée selon la démarche itérative (fig. 2) proposée par la norme EN 954-1 [8].

Cette démarche doit être répétée autant de fois qu'il est possible de le faire afin d'éliminer les phénomènes dangereux par la mise en œuvre de mesures de sécurité adaptées compte tenu de l'état de la technique.

Dans l'esprit de la nouvelle approche, l'état de la technique est celui qui procure aux utilisateurs le niveau de sécurité le plus élevé que permettent d'atteindre les connaissances scientifiques, les possibilités techniques et les contraintes économiques du moment. Il n'est pas synonyme de ce qui est techniquement le plus souvent rencontré. Cela conduirait alors à un niveau de sécurité moindre que celui que l'on est en droit d'attendre. A l'inverse, l'état de la technique ne correspond pas à ce qu'il est possible de réaliser au mieux d'un point de vue technique.

1. Méthodologie

Dans un premier temps une recherche bibliographique a été réalisée. Elle avait pour objectifs principaux :

- la détermination des principales causes et conséquences des accidents survenus lors de l'utilisation d'appareil de levage de personnes. Celle-ci s'est effectuée essentiellement à partir de la base de données de l'INRS EPICEA.

- l'examen de textes réglementaires, normatifs et techniques relatifs aux PEMP : la directive « Machines », les normes et projets de normes relatifs à la sécurité des machines, les rapports d'étude, les cahiers des charges et les guides techniques relatifs aux PEMP et aux circuits de commande [1, 2, 3, 7 à 12].

Ensuite, différents fabricants et syndicats professionnels (MTPS, SIMMA, DLR) ont été sollicités afin qu'ils nous transmettent les schémas de commande des PEMP alors commercialisées en France. Cette consultation, qui a porté sur vingt-cinq fabricants, a permis d'obtenir 18 schémas de commande appartenant aux différents groupes et types de PEMP.

Ces circuits de commande sont de deux

types : électromécanique (16) ou hydraulique (2).

Aucun schéma à base de logique programmée (automate programmable industriel) ne nous a été transmis. L'échantillon des schémas obtenus ne peut donc pas être considéré, de ce point de vue, comme complètement représentatif de l'ensemble

GLOSSAIRE

PEMP : est utilisé par souci de simplification pour « plates formes élévatriques mobiles de personnel » dans le texte

EPICEA : Etudes de prévention par l'information des comptes rendus d'enquêtes des accidents du travail

Fabricant : il s'agit du fabricant lui-même ou de son mandataire établi dans l'Espace Economique Européen

MTPS : Union des industries d'équipements pour la construction, les infrastructures et la métallurgie

SIMMA : Syndicat des Industries de Matériels de Manutention

DLR : Fédération nationale des distributeurs, loueurs et réparateurs de matériels

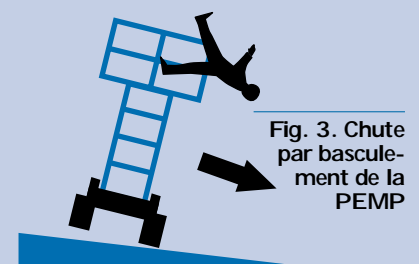
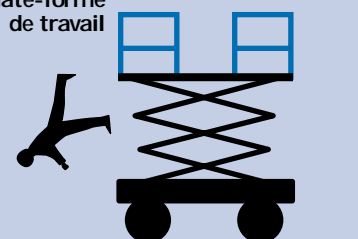


Fig. 3. Chute par basculement de la PEMP

Fig. 4. Chute depuis la plate-forme de travail



2. Identification des phénomènes dangereux et des risques

Il est important de différencier les concepts de phénomène dangereux et de risque

Le **phénomène dangereux** est de nature physique.

Il est inhérent à la machine ou au processus. Il est associé à de l'énergie.

Dans le cas des PEMP, il s'agit principalement de l'énergie potentielle liée à la hauteur d'élévation et de l'énergie cinétique liée au déplacement de la PEMP.

Le **risque** est en général associé aux effets pouvant être engendrés par le phénomène dangereux.

Définitions (NF EN 292-1 [9])

● Phénomène dangereux

Cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé.

● Risque

Combinaison de la probabilité et de la gravité d'une lésion ou d'une atteinte à la santé pouvant survenir dans une situation dangereuse.

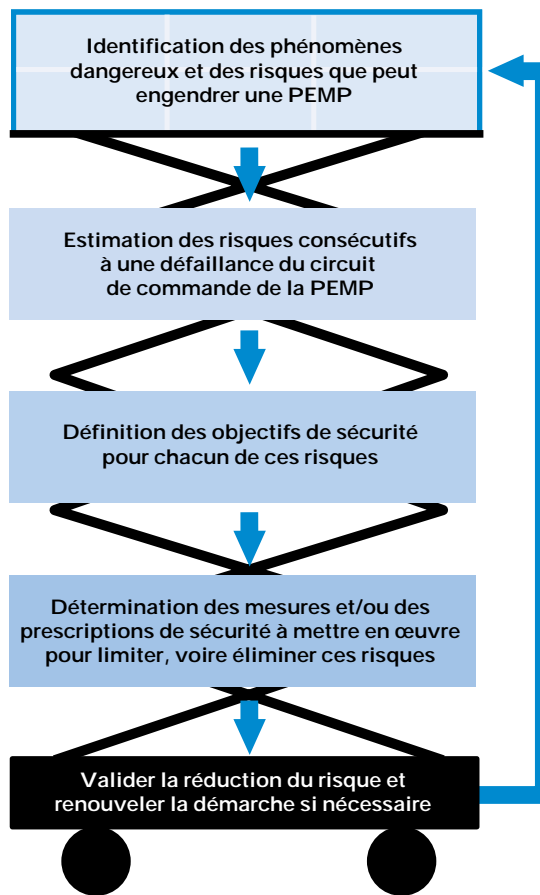


Fig. 2. Démarche itérative suivie

Les principaux risques qui ont été identifiés sont les suivants

a) Le risque de chute

La fonction d'une PEMP est l'élévation de personnel à plusieurs mètres ou dizaines de mètres de hauteur. Il existe donc soit un risque de chute par basculement de la PEMP (fig. 3), soit un risque de chute depuis la plate-forme de travail (fig. 4).

b) Les risques mécaniques liés au déplacement relatif de la PEMP par rapport à son environnement

Il existe un risque de choc, de coincement, d'écrasement si l'opérateur ou une partie de son corps se trouve entre la plate-forme et un obstacle extérieur proche (fig. 5). Ce peut être également un risque d'électrisation ou d'électrocution si l'obstacle est un conducteur électrique (fig. 6).

c) Les risques mécaniques liés au déplacement relatif des éléments mobiles de la PEMP

Toutes les PEMP possèdent une ou plusieurs structures extensibles. Il existe donc des zones avec des risques de coincement, de cisaillement, d'écrasement entre les différents éléments mobiles de ces structures (fig. 7).

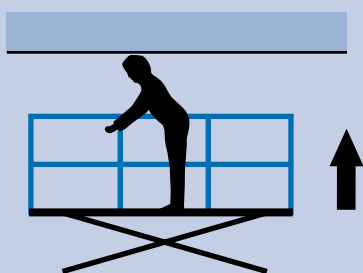


Fig. 5. Risque de choc, d'écrasement

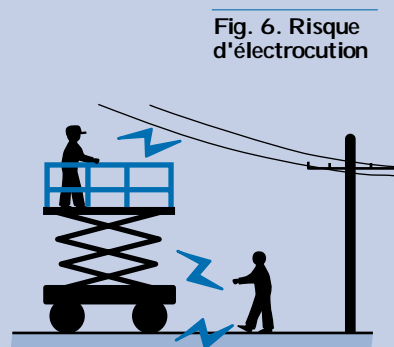


Fig. 6. Risque d'électrocution

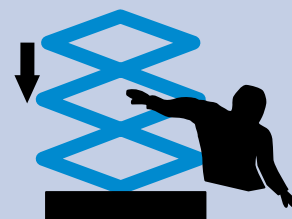


Fig. 7. Risque de coincement, d'écrasement

Cette identification des phénomènes dangereux a été validée par l'analyse de 35 comptes rendus d'accidents du travail (enregistrés entre 1984 et 1995 dans la base de données EPICEA) relatifs aux éleveurs de personnel. L'analyse de ces comptes rendus nous a également permis de recenser la ou les origines possibles de ces accidents (fig. 8).

3. Estimation du risque

Elle a été réalisée à partir de la combinaison des éléments suivants :

- **la gravité du dommage** : dans le cas de personnes, il s'agit soit de blessure légère, généralement réversible, soit de blessure grave, généralement irréversible (y compris le décès);
- **la probabilité d'occurrence** du dommage, qui peut être estimée à partir de la fréquence et/ou de la durée d'exposition de l'opérateur au phénomène dangereux, et de sa possibilité d'éviter ou de limiter le dommage.

Les résultats de cette estimation du risque sont résumés dans le [tableau I](#).

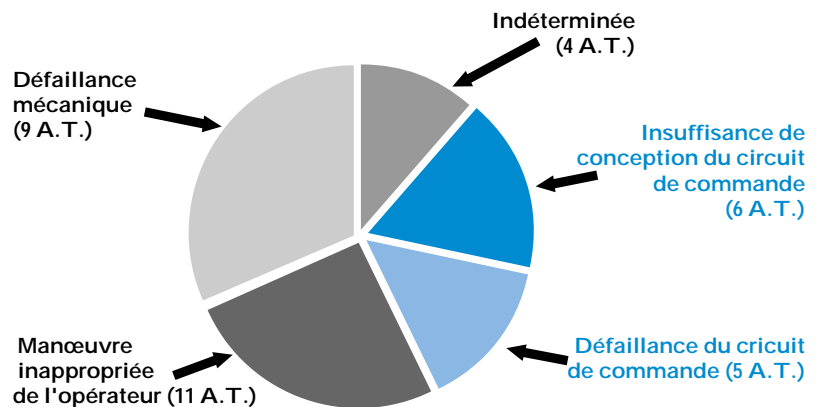


Fig. 8. Répartition des accidents du travail (AT) selon leur origine supposée

4. Objectifs de sécurité

L'objectif de sécurité retenu était de déterminer, au niveau du circuit de commande, les mesures permettant d'éviter des accidents tels que ceux relevés dans EPICEA et imputés en partie au circuit de commande.

Pour la détermination de ces mesures, il a été fait référence à des règles et/ou spécifications techniques de prévention classiques appliquées aux machines. Celles-ci sont notamment rappelées dans deux textes dont le respect, entre 1995 et 1996, période sur laquelle s'est déroulée cette étude, n'était pas encore réglementairement exigible. Ces textes sont les suivants :

- **la directive « Machines »**, et plus particulièrement l'exigence essentielle de sécurité, citée au § 1.2.7 de cette directive, pour l'ensemble du système de commande ;

- **la norme EN 954-1** ⁽¹⁾ pour les parties du système de commande relatives à la sécurité. Cette norme distingue différentes catégories. Celles-ci caractérisent la résistance aux défauts et le comportement sous défauts du système de commande. Pour une partie du système de commande relative à la sécurité, le choix de la catégorie est fonction de l'estimation du risque et de l'état de la technique.

En fonction de l'estimation du risque réalisée (tableau I), l'application du guide

TABLEAU I
ESTIMATION DU RISQUE

Risques de chute		Risques mécaniques	
Par basculement de la PEMP	Depuis la plate forme de travail (*)	Dus au déplacement de la PEMP par rapport à son environnement	Dus au déplacement des éléments mobiles de la PEMP
Gravité du dommage			
Lésion sérieuse (normalement irréversible) étant donné les hauteurs d'élévation permises et les niveaux d'énergie utilisés par les PEMP (sur les 11 accidents imputés au circuit de commande, 5 sont mortels(**))			
Durée d'exposition			
Continue (de par sa fonction une PEMP élève l'opérateur et le rapproche d'une structure extérieure)		Occasionnelle (opération de maintenance)	
Possibilité d'évitement			
Possible si l'opérateur est averti lorsqu'il se rapproche des limites d'utilisation permises et si les vitesses de déplacement sont faibles.	Possible par la mise en place de garde-corps, d'un moyen d'accès et d'un portillon adaptés, par l'utilisation d'un harnais de sécurité.	Possible si l'opérateur à une bonne visibilité sur sa trajectoire, si les vitesses de déplacement sont faibles et s'il existe un arrêt d'urgence.	Possible si l'opérateur à une bonne visibilité sur les zones dangereuses, si ces zones et la mise en mouvement de la PEMP sont signalées et s'il existe un arrêt d'urgence.

(*) Structure extensible déployée. Les chutes lors de l'accès à la plate forme de travail ne mettent généralement pas en cause le circuit de commande mais plutôt l'Ergonomie des moyens d'accès.

(**) La base de données EPICEA fait surtout ressortir les accidents graves, voire mortels.

(1) Cette norme qui a le statut d'une norme d'application (type B1) a été adoptée le 11/07/1996. Elle s'applique à toutes les machines relevant de la directive 89/392/CEE modifiée. L'utilisation de cette norme est également recommandée par la coordination européenne des organismes notifiés (compte rendu du 21/03/95 - CMB/M/9 "Lifting Persons Device").

de sélection des catégories (EN 954-1 - annexe B) conduit à préconiser :

- la **catégorie 1** pour les parties du système de commande destinées à éviter les risques dus au déplacement des éléments mobiles de la PEMP,
- la **catégorie 3** pour les parties du système de commande destinées à éviter les risques de chutes et les risques dus au déplacement de la PEMP par rapport à son environnement.

Les prescriptions applicables à ces catégories sont résumées dans le tableau II.

5. Observations et suggestions d'amélioration

5.1. Concernant l'ensemble du système de commande

Il ressort de l'analyse des schémas de commande obtenus, qu'une défaillance peut effectivement provoquer un mouvement non souhaité ou non contrôlé de la PEMP. L'opérateur étant embarqué dans la plate-forme de travail, il peut alors se trouver en situation dangereuse (ex : risque de chute suite à la perte de stabilité de la PEMP ; risque d'écrasement ou d'électrocution suite à une collision avec un obstacle extérieur). Les schémas étudiés ne permettent donc pas de satisfaire à l'exigence essentielle de sécurité citée au § 1.2.7 de la directive « Machines », exigence qui leur est applicable depuis le 1^{er} janvier 1997.

L'exemple le plus significatif, retrouvé sur 14 des 18 schémas étudiés, est l'utilisation de diodes de commutation pour la commande d'une fonction commune à plusieurs mouvements (fig. 9).

Ce type de circuit peut être corrigé en utilisant un contact auxiliaire des différents relais pour la commande de la fonction commune (fig. 10), solution que l'on retrouve sur l'un des schémas étudiés.

D'autres exemples peuvent également être cités :

- l'utilisation de relais à contacts non liés. Le collage d'un contact de ce type de

TABLEAU II

RÉSUMÉ DES PRESCRIPTIONS APPLICABLES AUX CATÉGORIES B, 1 ET 3 (EN 954-1)

Catégories	Résumé des prescriptions	Comportement du système	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.	
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 doit pas mener à une perte de la fonction de sécurité, • si cela est raisonnablement faisable, le défaut unique doit être détecté. 	Lorsqu'un défaut unique se produit, la fonction de sécurité est toujours assurée. <ul style="list-style-type: none"> • 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 du circuit de commande

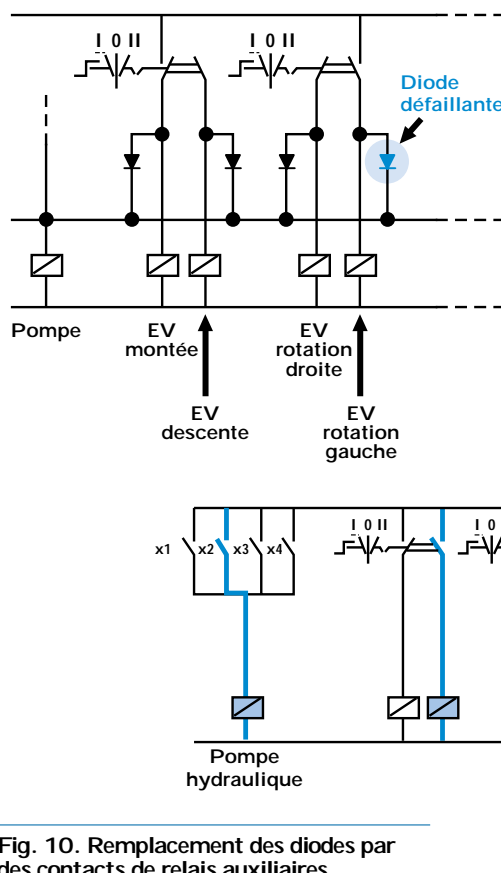


Fig. 9. Exemple d'utilisation de diodes de commutation

La pompe hydraulique peut être commandée par l'intermédiaire des différentes diodes. Une diode défectueuse ne sera pas signalée à l'opérateur. Lors de la commande de descente de la PEMP (par exemple), la diode défectueuse provoquera simultanément la rotation de la PEMP

Fig. 10. Remplacement des diodes par des contacts de relais auxiliaires

relais ne sera pas détecté et il n'empêchera pas la fonction des contacts complémentaires. Des signaux de commande non souhaités peuvent alors être délivrés et conduire à une situation dangereuse.

Dès lors qu'une situation dangereuse peut être provoquée par la discordance de plusieurs contacts d'un même relais, ceux-ci doivent être à contacts liés [10].

- l'utilisation possible de dispositifs de commande proportionnelle où un défaut dans la transmission du signal de commande peut entraîner une brusque augmentation de la vitesse du mouvement commandé (fig. 11). La conception de l'ensemble de ces dispositifs (manipulateur, transmission du signal de commande, distributeur) doit répondre au principe de sécurité positive (2).

5.2. Concernant les parties du système de commande relatives à la sécurité

L'analyse des schémas obtenus confirme que les PEMP comportent bien des dispositifs de sécurité afin de limiter, voire d'éviter les risques cités précédemment. Ces dispositifs peuvent être de simples capteurs ou détecteurs de position, d'inclinaison, de pression, de déplacement, etc. Mais ce peut être également des dispositifs électroniques complexes intégrant les informations issues de différents capteurs. Par exemple, les dispositifs « angle-longueur » qui contrôlent en continu le déploiement de la structure extensible.

L'analyse de la documentation technique de ces dispositifs et des parties du système de commande correspondantes, n'a révélé aucune architecture redondante et/ou fonction d'auto-contrôle.

L'exemple ci-contre est représentatif de la façon dont sont assurées les fonctions de sécurité.

La sécurité est assurée principalement par la sélection et la fiabilité des composants, ce qui correspond aux prescriptions de la catégorie 1 : EN 954-1.

Les objectifs de sécurité définis au § 3.3 du même texte retiennent la catégorie 1 uniquement pour les parties du systèmes de commande destinées à éviter les risques dus au déplacement des éléments mobiles de la PEMP.

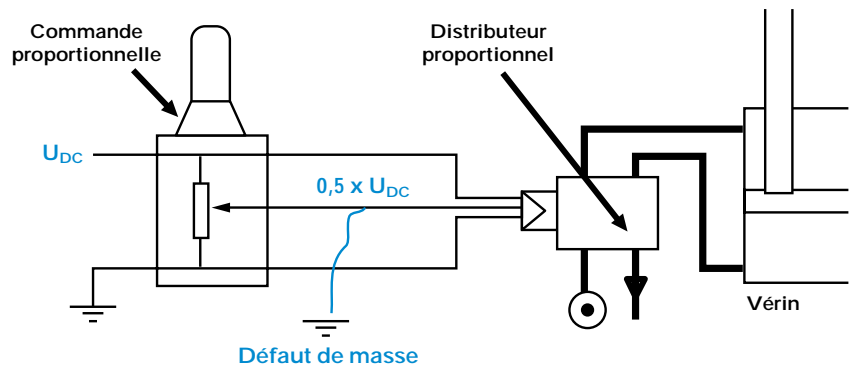


Fig. 11. Exemple de commande proportionnelle ne répondant pas au principe de sécurité positive

Une vitesse de déplacement nulle est obtenue pour une tension de commande égale à la moitié de la tension nominale. Un défaut de masse (tension de commande nulle) provoquera donc un mouvement intempestif

EXEMPLE : DÉTECTION ET SIGNALISATION D'INCLINAISON EXCESSIVE

Fig. 12. Principe d'un détecteur de dévers

L'excès d'inclinaison est une des principales causes de basculement d'une PEMP. Les dispositifs de détection de dévers comportent généralement un élément mobile interne (bille, pendule) qui se déplace en fonction de l'inclinaison du capteur (fig. 12).

Lorsque les valeurs limites sont dépassées, l'élément mobile actionne par l'intermédiaire d'un circuit électrique, un relais de commande (fig. 13). En cours d'utilisation, une défaillance du détecteur peut simuler la détection d'une inclinaison conforme alors qu'elle ne l'est pas. Il en est de même pour une défaillance de la signalisation.

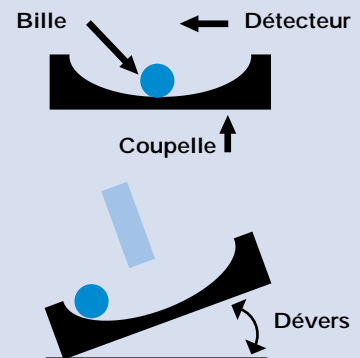
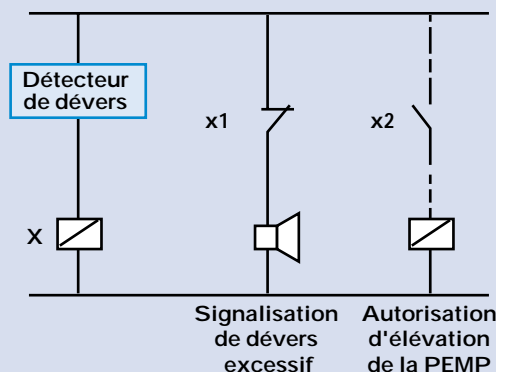


Fig. 13. Exemple type d'un circuit de détection de dévers



Par contre, pour les parties du système de commande destinées à éviter le risque de chute (structure extensible déployée) et les risques dus au déplacement de la PEMP, l'objectif de sécurité retenu est de satisfaire aux prescriptions de la catégorie 3 : EN 954-1. Les mesures proposées pour améliorer le niveau de sécurité de ces parties du système de commande sont :

- qu'elles possèdent une architecture redondante. Ainsi un défaut unique ne mènera pas à la perte d'une ou plusieurs fonctions de sécurité,

- qu'elles soient testées avant que le circuit de commande n'autorise le déploiement de la structure extensible. Cette mesure permettra de s'assurer, avant que l'opérateur ne se trouve en situation potentiellement dangereuse, que les différents dispositifs de sécurité ne présentent pas de défauts et que les conditions de sécurité sont satisfaites (appui des stabilisateurs, dévers, charge, etc.).

Ces mesures s'appliquent donc aux parties du systèmes de commande assurant les fonctions suivantes :

- la détection et la signalisation de la perte d'appui des stabilisateurs,
- la détection et la signalisation d'une inclinaison excessive (pente, dévers),
- la détection et la signalisation d'une charge supérieure à la charge nominale,
- le contrôle du déploiement de la structure extensible,
- le maintien de la plate-forme de travail en position horizontale,
- le contrôle des mouvements de la PEMP.

5.3. Commentaires sur la mise en œuvre de ces mesures de sécurité

Application du principe de redondance au contrôle de stabilité d'une PEMP équipée de stabilisateurs

Pour les PEMP dont l'utilisation n'est permise qu'après la mise en place de stabilisateurs (fig. 14), l'exigence de redondance pour le contrôle de stabilité peut être potentiellement satisfaite.

En effet, en cas de déploiement (ou de charge) excessif et de défaillance du détecteur de déport (ou de charge), la perte de stabilité sera également signalée par le dispositif de détection de perte d'appui des stabilisateurs et/ou par le dispositif de détection d'inclinaison excessive.

Pour que cette redondance potentielle s'applique, il est nécessaire que la PEMP soit équipée d'un dispositif permettant de détecter la perte d'appui d'au moins 2 stabilisateurs.

Dans ce cas l'exigence de redondance n'est pas impérative pour chaque dispositif de détection liés à la stabilité de la PEMP.

Application du principe de redondance au contrôle du déploiement d'une PEMP automotrice

Pour les PEMP où la stabilité est assurée quelle que soit la position de la structure extensible (dans les conditions de charge prévues), la redondance peut être réalisée soit par l'association de deux détecteurs limiteurs de course, soit par un détecteur limiteur de course et une butée mécanique. Celle-ci doit alors avoir une résistance suffisante pour supporter l'effort maximum exercé. Les butées de vérins hydrauliques ou pneumatiques, s'ils sont correctement construits, peuvent répondre à cet effet. Dans tous les cas, ces détecteurs doivent être à manœuvre positive d'ouverture⁽³⁾.

Pour les PEMP où la stabilité est uniquement assurée par des systèmes électroniques complexes qui mesurent continuellement la position de la structure extensible et/ou le moment de renversement, il est recommandé que ces systèmes répondent à la catégorie 3 : EN 954 -1. Fin 1996, certains fabricants de tels dispositifs commençaient à prendre en compte cette recommandation.

⁽³⁾ Manœuvre positive d'ouverture : NF EN 60204-1 § 3.43 [11]

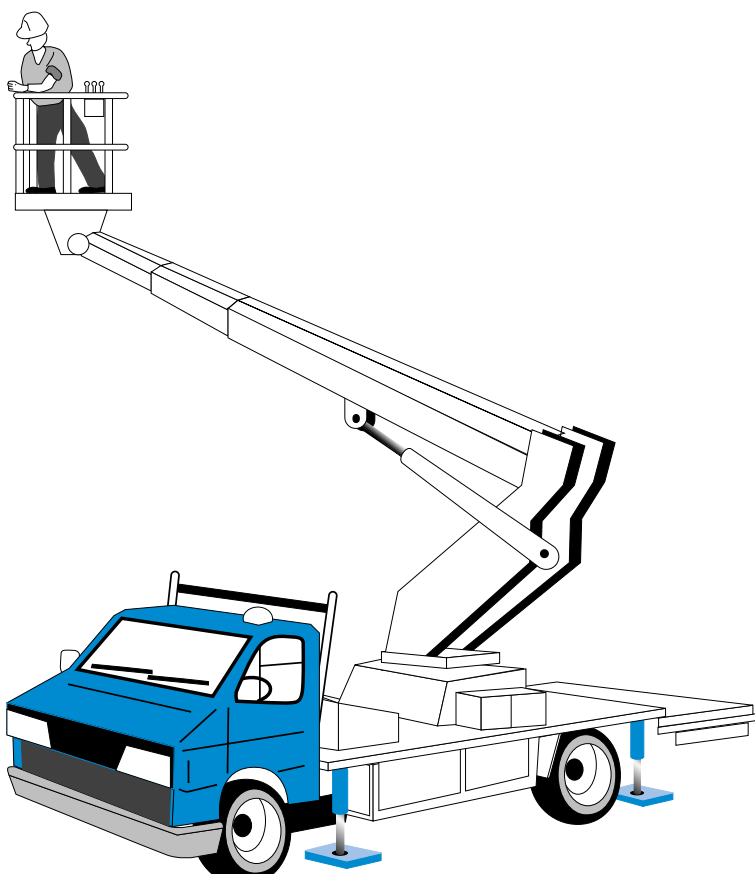


Fig. 14. Exemple de PEMP avec stabilisateurs

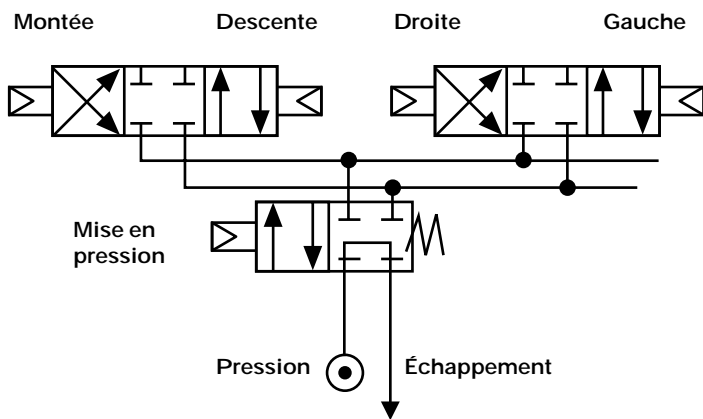


Fig. 15. Schéma de principe de double commande d'un mouvement

Un actionneur associé à un organe de service commande la mise en pression du circuit hydraulique.

Un autre actionneur associé à un autre organe de service sélectionne le mouvement désiré.

Même en cas de défaillance d'un organe de service, ou d'un actionneur, l'arrêt du mouvement peut être obtenu.

Application du principe de redondance au contrôle des mouvements de la structure extensible

Afin de prévenir des déplacements intempestifs occasionnés par une action involontaire sur un organe de service, la commande des différents mouvements de la structure extensible devrait être obtenue par l'action simultanée sur deux organes de service, sans possibilité de blocage volontaire de ces organes.

Sur les PEMP étudiées, la commande des mouvements est généralement obtenue par deux actionneurs différents pilotés par un seul organe de service.

L'application de cette règle se limite donc à associer un organe de service par actionneur (fig. 15). Cela contribuera à obtenir une structure redondante pour la commande des mouvements.

Verrouillage du portillon d'accès

Le portillon d'accès au poste de conduite, constitué avec le garde-corps, une protection contre le risque de chute de l'opérateur depuis la plate-forme de travail. Selon le projet de norme Pr EN 280, ce portillon doit, soit être conçu pour se refermer et se verrouiller automatiquement, soit être muni d'un asservissement interdisant le fonctionnement de la PEMP tant qu'il n'est pas en position fermée et verrouillée. Pour la conception de cet asservissement (dispositif de verrouillage) il pourrait être fait utilement référence à la norme NF EN 1088 [12] qui traite de ces équipements.

Discussion et conclusion

■ L'analyse de comptes rendus d'accidents survenus lors de l'utilisation d'appareils de levage de personnes et l'étude de différents circuits de commande de PEMP montre que ceux-ci présentent un certain nombre de défauts de conception.

■ Il faut cependant noter que sur le plan réglementaire, les circuits de commande étudiés appartiennent à des nacelles commercialisées sur le marché français entre 1995 et 1996, donc non encore soumises à la Directive « Machines » 89/392/CEE. Ces résultats ne préjugent donc pas du niveau de sécurité des nacelles qui, depuis le 1^{er} janvier 1997 (date d'application obligatoire de la Directive « Machines » 89/392/CEE aux appareils de levage de personnes), ont été certifiées « CE ». Depuis cette date, les fabricants de nacelles élévatrices de personnes doivent en tout état de cause apporter des améliorations au circuit de commande de leurs machines afin de respecter les exigences essentielles de sécurité applicables à la conception des circuits de commande.

■ L'application des mesures de sécurité proposées devrait permettre d'obtenir un niveau de sécurité satisfaisant. Ces mesures peuvent être considérées comme relevant de l'état de la technique car elles sont déjà appliquées par les constructeurs à d'autres types de machines présentant des niveaux de risques similaires, ainsi qu'à certains types de PEMP à la demande de certaines entreprises utilisatrices.

■ Il est donc souhaitable que les organismes notifiés pour la certification de ces machines adoptent rapidement une position commune quand aux exigences auxquelles doivent répondre les parties du système de commande relatives à la sécurité. Afin de connaître leur position, l'INRS a informé les coordinations française et européenne de ces organismes notifiés du décalage observé entre les catégories dont relevaient les systèmes de commande étudiés et celles qui pouvaient être préconisées par l'application de la norme EN 954-1. A ce jour, ce point n'a pas encore été évoqué au sein de ces coordinations.

BIBLIOGRAPHIE

1. Directive 89/392/CEE du 14 juin 1989. Rapprochement des législations des états membres relatives aux machines (JO-CE n° L 183 du 29/06/1989 - pp. 9 - 32) modifiée par la directive 91/368/CEE du 20 juin 1991 (JO-CE n° L 305 du 06/11/1991 - pp. 16-32) et par la directive 93/44/CEE du 14 juin 1993 (JO-CE n° L 175 du 19/07/1993 pp. 12-20).
2. R. DELMAS - Circuits hydrauliques et circuits de commande des nacelles élévatrices de personnes : risques et moyens de prévention. *Mémoire technique - CRAMIF 1994*, 47 p.
3. Pr. EN 280. Décembre 1994. Plates-formes élévatrices mobiles de personnel. Calculs, stabilité, construction. Sécurité, examen et essais. Paris - La Défense, AFNOR, 83 p.
4. Elévation du personnel. Boulogne-Billancourt, OPPBTP, coll. Guide pratique, 1990, n° 253 C 91, 10 p.
5. AUMAS M. - Plates-formes élévatrices mobiles de personnel. Paris, INRS, 1996, ED 801, 53 p.
6. Elévation du personnel. Rouen, CRAM, 1989, n° 89.143.1, 68 p.
7. KLEINBREUER W. - Systèmes de commande hydrauliques et pneumatiques. Mesures de sécurité graduelles en cas de défaut. Exigences générales, exemples de circuit, piste de défauts. Sankt Augustin, BIA, 9 p.
8. EN 954-1 - Sécurité des machines. Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 - Principes généraux de conception. Paris - La Défense, AFNOR, déc. 1996, 44 p.
9. NF EN 292-1 - Sécurité des machines. Notions fondamentales. Principes généraux de conception. Partie 1 - Terminologie de base - Méthodologie. Paris - La Défense, AFNOR, déc. 1991, 33 p.
10. Fiche pratique de sécurité - Les relais et contacteurs auxiliaires à contacts liés. Paris, INRS, 1989, ED 013, 2 p.
11. NF EN 60204-1 - Sécurité des machines. Equipement électrique des machines. Partie 1 - règles générales. Paris - La Défense, AFNOR, fév. 1993, 105 p.
12. NF EN 1088 - Sécurité des machines. Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs. Paris - La Défense, AFNOR, juin 1996, 36 p.