

Sécurité des machines d'extraction commandées par des systèmes programmables électroniques

Fiche technique

Laurent Giraud
Bertrand Galy
Louis Germain
Réal Bourbonnière

GUIDES ET OUTILS
TECHNIQUES
ET DE SENSIBILISATION

RF-1049



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2019
ISBN : 978-2-89797-056-7
ISSN : 2292-9444

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mai 2019

Sécurité des machines d'extraction commandées par des systèmes programmables électroniques

Fiche technique

Laurent Giraud, Bertrand Galy
IRSST

Louis Germain
CanmetMINES

Réal Bourbonnière
Consultant

GUIDES ET OUTILS
TECHNIQUES
ET DE SENSIBILISATION

RF-1049



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette étude, d'une fiche technique et de son annexe, a été rendue possible grâce à la contribution et à l'appui de plusieurs organismes, collaborateurs et spécialistes œuvrant dans le domaine minier. Nous tenons particulièrement à remercier les organisations et les personnes suivantes :

- M^{me} France Gauthier, M^{me} Guylaine Bourque et M. Mario St-Pierre, de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST);
- MM. Daniel Côté et Martin Côté de CanmetMINES;
- MM. Olivier Brisson, Daniel Gourde et Mario Gagnon de la mine Langlois (compagnie Nyrstar);
- MM. Martin Blanchette, Éric Dessureault, Brian Michaud et Marco Morin de la compagnie Goldcorp;
- MM. Benoit-Claude Auclair, Olivier Noël et Pierre-Luc Dufour de la compagnie Niobec;
- M. Alain Gilbert de la compagnie ABB;
- M. Christian Quirion de la compagnie Agnico Eagle;
- MM. Marc Robitaille et André Racicot du Syndicat des Métallos;
- M. Michel Girard de la compagnie ASDR;
- M. Pierre Simon de la compagnie lamGold;
- M. Bernard Mador de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur minier;
- M. François Ouellet de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).

SOMMAIRE

Avec l'évolution rapide des nouvelles technologies et la recherche de rentabilité des investissements, les systèmes électroniques programmables (PES) ont été implantés progressivement dans toutes les industries. Le secteur minier n'échappe pas à cette tendance et au fil du temps presque toutes les mines du Québec ont équipé leurs machines d'extraction de tels systèmes. Toutefois, l'introduction de ces nouvelles technologies, requises pour l'amélioration de la productivité minière au Québec, doit aller de pair avec la santé et la sécurité des travailleurs.

Une recension des machines d'extraction en service en 2016 au Québec a montré que le portrait général de l'industrie a évolué depuis la publication de la première version de la fiche technique RF-412, en 2005 : la grande majorité des machines d'extraction sont contrôlées et supervisées par des PES et près du tiers des machines d'extraction sont en opération depuis moins de 10 ans. D'autre part, de nombreuses machines d'extraction anciennes ont vu leur système de commande être mis à jour. À la lumière de ces observations, et des incidents survenus dans les dernières années, il apparaissait nécessaire de proposer une nouvelle version de la fiche technique RF-412, tenant compte à la fois de la situation actuelle au Québec (des disparités encore importantes entre les machines les plus modernes et les plus anciennes), et des tendances de l'industrie (augmentation des charges et de la vitesse d'extraction, systèmes de plus en plus automatisés).

La nouvelle fiche technique a été élaborée de concert avec des experts en machine d'extraction et des spécialistes en sécurité des machines. Bien qu'une partie importante de son contenu soit issue de la fiche technique RF-412, la mise à jour du document a permis de revoir sa structure et son organisation afin de reproduire autant que possible le découpage de l'information que l'on peut retrouver dans les normes internationales. La réflexion sous-jacente à la rédaction de cette nouvelle fiche était de concilier à la fois l'état actuel des machines d'extraction en service, tout en permettant une évolution vers plus d'automatisation et une intégration des pratiques modernes relatives à la robustesse (ou à la fiabilité) des systèmes de commande des futures machines d'extraction.

La présente fiche technique contient les règles de l'art actuelles relativement à la fiabilité des PES et leur utilisation pour la commande de machines d'extraction alors que le rapport annexe fait état de la démarche et de la réflexion ayant mené à la rédaction de cette nouvelle fiche technique. La fiche technique est destinée aux utilisateurs, aux propriétaires et aux concepteurs de machines d'extraction commandées par des PES. Elle recense les informations sur les objectifs à atteindre en matière de sécurité des systèmes pour les machines d'extraction commandées par PES. Ce document ne soustrait pas le concepteur, ou l'utilisateur à l'obligation de se conformer à toutes exigences légales ou réglementaires liées à leurs activités.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-------------|
| REMERCIEMENTS | I |
| SOMMAIRE | III |
| LISTE DES TABLEAUX | IX |
| LISTE DES FIGURES | XI |
| LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS | XIII |
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Généralités | 1 |
| 1.2 Domaine d'application..... | 2 |
| 2. DÉFINITIONS | 3 |
| 2.1 Système électronique programmable (PES) | 3 |
| 2.1.1 Électronique programmable (PE) | 4 |
| 2.1.2 Électrique/électronique/électronique programmable (E/E/PE) | 4 |
| 2.2 PES de commande | 4 |
| 2.3 PES de supervision (<i>hoist monitor</i>) | 5 |
| 2.4 Profil de vitesse | 5 |
| 2.5 Profil de supervision..... | 5 |
| 2.6 Intégrité de sécurité | 6 |
| 2.7 Niveau d'intégrité de sécurité et niveau de performance | 6 |
| 2.7.1 Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)..... | 6 |
| 2.7.2 Niveau de performance (PL) | 7 |
| 2.8 Fonction de sécurité..... | 7 |
| 2.9 Types d'arrêts de sécurité et d'actions de sécurité..... | 7 |
| 2.10 Système de commande relatif à la sécurité..... | 8 |
| 2.10.1 Système de commande électrique relatif à la sécurité (SRECS) | 8 |
| 2.10.2 Partie d'un système de commande relative à la sécurité (SRP/CS)..... | 9 |
| 2.11 Circuit de sécurité | 9 |
| 2.12 Console d'opération | 9 |
| 2.13 Modes de commande | 9 |
| 2.13.1 Opération de la machine | 10 |
| 2.13.2 Test de la machine d'extraction..... | 10 |
| 2.13.3 Interventions spéciales..... | 10 |
| 2.14 Clé de neutralisation | 11 |
| 2.15 Contrôle des énergies dangereuses | 11 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.16 | Chien de garde | 11 |
| 3. | EXIGENCES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES DE COMMANDE ET DE SUPERVISION DES MACHINES D'EXTRACTION COMMANDÉES PAR DES PES | 13 |
| 3.1 | Exigences générales sur la structure de commande et de supervision | 13 |
| 3.2 | Fonctions de sécurité..... | 16 |
| 3.3 | Circuit de sécurité | 17 |
| 3.4 | Système de commande relatif à la sécurité..... | 17 |
| 3.5 | Étages de puissance du moteur..... | 18 |
| 4. | FONCTIONS DE SÉCURITÉ, TYPES D'ARRÊT OU D'ACTION ASSOCIÉS, ESSAIS ET VÉRIFICATIONS PÉRIODIQUES | 19 |
| 4.1 | Protection de la vitesse et de la course du ou des transporteur(s) (limites supérieure et inférieure de parcours du puits)..... | 19 |
| 4.2 | Protection contre une collision du ou des transporteur(s) avec tout obstacle dans le puits ou la zone inondée..... | 21 |
| 4.3 | Protection et dispositifs de sécurité pour le personnel (mode automatique et mode manuel)..... | 21 |
| 4.4 | Dispositif d'arrêt d'urgence et de validation..... | 22 |
| 4.5 | Protection du réarmement du SRECS ou du circuit de sécurité | 23 |
| 4.6 | Protection du réseau électrique, du moteur et de la chaîne cinématique..... | 23 |
| 4.7 | Protection des moyens de freinage..... | 24 |
| 4.8 | Protection particulière (mine profonde, poulie d'adhérence, Blair, machines automatisées, etc.)..... | 25 |
| 4.9 | Protection du fonctionnement des PES..... | 27 |
| 4.10 | Protection du fonçage d'un puits..... | 27 |
| 4.11 | Essais fonctionnels | 28 |
| 5. | EXIGENCES TECHNIQUES RELATIVES AUX PES DE COMMANDE, PES DE SUPERVISION ET SRECS..... | 29 |
| 5.1 | Programmation et paramétrage | 29 |
| 5.2 | Chien de garde | 30 |
| 5.3 | Réseaux de communication..... | 30 |
| 5.4 | Protection contre les anomalies pendant l'utilisation et l'entretien..... | 30 |
| 5.5 | Enregistrement d'événements | 31 |
| 5.6 | Profil de supervision..... | 31 |
| 5.7 | Point de vérification..... | 31 |
| 5.8 | Calibration de l'indicateur de profondeur..... | 31 |
| 5.9 | Protection contre les influences environnementales..... | 32 |
| 5.10 | Console d'opération..... | 32 |
| 5.11 | Sélecteur des modes de commande..... | 33 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.12 | Mode de commande automatique ou semi-automatique..... | 33 |
| 5.13 | Interventions spéciales | 33 |
| 6. | EXIGENCES PROCÉDURALES ET ORGANISATIONNELLES | 35 |
| 6.1 | Responsable de la machine d'extraction..... | 35 |
| 6.2 | Contrôle des énergies dangereuses – Méthode alternative au cadenassage..... | 35 |
| 6.3 | Neutralisation des sécurités | 36 |
| 6.4 | Conditions de réarmement après un arrêt de type 1, 2 ou 3..... | 36 |
| 6.5 | Analyse du risque | 36 |
| 6.6 | Documentation..... | 36 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 39 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|-------------|--|----|
| Tableau 1. | Types d'arrêts de sécurité | 8 |
| Tableau 2. | Dispositifs de protection de la vitesse et de la course du ou des transporteur(s) | 20 |
| Tableau 3. | Dispositifs de protection contre une collision du transporteur avec tout obstacle dans le puits ou dans la zone inondée | 21 |
| Tableau 4. | Dispositifs de sécurité pour le personnel | 22 |
| Tableau 5. | Dispositifs d'arrêt d'urgence et de validation | 23 |
| Tableau 6. | Dispositifs de protection du réarmement du SRECS ou du circuit de sécurité | 23 |
| Tableau 7. | Dispositifs de protection du réseau électrique, du moteur et de la chaîne cinématique..... | 24 |
| Tableau 8. | Dispositifs de protection des moyens de freinage..... | 25 |
| Tableau 9. | Dispositifs de protection particuliers | 26 |
| Tableau 10. | Dispositifs de protection du fonctionnement des PES | 27 |
| Tableau 11. | Dispositifs de protection du fonçage d'un puits..... | 27 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|-----------|---|----|
| Figure 1. | Système électronique programmable. (Adaptée de CEI 61508-4, 2010)..... | 3 |
| Figure 2. | Profils de vitesse et de supervision. | 6 |
| Figure 3. | Schéma des fonctions de commande, de supervision et de sécurité d'une machine d'extraction actuelle. | 14 |
| Figure 4. | Schéma proposé des fonctions de commande, de supervision et de sécurité pour les futures machines d'extraction. | 15 |

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | |
|----------|---|
| AC : | courant alternatif (<i>alternating current</i>) |
| ASIC : | circuits intégrés à application spécifique (<i>application specific integrated circuit</i>) |
| CEI : | Commission électrotechnique internationale |
| CNESST : | Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail |
| CPU : | unité centrale de traitement (<i>central processing unit</i>) |
| CSA : | Canadian Standards Association (Association canadienne de normalisation) |
| DC : | courant continu (<i>direct current</i>) |
| E/E/PE : | électrique/électronique/électronique programmable (<i>electric/electronic/programmable electronic</i>) |
| IRSST : | Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail |
| ISO : | International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation) |
| PE : | électronique programmable (<i>programmable electronic</i>) |
| PES : | système électronique programmable (<i>programmable electronic system</i>) |
| PL : | niveau de performance (<i>performance level</i>) |
| PLC : | automates programmables industriels (<i>programmable logic controller</i>) |
| RSSM : | Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines |
| RSST : | Règlement sur la santé et la sécurité du travail |
| SABS : | South African Bureau of Standards (Bureau de normalisation d'Afrique du Sud) |
| SC/FS : | système de commande de la fonction de sécurité |
| SIL : | niveau d'intégrité de sécurité (<i>safety integrity level</i>) |
| SIS : | système instrumenté de sécurité |
| SRECS : | système de commande électrique relatif à la sécurité (<i>safety related electric command system</i>). Note : le circuit de sécurité « traditionnel » fait partie du SRECS |
| SRP/CS : | partie d'un système de commande relative à la sécurité (<i>safety-related part of a control system</i>) |

1. INTRODUCTION

1.1 Généralités

Fondé sur le Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines (RSSM), le guide sur les machines d'extraction (Fortin et Demers, 2011), « permet aux intéressés de prendre connaissance du fonctionnement des machines d'extraction. Il présente les divers mécanismes de sécurité et fournit les indications nécessaires pour s'assurer que les machines fonctionnent bien ». Dans les années 90, à l'époque où la première version du guide a été préparée et avant sa réédition en 2011, les technologies de commande programmables n'étaient pas encore très répandues (Fortin et Demers, 2011). Avec l'évolution rapide des nouvelles technologies et la recherche de gains de productivité et de rentabilité des investissements, les systèmes électroniques programmables (PES) ont été implantés progressivement dans toutes les industries. Le secteur minier n'échappe pas à cette tendance et au fil du temps presque toutes les mines du Québec ont équipé leurs machines d'extraction de tels systèmes. Toutefois, l'introduction de ces nouvelles technologies, requises pour l'amélioration de la productivité minière au Québec, doit aller de pair avec la santé et la sécurité des travailleurs.

Pour répondre à cette évolution technique, une première fiche technique RF-267 intitulée *Sécurité des treuils miniers commandés par systèmes programmables* a été publiée par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) en avril 2001 (Paques *et al.*, 2001). À la suite de l'utilisation de cette fiche par le milieu, et en regard des commentaires formulés par ses utilisateurs, une nouvelle version a été élaborée en 2005 : la RF-412 (Paques et Germain, 2005). Cette fiche technique est citée dans le RSSM (2018) à l'article 216.1 et l'application de son contenu est obligatoire depuis 2009. Après plus de 10 ans depuis sa publication et afin de rendre compte de l'évolution des systèmes de commande des machines d'extraction, une nouvelle fiche technique semblait nécessaire.

L'équipe de recherche qui a conçu cette fiche technique et rédigé le rapport annexe est constituée de deux des auteurs de la fiche technique RF-267 et de deux chercheurs de l'IRSST. La nouvelle fiche technique a été élaborée de concert avec des experts en machine d'extraction et des spécialistes en sécurité des machines. Bien qu'une partie importante de son contenu soit issue de la fiche technique RF-412, sa structure et son organisation ont été repensées afin de reproduire autant que possible le découpage de l'information que l'on peut trouver dans les normes internationales. La réflexion sous-jacente à la rédaction de cette nouvelle fiche était de concilier à la fois l'état actuel des machines d'extraction en service, tout en permettant une évolution vers plus d'automatisation et une intégration des pratiques modernes relatives à la robustesse (ou à la fiabilité) des systèmes de commande des futures machines d'extraction, ce qui est la voie privilégiée à la fois par les utilisateurs et les fabricants. Le rapport annexe fait état de la démarche et la réflexion ayant mené à la rédaction de cette nouvelle fiche technique.

Dans cette fiche technique, le terme « doit » indique qu'il s'agit d'une exigence, c'est-à-dire une prescription que l'utilisateur doit respecter pour se conformer au contenu de la fiche technique; le terme « devrait » indique qu'il s'agit d'une recommandation ou de ce qu'il est conseillé d'appliquer, mais sans obligation; et le terme « peut » indique qu'il s'agit d'une possibilité ou de ce qu'il est permis de faire.

1.2 Domaine d'application

La présente fiche technique est destinée aux utilisateurs, aux propriétaires et aux concepteurs de machines d'extraction commandées par des PES. Elle contient des informations sur les objectifs à atteindre en matière de sécurité des systèmes pour les machines d'extraction commandées par PES. Ce document ne soustrait ni le concepteur ni l'utilisateur à l'obligation de se conformer à toutes exigences légales ou réglementaires liées à leurs activités.

La fiche technique fait état des règles de l'art actuelles (au moment de sa rédaction), relatives à la fiabilité des PES et de leur utilisation pour la commande de machines d'extraction. Deux normes devraient définir les critères pour atteindre des niveaux de fiabilité de la manière suivante : « niveau d'intégrité de sécurité – SIL » (CEI 61508, 2010; CEI 62061, 2005) et « niveau de performance – PL » (ISO 13849-1, 2015).

Cette fiche a été rédigée en considérant que la commande et la supervision des machines d'extraction sont réalisées par des PES. Les cas pour lesquels la supervision est effectuée par le biais d'un dispositif mécanique (Lilly) ainsi que les dispositifs de fonçage commandés par PES ne sont pas traités dans cette fiche technique. Dans ces cas, certaines adaptations devront être envisagées par les propriétaires et utilisateurs afin d'atteindre les objectifs de sécurité.

2. DÉFINITIONS

Les définitions données dans ce chapitre sont essentiellement tirées des normes CEI 61508 (2010), CEI 62061 (2005) et ISO 13849-1 (2015). Dans le cas où les définitions sont très similaires, seule l'une d'elles a été conservée. Pour les rares cas où les définitions diffèrent, celles du corpus de normes CEI et ISO ont été retenues.

2.1 Système électronique programmable (PES)

La définition de système électronique programmable est celle incluse dans la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.3.1 et ISO 13849-1 (2015) art. 3.1.22.

Système de commande, de protection ou de surveillance basé sur un ou plusieurs dispositifs électroniques programmables (Figure 1). Ce terme recouvre tous les éléments du système, tels que l'alimentation, les capteurs et les autres dispositifs d'entrée, les autoroutes de données et les autres voies de communication, ainsi que les actionneurs et les autres dispositifs de sortie¹.

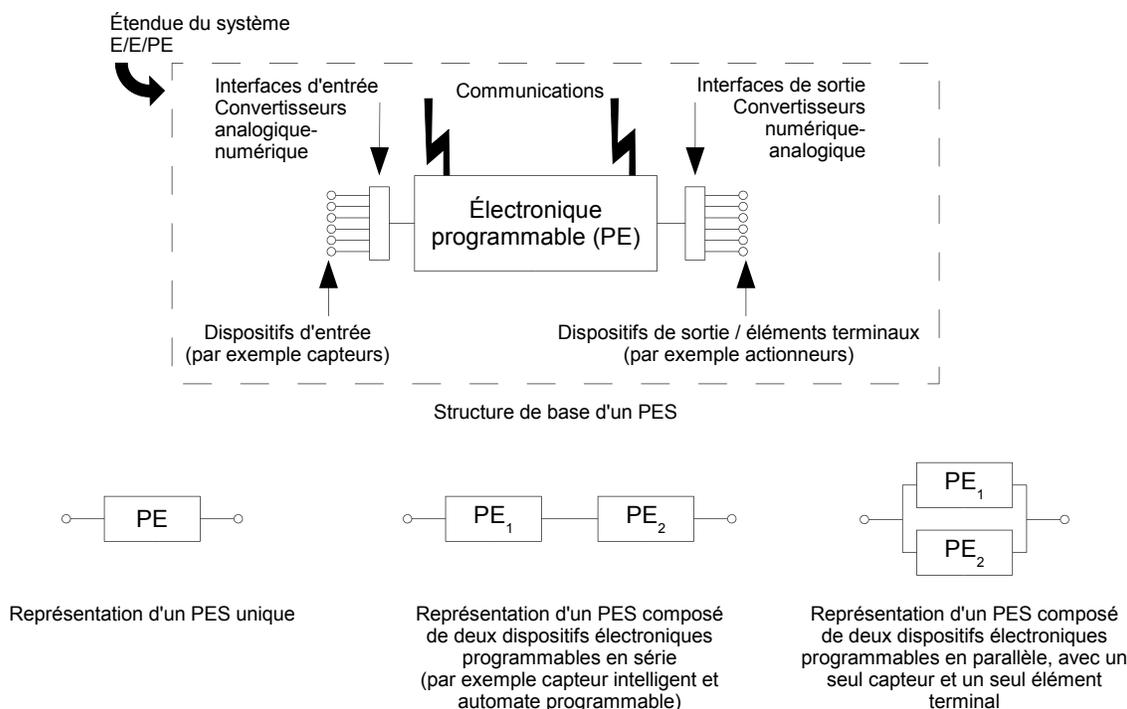


Figure 1. Système électronique programmable.
(Adaptée de CEI 61508-4, 2010)

¹ La norme CEI 62061 regroupe les notions de PES, PE et E/E/PE sous le terme générique « système de commande électrique » ou « système de commande électrique relatif à la sécurité » (SRECS, *safety related electric command system*).

2.1.1 Électronique programmable (PE)

La définition d'électronique programmable est celle incluse dans la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.2.12.

Technologie basée sur l'informatique, pouvant comprendre du matériel, du logiciel, ainsi que les unités d'entrée et/ou de sortie. Ce terme recouvre les dispositifs microélectroniques basés sur une ou plusieurs unités centrales de traitement (CPU) associées à des mémoires, etc. Tous les dispositifs suivants sont des dispositifs électroniques programmables:

- microprocesseurs,
- microcontrôleurs,
- automates programmables,
- circuits intégrés à application spécifique (ASIC),
- automates programmables industriels (PLC),
- autres dispositifs basés sur la technologie informatique (par exemple, les capteurs intelligents, les transmetteurs, les actionneurs).

2.1.2 Électrique/électronique/électronique programmable (E/E/PE)

La définition d'électrique/électronique/électronique programmable est celle incluse dans la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.2.13.

Technologie basée sur la technologie électrique (E), et/ou électronique (E) et/ou électronique programmable (PE). Ce terme désigne l'ensemble des dispositifs ou systèmes fonctionnant selon les principes électriques. Les dispositifs E/E/PE comprennent :

- les appareils électromécaniques (électriques),
- les appareils électroniques non programmables à circuits intégrés (électroniques),
- les appareils électroniques basés sur la technologie informatique (électroniques programmables).

2.2 PES de commande

Système de commande basé sur un ou plusieurs dispositifs électroniques programmables. Le PES de commande agit, entre autres, sur les équipements de commutation de puissance, permettant ainsi de faire varier la vitesse de la machine d'extraction en fonction des ordres donnés par l'opérateur ou selon un programme préétabli. Un profil de vitesse définit la vitesse maximale permise en fonction de la position du transporteur dans le puits. Le PES de commande gère également de nombreuses protections et active directement une partie du système de freinage, qui doit être capable d'arrêter la machine d'extraction dans les pires conditions (art. 246 et 250 du RSSM, 2018). Le PES de commande peut inclure un PES principal et des PES auxiliaires.

2.3 PES de supervision (*hoist monitor*)

Système de supervision basé sur un ou plusieurs dispositifs électroniques programmables. Le PES de supervision permet le fonctionnement normal de la machine d'extraction à l'intérieur des limites préalablement fixées lors de la mise en service. Les limites de vitesse et de position sont établies sur toute la longueur du puits à l'aide d'un profil de supervision. Le dépassement de ces limites entraîne l'ouverture du circuit de sécurité. Le PES de supervision gère l'application d'une partie du système de freinage, qui doit être capable d'arrêter la machine d'extraction dans les pires conditions (RSSM art. 246 et 250). Le PES de supervision peut inclure un PES principal et des PES auxiliaires.

2.4 Profil de vitesse

Le profil de vitesse est une courbe qui définit la vitesse d'opération maximale permise en fonction de la position du transporteur dans le puits. En mode automatique, le PES de commande régule la machine d'extraction pour respecter le profil de vitesse. En mode manuel, l'opérateur respecte le profil de vitesse pour opérer la machine.

Le profil minimal de vitesse de la Figure 2 correspond au profil de la plus grande distance de déplacement, du point de chargement (a) au point de déversement (b), avec la vitesse maximale autorisée (c), les phases d'accélération (d) et de décélération (e), ainsi que la vitesse de sortie (f) et la vitesse d'approche (g). Les vitesses de sortie (f) et d'approche (g) peuvent ne pas exister sur les machines récentes. Ce profil peut varier suivant le type de transporteur utilisé (skip, cage-skip, cage) : vitesse maximale de transport, limites de parcours selon que l'on transporte du minerai ou du personnel. Les limites de parcours d'un skip sont le point de chargement et le point de déchargement. Les limites de parcours d'une cage sont la recette (normalement la surface) et le palier le plus profond du puits.

2.5 Profil de supervision

Le profil de supervision est une courbe (Figure 2) qui définit la vitesse maximale permise en fonction de la position du transporteur dans le puits avant que le PES de supervision intervienne en déclenchant une action. Le profil de supervision enveloppe le profil de vitesse, c'est-à-dire que la vitesse maximale permise par le profil de supervision est légèrement supérieure à la vitesse d'opération maximale du profil de vitesse en tous points de la courbe.

Certaines limites du profil de supervision, dont la vitesse et les limites de parcours, sont prescrites dans la réglementation :

- vitesse maximale : survitesse de 120 % de la vitesse maximale d'opération (RSSM art. 232 (4));
- limite de parcours : évite-molette (RSSM art. 232 (2)), limites supérieure et inférieure de parcours (RSSM art. 232 (3)), interrupteur anti-déversement pour les cages et les cages-skip (RSSM art. 235).

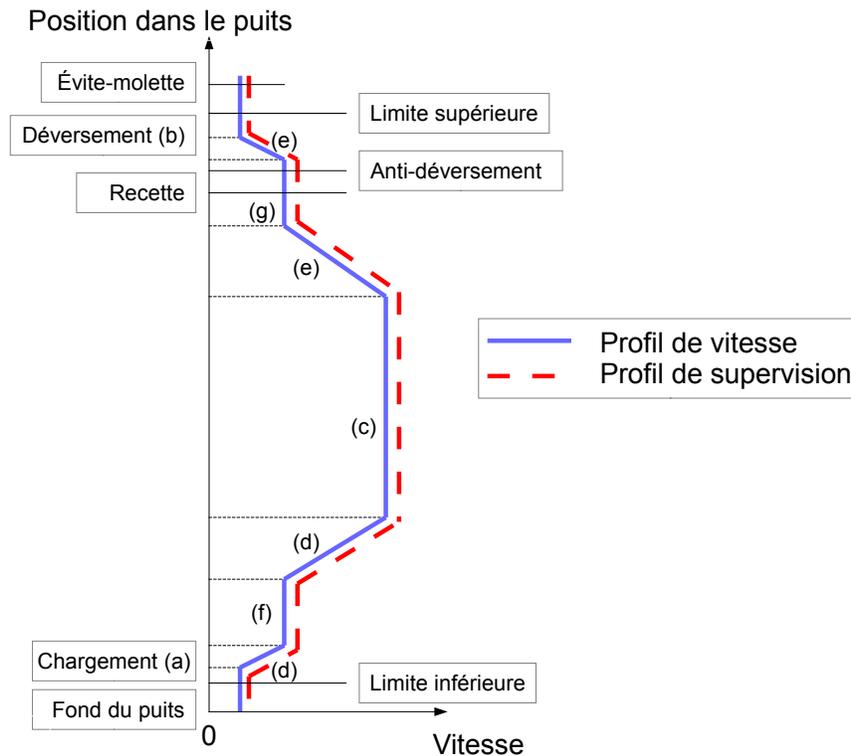


Figure 2. Profils de vitesse et de supervision.

2.6 Intégrité de sécurité

La définition de l'intégrité de sécurité est inspirée de la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.5.4.

L'intégrité de sécurité est la probabilité pour qu'un système E/E/PE relatif à la sécurité (SRECS) exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité spécifiées dans toutes les conditions énoncées et dans une période de temps spécifiée.

2.7 Niveau d'intégrité de sécurité et niveau de performance

2.7.1 Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)

La définition de niveau d'intégrité de sécurité est inspirée de la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.5.8.

Le niveau d'intégrité de sécurité (SIL dans la norme 61508) est un niveau discret correspondant à une gamme de valeurs d'intégrité de sécurité. Le niveau 4 d'intégrité de sécurité (SIL 4) possède le plus haut degré d'intégrité (probabilité de défaillance très faible) et le niveau 1 (SIL 1) possède le plus bas. La norme CEI 62061 (2005) applique ces critères au domaine de la sécurité des machines et ne définit que trois niveaux d'intégrité de sécurité (SIL 1, SIL 2, SIL 3)².

² Voir à la sous-section D.III.II du rapport annexe pour plus de détails.

2.7.2 Niveau de performance (PL)

La définition de niveau de performance est inspirée de la norme ISO 13849-1 (2015) art. 3.1.23.

Niveau discret d'aptitude des parties relatives à la sécurité à réaliser une fonction de sécurité dans des conditions prévisibles. Ces niveaux sont au nombre de cinq, allant de « a » à « e », le niveau « e » possédant le plus haut degré d'intégrité.

2.8 Fonction de sécurité

La définition de fonction de sécurité est inspirée de la norme CEI 61508-4 (2010) art. 3.5.1.

La fonction de sécurité est une fonction à réaliser par un système E/E/PE relatif à la sécurité (SRECS) ou par un dispositif externe de réduction des risques, prévue pour assurer ou maintenir un état de sécurité de l'équipement commandé par rapport à un événement dangereux spécifique.

Des exemples de fonctions de sécurité comprennent:

- les fonctions devant être réalisées en tant qu'actions positives pour éviter des situations dangereuses (par exemple, l'arrêt d'un moteur);
- les fonctions de prévention de réalisation d'actions (par exemple, empêcher le démarrage d'un moteur).

La définition de fonction de sécurité de la norme ISO 13849-1 (2015) art. 3.1.20 est la suivante :

Fonction d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du (des) risque(s).

2.9 Types d'arrêts de sécurité et d'actions de sécurité

Les dispositifs de sécurité des machines d'extraction commandées par PES peuvent entraîner trois types d'arrêts de sécurité et deux types d'actions de sécurité, à la suite de la détection d'une condition anormale ou d'une condition qui entraîne une augmentation immédiate du risque :

- Arrêt de type 1 : Arrêt de la machine sans délai par intervention du SRECS ou ouverture du circuit de sécurité : suppression de l'alimentation du moteur et application des freins d'urgence.
- Arrêt de type 2 : Arrêt de la machine sans délai par le PES de commande : utilisation de la force motrice et application du frein de service. Une fois l'arrêt obtenu, intervention du SRECS ou ouverture du circuit de sécurité : suppression de l'alimentation du moteur et application des freins d'urgence. Cet arrêt peut se produire n'importe où sur la trajectoire du transporteur.
- Arrêt de type 3 : Arrêt normal de la machine rendue à sa destination (ou au niveau le plus proche si la destination n'est pas accessible) par le PES de commande. Une fois l'arrêt obtenu, intervention du SRECS ou ouverture du circuit de sécurité : suppression de l'alimentation du moteur et application des freins d'urgence.

- Action de type 4 : Alarme (sonore et/ou visuelle) indiquant à l'opérateur le problème potentiel détecté, sans déclenchement d'arrêt.
- Action de type 5 : Modification d'un (ou plusieurs) des paramètres de fonctionnement de la machine d'extraction, par exemple réduction de la vitesse ou limitation de la charge lors de l'utilisation de la clé de neutralisation.

Le Tableau 1 résume les types d'arrêts de sécurité³. La valeur limite de décélération pour le freinage d'urgence est mentionnée à l'article 248 du RSSM (2018).

Tableau 1. Types d'arrêts de sécurité

| | Type d'arrêts de sécurité | | |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Arrêt | sans délai | sans délai | à destination** |
| Frein d'urgence (SRECS ou circuit de sécurité) | Oui | non | non |
| Frein de service*** (PES de commande) | Non | oui | oui |
| Utilisation de la force motrice (PES de commande) | Non | oui | oui |
| Suppression alimentation moteur (SRECS ou circuit de sécurité) et application des freins d'urgence | sans délai* | une fois l'arrêt obtenu | une fois l'arrêt obtenu |

* voir chapitre 3

** ou au niveau le plus proche si la destination n'est pas accessible

*** généralement utilisé pour immobiliser le transporteur une fois l'arrêt effectué par le moteur

2.10 Système de commande relatif à la sécurité

Les normes CEI 62061 (2005) et ISO 13849-1 (2015) présentent des définitions similaires pour les systèmes de commandes relatifs à la sécurité. Dans cette fiche technique, le sigle SRECS sera utilisé dans le texte, mais pourra faire indifféremment référence à un SRECS ou à un SRP/CS selon la méthode normative retenue par l'utilisateur ou le concepteur de la machine d'extraction.

2.10.1 Système de commande électrique relatif à la sécurité (SRECS)

La définition d'un SRECS est tirée de la norme CEI 62061 (2005) art. 3.2.4.

Système de commande électrique d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du (des) risque(s)⁴.

³ Le seul type d'arrêt de sécurité pouvant être initié par une intervention humaine est l'arrêt de type 1 : déclenchement de l'interrupteur d'urgence.

⁴ Un SRECS comprend toutes les parties d'un système de commande électrique dont la défaillance peut provoquer une diminution ou une perte de la sécurité fonctionnelle et celui-ci peut comprendre à la fois des circuits électriques de puissance et des circuits de commande.

2.10.2 Partie d'un système de commande relative à la sécurité (SRP/CS)

La définition d'un SRP/CS est tirée de la norme ISO 13849-1 (2015) art. 3.1.1.

Partie d'un système de commande qui répond à des signaux d'entrée et génère des signaux de sortie relatifs à la sécurité⁵.

2.11 Circuit de sécurité

Dans le contexte de cette fiche technique, le circuit de sécurité est défini comme un ensemble de dispositifs électromécaniques et de mesures de protection, historiquement câblés en série (boucle de sécurité), qui déclenche l'arrêt d'urgence de la machine d'extraction, la suppression de l'alimentation du moteur et l'application du frein d'urgence. Dans des cas bien définis, certaines protections peuvent être neutralisées par les PES afin de revenir à une position d'opération.

Le circuit de sécurité est un SRECS en soi.

2.12 Console d'opération

La console d'opération est le système d'interface homme-machine utilisé par l'opérateur de la machine d'extraction pour la commander. Une machine d'extraction peut avoir plusieurs consoles d'opération :

- La console principale est la console installée à proximité immédiate des tambours de la machine d'extraction;
- Des consoles déportées (*remote*) peuvent être utilisées, il peut y en avoir plusieurs, et elles peuvent être installées à une distance plus ou moins grande de la machine d'extraction.

2.13 Modes de commande

Il existe trois principaux modes de commande :

1. l'opération, avec toutes les sécurités activées;
2. les tests, notamment les tests journaliers, avec toutes les sécurités actives;
3. les interventions spéciales, nécessitant la neutralisation de certaines fonctions de sécurité selon la tâche à accomplir.

La sélection des modes de commande est traitée aux sous-sections 5.10 et 5.11.

⁵ Les parties combinées d'un système de commande relatives à la sécurité commencent aux points où sont générés les signaux relatifs à la sécurité (y compris, par exemple, la came de commande et le galet de l'interrupteur de position) et se terminent à la sortie des préactionneurs (y compris, par exemple, les contacts principaux du contacteur). Si un système de surveillance est utilisé pour les diagnostics, ceux-ci sont considérés comme des SRP/CS.

2.13.1 Opération de la machine

L'opération de la machine peut se faire à l'aide de deux modes de commande :

- Opération en mode automatique : mode de commande sans intervention de l'opérateur. Ce mode de commande couvre les modes « automatique » et « semi-automatique » mentionnés dans le RSSM.

Le transport de personnel et de matériel à l'intérieur du transporteur avec ce mode de commande se fait donc sans utiliser le système de signalisation traditionnel. Il peut y avoir un préposé au transporteur qui commande les mouvements à l'aide de boîtiers fixes aux différents niveaux du puits ou d'un clavier dans le transporteur;

- Opération en mode manuel : mode de commande avec intervention de l'opérateur en suivant les signaux appropriés émis par le préposé au transporteur ou les personnes autorisées à émettre des signaux (cloches) durant le service de la cage. Ce mode de commande est utilisé pour l'opération de la machine avec toutes les sécurités actives. Il sert aussi pour réarmer la machine après un arrêt de sécurité lorsque la machine est en mode d'opération automatique ou semi-automatique. Ce mode de commande couvre la position « manuel » souvent présente sur les machines d'extraction et couvre aussi l'appellation « commande manuelle » du RSSM.

2.13.2 Test de la machine d'extraction

Ce mode de commande permet de réaliser les tests de la machine d'extraction, qui sont effectués avec toutes les sécurités actives. Les tests qui nécessitent de neutraliser au moins une fonction de sécurité doivent être réalisés avec le mode de commande « interventions spéciales » décrit ci-dessous. Les tests quotidiens de la machine d'extraction par l'opérateur peuvent être effectués avec ce mode de commande. Il est suggéré que les séquences de test usuelles soient générées par le PES de commande afin de guider l'opérateur et ainsi de limiter les erreurs possibles.

2.13.3 Interventions spéciales

Ce mode de commande permet à l'opérateur de réaliser diverses interventions spéciales avec la machine d'extraction tout en neutralisant certaines fonctions de sécurité. Les fonctions de sécurité neutralisées dépendent de la nature de l'intervention : tests, changement de câbles ou de transporteur, etc. La mise en œuvre de ce mode de commande devrait être basée sur les principes détaillés dans les articles 6.2.11.9 et 6.2.11.10 de la norme ISO 12100 (2010) et dans les articles 9.2.3 et 9.2.4 de la norme CEI 60204-1 (2016) afin de garantir la sécurité des travailleurs et de l'opérateur.

Les interventions spéciales sont généralement réalisées dans les modes « inspection » et « maintenance » souvent présents sur les machines d'extraction. Ce mode de commande permet de réaliser, par exemple, les interventions suivantes : retour après dépassement de limite (RSSM, art. 232 (5)), tests (avec neutralisation), inspection du puits, inspection des molettes, changement de câble, changement de transporteur, etc. Il est suggéré que les séquences de maintenance usuelles ou très risquées soient générées par le PES de commande afin de guider l'opérateur et ainsi limiter les erreurs possibles.

Les exigences de sécurité pour le passage d'un mode de commande à l'autre sont traitées à la sous-section 5.11.

2.14 Clé de neutralisation

La clé de neutralisation limite l'usage du mode de commande pour les interventions spéciales sélectionnées à des personnes autorisées. La clé peut être remplacée par un autre moyen de limitation de l'usage (ex. mot de passe). La clé de neutralisation est parfois appelée « clé de supervision » dans certaines mines, ou encore « *UHM bypass* ».

2.15 Contrôle des énergies dangereuses

Une méthode de contrôle des énergies dangereuses est « une méthode visant à maintenir une machine hors d'état de fonctionner, telle que sa remise en marche, la fermeture d'un circuit électrique, l'ouverture d'une vanne, la libération de l'énergie emmagasinée ou le mouvement d'une pièce par gravité, de façon à ce que cet état ne puisse être modifié sans l'action volontaire de toutes les personnes ayant accès à la zone dangereuse. » (Art. 188.1 du RSST, 2018).

La méthode la plus commune est le cadenassage, « méthode de contrôle des énergies visant l'installation d'un cadenas à cléage unique sur un dispositif d'isolement d'une source d'énergie ou sur un autre dispositif permettant de contrôler les énergies telle une boîte de cadenassage; » (Art. 188.1 du RSST, 2018).

Si une autre méthode de contrôle des énergies est utilisée (voir sous-section 6.2), par exemple à l'aide d'une clé captive, on parle alors de méthode alternative de contrôle des énergies.

2.16 Chien de garde

Un chien de garde (*watchdog*) est un circuit électronique et/ou un logiciel permettant de s'assurer qu'un automate ou un ordinateur ne reste pas bloqué à une étape particulière du traitement qu'il effectue (Wikipedia, 2017).

Sur les machines d'extraction, le chien de garde est un circuit externe aux PES intégré au circuit de sécurité. Ce circuit a besoin de recevoir continuellement les impulsions du PES correspondant pour permettre un fonctionnement normal. En cas d'arrêt des impulsions, le chien de garde ouvre le circuit de sécurité.

3. EXIGENCES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES DE COMMANDE ET DE SUPERVISION DES MACHINES D'EXTRACTION COMMANDÉES PAR DES PES

3.1 Exigences générales sur la structure de commande et de supervision

Le système de commande s'appuie sur le **PES de commande** et a, comme fonction principale, de commander le mouvement de la machine d'extraction dans les limites permises, c'est-à-dire entre les limites de parcours et à l'intérieur des paramètres permis (ex. : vitesse, accélération, chargement). Pour cela, des capteurs sont utilisés par le système de commande pour confirmer et mesurer ces paramètres. Advenant une défaillance d'une des protections qu'il surveille ou un dépassement des limites fixées, le PES de commande doit déclencher le circuit de sécurité ou le SRECS, selon la priorité d'action.

Le système de supervision s'appuie sur le **PES de supervision** et a, comme fonction principale, de superviser le bon fonctionnement du système de commande. En cas de défaillance du système de commande ou en cas de dépassement des limites de fonctionnement de la machine d'extraction, le système de supervision doit déclencher le circuit de sécurité ou le SRECS et appliquer le frein d'urgence.

Le **circuit de sécurité ou le SRECS** a, comme fonction, la réalisation des fonctions de sécurité, déclenchées par des événements dangereux spécifiques (voir chapitre 4), afin de ramener la machine d'extraction à un état sécuritaire. Cela peut se faire de plusieurs façons selon l'urgence de la situation : d'un arrêt de type 1 à une action de type 5 (voir définition 2.9).

La structure générale des systèmes de commande et de supervision d'une machine d'extraction commandée par PES est illustrée à la Figure 3 pour les machines actuelles. Cette figure ne correspond pas à la structure de toutes les machines d'extraction existantes, mais tente de résumer les points communs des machines d'extractions étudiées par les auteurs.

La Figure 4 propose une structure générale pour les futures machines d'extraction. Dans cette nouvelle structure, l'ensemble des fonctions de sécurité est géré par la **logique de sécurité**. Ainsi, les PES de commande et de supervision se concentrent sur la commande normale de la machine d'extraction, alors que la logique de sécurité se concentre sur la gestion et la réalisation des fonctions de sécurité. Cette figure n'illustre qu'une piste de solution proposée par les auteurs; cette piste ne correspond pas à une exigence de la fiche technique.

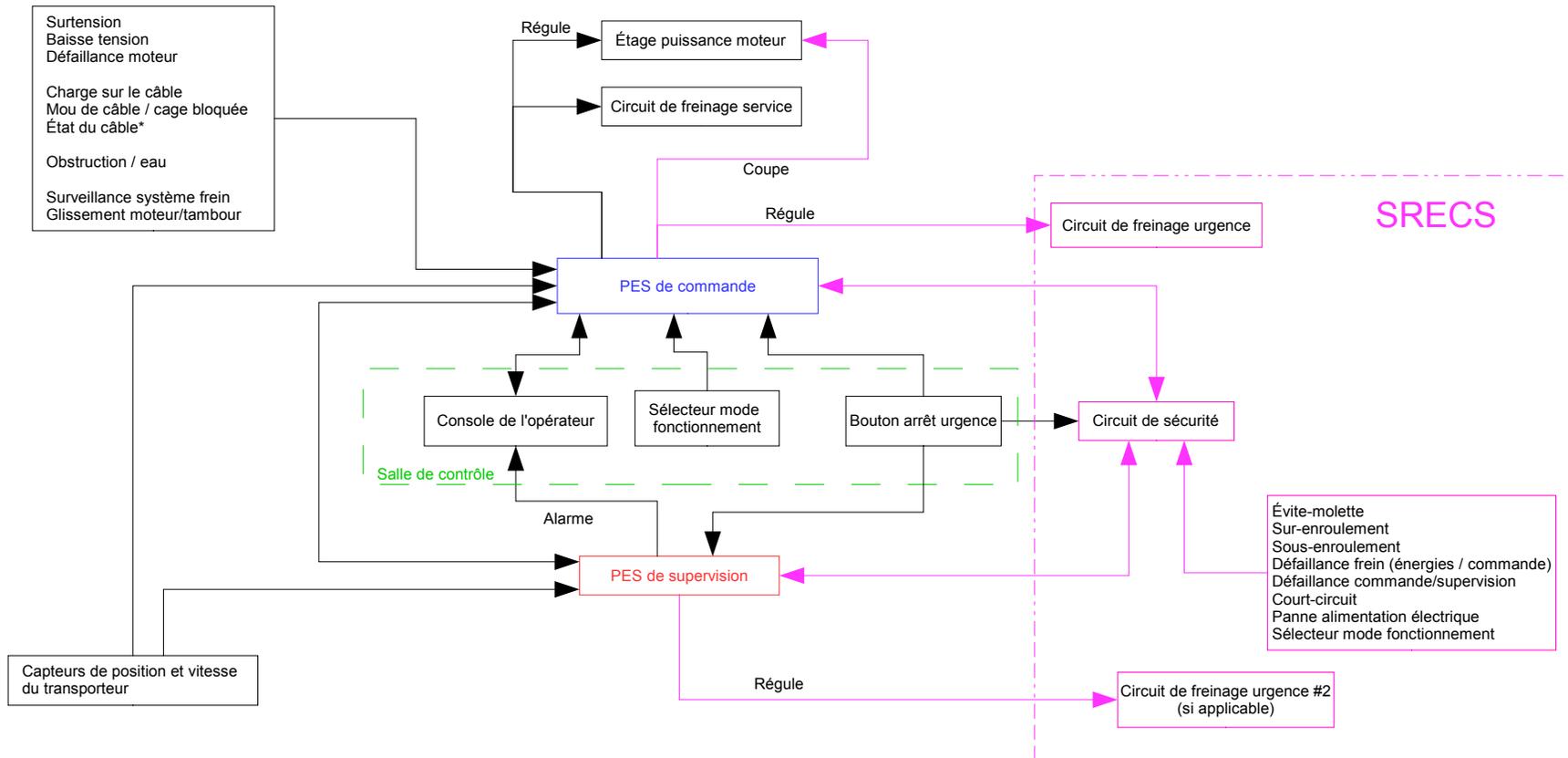


Figure 3. Schéma des fonctions de commande, de supervision et de sécurité d'une machine d'extraction actuelle.

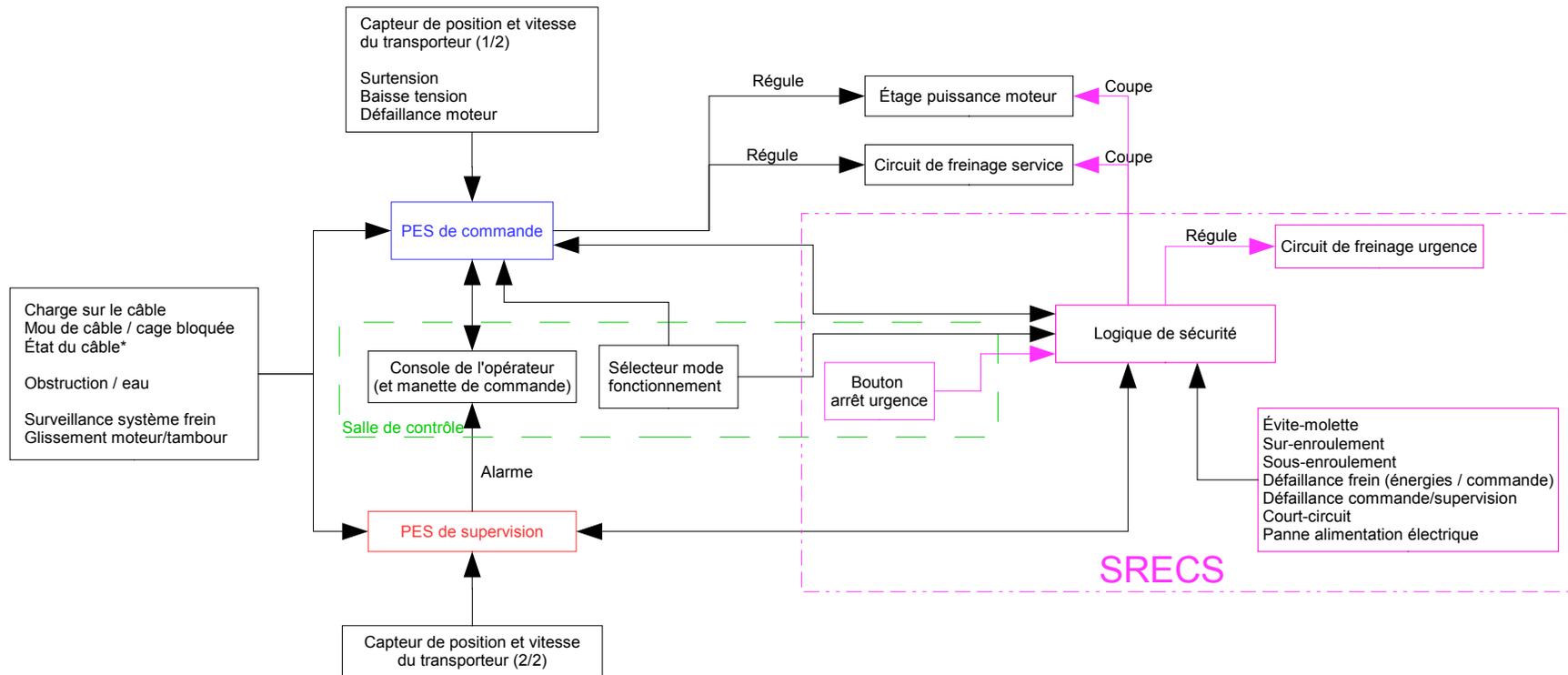


Figure 4. Schéma proposé des fonctions de commande, de supervision et de sécurité pour les futures machines d'extraction.

3.2 Fonctions de sécurité

Le SRECS d'une machine d'extraction réalise un grand nombre de fonctions de sécurité, qui peuvent varier d'une machine à l'autre suivant le type de machine d'extraction, le type de système de freinage, son fonctionnement automatique ou non, etc. Le SRECS n'intervient pas tant que la machine d'extraction reste dans les limites de fonctionnement prévues pour le système de commande.

Les fonctions de sécurité globales suivantes doivent être réalisées lorsque celles-ci sont applicables, notamment :

1. Protection de la vitesse et de la course du ou des transporteur(s) (limites supérieure et inférieure de parcours du puits);
2. Protection contre une collision du ou des transporteur(s) avec tout obstacle dans le puits ou dans la zone inondée;
3. Protection et dispositifs de sécurité pour le personnel (mode automatique et mode manuel);
4. Dispositif d'arrêt d'urgence et dispositif de validation;
5. Protection du réarmement du circuit de sécurité;
6. Protection du réseau électrique, du moteur et de la chaîne cinématique;
7. Protection des moyens de freinage;
8. Protections particulières (p. ex. : mine profonde, poulie d'adhérence, Blair);
9. Protection du fonctionnement des PES;
10. Protection du fonçage d'un puits.

Pour remplir les fonctions de sécurité précédentes, les exigences suivantes doivent être respectées lorsque celles-ci sont applicables :

1. Les dispositifs ou sous-systèmes de sécurité suivants doivent faire partie du SRECS, notamment :
 - a. Interrupteur d'évite-molette;
 - b. Limite supérieure;
 - c. Limite inférieure;
 - d. Indicateurs des défaillances;
 - e. Chiens de garde des PES;
 - f. Dispositif de validation de la manette de commande;
 - g. Détection de fermeture des portes aux niveaux;
 - h. Détection de fermeture des portes de la cage;
 - i. Dispositif de signalisation (« cloches ») de l'opérateur;
 - j. Interrupteur d'urgence manuel;
 - k. Détection des obstacles dans le puits;
 - l. Sélecteur de mode de commande.

2. Les dispositifs ou sous-systèmes de sécurité qui font partie du SRECS doivent être rigoureusement choisis afin de pouvoir atteindre les exigences de performance qui leur sont associées;
3. Les informations relatives à la position et à la vitesse du transporteur doivent être obtenues et acheminées de manière indépendante au PES de commande et au PES de supervision. Il doit y avoir au moins un capteur par tambour pour le PES de commande et de supervision, ainsi qu'au moins un capteur de supervision de la vitesse installé sur l'arbre du moteur ou sur l'arbre principal de la machine qui envoie l'information à chacun des PES. Les calculs de position et de vitesse devraient être effectués différemment par le PES de commande et le PES de supervision. Les valeurs de position et de vitesse du transporteur calculées par le PES de commande et le PES de supervision doivent être similaires en tout temps pour assurer un fonctionnement sans faute.

Les objectifs généraux et les événements dangereux spécifiques à ces fonctions de sécurité sont détaillés au chapitre 4. Les exigences relatives à ces dispositifs ou sous-systèmes de sécurité sont présentées au chapitre 5.

3.3 Circuit de sécurité

Advenant qu'un circuit de sécurité soit utilisé, la boucle en série doit comprendre minimalement les dispositifs de sécurité suivants :

- L'interrupteur d'évite-molette et ses arrangements de contact de retour;
- Le relais de surcharge du disjoncteur de la boucle à courant continu (DC), s'il n'est pas connecté au PES de commande;
- Les interrupteurs d'arrêt d'urgence aux consoles d'opération;
- Le contact du chien de garde du PES de supervision;
- Le contact de déclenchement émanant du PES de supervision;
- Le contact du chien de garde du PES de commande;
- Le contact de déclenchement émanant du PES de commande;
- Le contact du chien de garde des autres PES auxiliaires;
- Le contact de déclenchement émanant des autres PES auxiliaires.

Un tel circuit de sécurité, si utilisé, doit faire partie intégrante du SRECS.

3.4 Système de commande relatif à la sécurité

Le SRECS doit présenter un niveau d'intégrité de sécurité (SIL) ou un niveau de performance (PL) équivalent ou supérieur à celui nécessaire pour chacune des fonctions de sécurité. Il est probable que le circuit de sécurité doive être remplacé par une logique de sécurité pour atteindre les SIL ou les PL requis.

Un niveau d'intégrité SIL3, selon la méthode prescrite dans la norme CEI 62061 (voir sous-section E du rapport annexe pour plus de détails), a été attribué à toutes les fonctions de sécurité génériques. Cependant, à la suite d'une analyse du risque spécifique ou de l'utilisation d'un autre outil de détermination des niveaux d'intégrité, un SIL (ou un PL) différent pourrait être attribué à des fonctions de sécurité spécifiques à une machine d'extraction.

3.5 Étages de puissance du moteur

Les défaillances des étages de puissance du ou des moteur(s) entraînant une augmentation immédiate du risque (par exemple : ouverture avec du retard du disjoncteur de boucle/*loop breaker*) doivent être prises en compte par le SRECS.

L'intervention du SRECS en raison d'un problème qui n'est pas relié à l'étage de puissance peut, pendant un délai de moins d'une seconde, garder de l'énergie dans le moteur afin d'éviter l'accélération du transporteur lorsqu'il est en descente.

4. FONCTIONS DE SÉCURITÉ, TYPES D'ARRÊT OU D'ACTION ASSOCIÉS, ESSAIS ET VÉRIFICATIONS PÉRIODIQUES

La liste des protections indiquées dans ce chapitre est aussi exhaustive que possible. Selon le type de machine d'extraction, toutes ces protections ne s'appliquent pas nécessairement. Cependant, toutes les protections existantes sur une machine doivent être soumises à des essais et à des vérifications selon les fréquences indiquées dans les tableaux 2 à 11. Ces essais et vérifications doivent être consignés dans un registre de suivi et de vérification de façon systématique, afin d'en faciliter le suivi. Ce registre doit être facilement accessible sur le site aux intervenants, dont les inspecteurs. Lorsqu'une protection est présente sur la machine d'extraction, mais qu'elle n'est pas mentionnée dans les tableaux ci-dessous, une analyse du risque spécifique à cette protection doit être faite afin de déterminer le SIL et le type d'arrêt de sécurité ou d'action. Les protections associées à des fonctions de sécurité sont identifiées par des cases grisées dans les tableaux, sauf pour le fonçage d'un puits.

Les protections spécifiées dans le règlement demeurent obligatoires. Les vérifications annuelles ou biennales peuvent être effectuées par une firme spécialisée. L'entreprise exploitant une machine d'extraction doit être en mesure de démontrer que toutes les protections de la machine concernée sont vérifiées périodiquement.

Pour ce chapitre, les différents essais périodiques mentionnés au registre des machines d'extraction ont été regroupés par fonction de sécurité, puis par ordre croissant de numéro de tâche. La colonne « article » des tableaux réfère au numéro d'article du RSSM (et parfois des normes SABS) lié à l'essai périodique en question. Les niveaux d'intégrité de sécurité pour des fonctions de sécurité génériques sont présentés au chapitre « Analyse du risque » dans le rapport annexe. Lorsque des dispositifs de protections participent à la réalisation de plusieurs fonctions de sécurité, les numéros de registre correspondants apparaissent pour chacune des fonctions de sécurité. Ainsi, certains numéros de registre apparaîtront dans plusieurs tableaux.

4.1 Protection de la vitesse et de la course du ou des transporteur(s) (limites supérieure et inférieure de parcours du puits)

Cette fonction de sécurité a pour objectif de maintenir les valeurs de l'ensemble position-vitesse du transporteur à l'intérieur des limites du profil programmé dans les PES. Dès que les paramètres position-vitesse sortent de leur plage nominale, un arrêt du transporteur doit être déclenché (ISO 22559-1, 2014, adapté de 6.4.5). Le Tableau 2 liste les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Usuellement, les profils de supervision sont fixés par programmation à la mise en service de l'installation. La vitesse de la machine d'extraction peut changer automatiquement en fonction des scénarios (par exemple, présence de travailleurs ou non dans la cage-skip).

Tableau 2. Dispositifs de protection de la vitesse et de la course du ou des transporteur(s)

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|----------|-----------|---|-----------------------|------------------|
| 550 | 1/sem | Évite-molette et dispositifs de dérivation pour l'essai de l'évite-molette | 227, 232 (2), 233 (2) | 1 |
| 552 | 1/sem | Limites de fin de course supérieure | 232 (3), 233 (2) | 1 |
| 553 | 1/sem | Limites de fin de course inférieure | 232 (3), 233 (2) | 1 |
| 554 | 1/sem | Excès de vitesse aux limites de parcours du puits | 232 (4), 242 | - |
| 555 | 1/sem | Dispositifs de retour (sélecteur ou animation) | 232 (5) | 1 |
| 557 | 1/sem | Indicateur de vitesse | 232 (9) | - |
| 560 | 1/sem | Indicateur de position du ou des transporteurs | 243 | - |
| 561 | 1/sem | Anti-déversement: limite de transport du personnel | 235 | 1 |
| 562 | 1/sem | Vitesse en mode protection du personnel | 242 | 1 |
| 575 | 1/sem | Vérification de l'étalonnage : mise à zéro et maximum | | - |
| 730 | 2 ans | Dispositif de vérification de la décélération du transporteur aux limites de parcours du puits (-25% du début de la zone de décélération) | 237 (3) 237.1 | 1 |
| 750 | 1/mois | Excès de vitesse hors des zones de décélération (personnel) (Inscrire au registre la marge à l'excès de vitesse) | 241 (1a), 232 (4) | 1 |
| 751 | 1/mois | Excès de vitesse hors des zones de décélération (matériaux, matériel) (Inscrire au registre la marge à l'excès de vitesse) | 241 (1a), 232 (4) | 1 |
| 753 | 2 ans | Protection d'étalonnage (Écart de la position et de la vitesse entre les deux PES) : mise à zéro et maximum | | 4 et 1* |
| 754 | 2 ans | Mauvaise direction du transporteur par rapport à la commande donnée | | 1, 2 ou 3** |
| 755 | 2 ans | Mauvaise direction de la charge de minerais (en descente) | | 1 |

* Le système déclenche une alarme pour annoncer qu'il y a un écart entre les positions et si l'écart dépasse la valeur admissible, arrêt de type 1.

** Si la décision d'arrêt est prise en fonction de la position relative du transporteur, de sa trajectoire dans le puits et d'éventuels obstacles, l'arrêt peut être de type 2 ou 3. Si la position relative du transporteur dans le puits et d'éventuels obstacles n'est pas prise en compte, l'arrêt doit être de type 1.

4.2 Protection contre une collision du ou des transporteur(s) avec tout obstacle dans le puits ou la zone inondée

Cette fonction de sécurité a pour objectif d'éviter une collision du transporteur avec tout obstacle dans le puits (porte de sécurité pour les travailleurs dans le puits, chaises automatiques, porte d'arrêt des pierres (*spilldoor*), zone inondée, etc.) (ISO 22559-1, 2014, Réf. ISO 22559-1, adapté de 6.4.7).

Deux cas de figure sont possibles :

1. arrêt d'urgence immédiat dès qu'un obstacle est détecté;
2. après la détection d'un obstacle, comparaison avec position, vitesse, sens de déplacement du transporteur => décision sur le type et l'emplacement de l'arrêt.

Le Tableau 3 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 3. Dispositifs de protection contre une collision du transporteur avec tout obstacle dans le puits ou dans la zone inondée

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/action |
|----------|-----------|---|--------------------|-----------------|
| 522 | 1/sem | Dispositifs du transporteur pour vérifier l'application des parachutes | | 4 ou 5 |
| 556 | 1/sem | Ampèremètre | 232 (6) | - |
| 558 | 1/sem | Mou de câble | 232 (10), 253.2 | 1 |
| 570 | 1/sem | Protection associée au verrouillage mécanique du skip fermé, sous le point de déversement | 330 | 1 |
| 571 | 1/sem | Portes de sécurité (surface) et autres obstacles dans le puits | 388 | 1 ou 2 ou 3* |
| 572 | 1/sem | Protection station(s) de chargement (contre un déversement dans le puits) | | - |
| 576 | 1/sem | Dispositifs d'alarme de haut niveau d'eau au fond du puits | 232 (11), 232.1 | 4 ou 5** |

* Si la décision d'arrêt est prise en fonction de la position relative du transporteur, de sa trajectoire dans le puits et d'éventuels obstacles, l'arrêt peut être de type 2 ou 3. Si la position relative du transporteur dans le puits et d'éventuels obstacles n'est pas prise en compte, l'arrêt doit être de type 1.

** L'alarme est une obligation du RSSM (art. 232 (11)). Selon la configuration du fond du puits et la connaissance précise du niveau d'eau, des actions ou arrêts automatiques peuvent être déclenchés.

4.3 Protection et dispositifs de sécurité pour le personnel (mode automatique et mode manuel)

Cette fonction de sécurité a pour objectif de protéger les travailleurs. Elle vise notamment à arrêter et à empêcher les mouvements de la machine d'extraction lorsque la porte du transporteur n'est pas complètement fermée, en mode automatique ou semi-automatique.

Cette fonction de sécurité a aussi pour objectif d'empêcher et d'arrêter les mouvements du transporteur si une des portes palières n'est pas complètement fermée et de ne pas permettre l'ouverture des portes palières si le transporteur n'est pas à l'arrêt au niveau correspondant.

Le Tableau 4 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 4. Dispositifs de sécurité pour le personnel

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|----------|-----------|---|---------|------------------|
| 521 | 1/sem | Capteurs de fermeture de/des porte(s) de cage (en mode automatique ou semi-automatique)* | 253.1 | - |
| 522 | 1/sem | Dispositifs du transporteur pour vérifier l'application des parachutes | | 4 ou 5 |
| 557 | 1/sem | Indicateur de vitesse | 232 (9) | - |
| 559 | 1/sem | Système de signalisation aux consoles (en mode manuel) | 263 | - |
| 561 | 1/sem | Anti-déversement: limite de transport du personnel | 235 | 1 |
| 579 | 1/sem | Dualité de manœuvre pour la manette de commande avec seulement la manette (<i>joystick</i>) en montée (mode manuel sans la pression sur le bouton)* | | - |
| 772 | 1/mois | Verrouillage électrique des barrières (porte) du puits (en mode automatique ou semi-automatique)* | | - |
| 773 | 1/mois | Système de signalisation du puits (en mode automatique) | 263 | 1 |
| 865 | 1/mois | Protection entre les différentes machines du puits (selon la configuration des compartiments)** | | - |
| 880.6 | 1/mois | Alarme sonore lors d'un arrêt imprévu (1, 2 ou 3) en mode automatique | 260 | 4 |

* Empêche la mise en marche de la machine d'extraction

** Au choix du concepteur

4.4 Dispositif d'arrêt d'urgence et de validation

Cette fonction de sécurité a pour objectif d'empêcher et de stopper les mouvements du transporteur si un des interrupteurs d'urgence manuels (boutons d'arrêt d'urgence) est actionné ou si un dispositif de validation n'est pas en position d'autorisation. Le Tableau 5 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 5. Dispositifs d'arrêt d'urgence et de validation

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|----------|-----------|---|---------|---------------|
| 551 | 1/sem | Interrupteur d'arrêt d'urgence sur la (les) console(s) de l'opérateur | 232 (1) | 1 |
| 747 | 1/mois | Dispositif de validation avec ou sans fil (commutateur d'homme mort/ <i>dead-man switch</i>) pour travaux en surface (ex : réparation d'évite-molette) ou dans le puits* | | 1 |
| 770 | 1/mois | Interrupteurs d'arrêt installés aux niveaux de chargement et dans la cage | | 1 |
| 773 | 1/mois | Système de signalisation du puits (en mode automatique) | 263 | 1 |
| 860 | 1/mois | Interrupteurs d'arrêt aux recettes | | 1 |

* Voir les sous-sections 2.13.3, 2.15 et 5.12.

4.5 Protection du réarmement du SRECS ou du circuit de sécurité

Cette fonction de sécurité a pour objectif d'empêcher l'utilisation de la machine d'extraction à la suite d'un arrêt de type 1, 2 ou 3, tant que la condition ayant déclenché l'arrêt n'a pas été corrigée. Cette fonction de sécurité a aussi pour objectif d'obliger des conditions initiales de la machine pour empêcher le déplacement intempestif du transporteur lors du réarmement.

Les conditions nominales de fonctionnement doivent être réunies afin de pouvoir réarmer la machine d'extraction, en plus des conditions supplémentaires listées ci-dessous. Le Tableau 6 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 6. Dispositifs de protection du réarmement du SRECS ou du circuit de sécurité

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|----------|-----------|--|---------|---------------|
| 563 | 1/sem | Conditions de réarmement : manette de commande en position neutre | | - |
| 564 | 1/sem | Conditions de réarmement : moyens de freinage appliqués (freins fonctionnels et appliqués) | 249 | - |
| 721 | 1/an | Condition de réarmement : dispositif du frein appliqué (manette de freinage) | | - |

4.6 Protection du réseau électrique, du moteur et de la chaîne cinématique

Cette fonction de sécurité a pour objectif de vérifier certains paramètres du moteur (température, tension, l'intensité du courant) et du réseau électrique afin de s'assurer de leurs fonctionnalités. Dès que certains paramètres prédéfinis sortent de leur plage nominale ou dès qu'un défaut apparaît, il faut déclencher un arrêt en toute sécurité du transporteur ou une alarme. C'est une sous-fonction de la fonction de sécurité globale qui a pour objectif d'empêcher les mouvements incontrôlés du transporteur (ISO 22559-1, 2014, adapté de 6.4.6).

Le Tableau 7 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 7. Dispositifs de protection du réseau électrique, du moteur et de la chaîne cinématique

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|-----------|-----------|--|-------------------------------|------------------|
| 565 | 1/sem | Freins appliqués avant de débrayer un tambour | 251 | - |
| 577 | 1/sem | Vérification des batteries du PES de commande (KA1) et du PES de supervision (UHM) | | 4 |
| 580 | 1/sem | Essais de la génératrice d'urgence (cycle complet dans le puits) | 54 (5c) | - |
| 700 | 2 ans* | Faute de l'alimentation sans coupure UPS (<i>Uninterruptible Power System</i>) | 288.1/SABS 0294 9.8 | 3 |
| 701 à 706 | 2 ans* | Protection du réseau électrique et protection électrique du moteur | 233 (5, 6 et 7) SABS 0294 9.8 | 1 |
| 707 | 1/an | Perte de couple du moteur de la machine d'extraction | 232 (7) | 1 |
| 708 | 2 ans* | Ouverture en surcharge instantanée de la boucle de courant continu | 233 (6) | 1 |
| 709 | 1/an | Perte totale du réseau électrique pour la machine d'extraction et pour tous ses accessoires | 233 (3) | 1 |
| 710 à 717 | 2 ans | Vérification des températures des composantes de la machine | | 4 |
| 746 | 1/an | Protection de glissement de l'embrayage à friction | 252.2 (2) | 1 ou 2 |
| 780 | 1/mois | Variateur électrique et système de contrôle: vérifier dispositifs de sécurité et interverrouillage | 288.1/SABS 0294 9.8 | - |
| 880.3 | 1/sem | Système de refroidissement de l'engrenage | | 4 |
| 861 | 1/an | Surveillance des mises à la terre des différentes alimentations de la machine d'extraction - Perte de continuité | 288.1/SABS 0294 9.8 | 3 |
| 862 | 1/mois | Protection du fonctionnement des sources auxiliaires d'alimentation | 260.1 | 3 |

* 1/mois si SABS0294 s'applique (câble à facteur de sécurité réduit, art. 288.1)

4.7 Protection des moyens de freinage

Cette fonction de sécurité a pour objectif de garantir le bon fonctionnement des systèmes de freinage de service et d'urgence de la machine d'extraction (ISO 22559-1, 2014, adapté de 6.4.6). Le Tableau 8 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 8. Dispositifs de protection des moyens de freinage

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/action |
|----------|-----------|---|-------------------------|--------------|
| 450 | 1/mois | Vérification du moyen de freinage par 3 essais du circuit de sécurité, article 288.1 | 288.1 (SABS0294 9.6.4)* | - |
| 453 | 1/an | Essai annuel du moyen de freinage, article 288.1 | 288.1 (SABS0294 9.6.5)* | - |
| 512 | 1/sem | Interrupteurs d'usure de garnitures de freins à disque (1 interrupteur/sem) | 232 (8) | 3 |
| 574 | 1/sem | Protection associée à la perte de pression d'air | | 1 |
| 713 | 2 ans | Température du ou des disques de frein du tambour | | 4 |
| 714 | 1/an | Température de l'huile du circuit hydraulique des freins | | 4 |
| 720 | 1/an | Niveau de pression de dégagement des freins | | 2 |
| 721 | 1/an | Condition de réarmement : dispositif du frein appliqué (manette de freinage) | | - |
| 722 | 1/an | Exactitude des transducteurs de pression. | | - |
| 723 | 1/an | Dispositif de détection entre le mode de freinage voulu par le PES (rapide et lent) et celui appliqué | | 3 |

* Si la norme SABS0294 s'applique (câble à facteur de sécurité réduit)

4.8 Protection particulière (mine profonde, poulie d'adhérence, Blair, machines automatisées, etc.)

Ces fonctions de sécurité s'appliquent seulement pour certaines installations, selon leurs caractéristiques (tambour simple, double, poulie d'adhérence, Blair) et leur niveau d'automatisation. Elles ont pour objectif d'éviter des situations pouvant devenir problématiques, par exemple : un câble trop ou pas assez tendu en détectant que les paramètres prédéfinis restent dans leur plage nominale, un câble abîmé en détectant l'apparition de défauts du câble, un glissement du câble, etc. Le Tableau 9 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 9. Dispositifs de protection particuliers

| Registre | Fréq. | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/ action |
|----------|--------|--|--|------------------|
| 530 | 1/sem | Dispositifs de synchronisation (poulie d'adhérence) | 236 | 1 |
| 531 | 1/sem | Dispositifs de coinçage de la cage ou du skip (Interrupteur à moins d'un mètre de la boucle d'équilibre, poulie d'adhérence seulement) | 237 (2) | 1 |
| 532 | 1/sem | Dispositifs contre les glissements de câble sur la poulie d'adhérence | 237 (1) | 1 |
| 533 | 1/sem | Protection de la rupture des câbles d'équilibre (poulie d'adhérence seulement) | | 1 |
| 558 | 1/sem | Mou de câble (< 60 % du transporteur) et câble tendu (> charge statique +10 % force initiale du câble) (mode automatique) | 253.2 | 1 |
| 578 | 1/sem | Dispositifs d'égalisation des charges des câbles (tambour Blair) | 232.1 (1) et 232.2 (2) 288.1/SABS SABS 0294 9.4.1 et 9.4.2 | 2 ou 3**** |
| 581 | 1/sem | Détecteur de mauvais enroulement du câble sur le tambour (tambour Blair)***** | 288.1 SABS 0294 9.5 | 1 |
| 703 | 2 ans | Surcharge différée du moteur (déclenchement sur la surcharge de la cage) | 232 (7), 233 | 1 |
| 740 | 1/an | Vérification de l'appareil de mesure en continu de la section du câble et détection par le système de surveillance du câble d'une perte de section de plus de 10 % (ou anomalie)** | 288.1 (3) | 2 ou 3 |
| 746 | 1/an | Protection de glissement de l'embrayage à friction | 252.2 (2) | 1 |
| 780 | 1/mois | Variateur électrique et système de contrôle: vérifier dispositifs de sécurité et de verrouillage et d'interverrouillage | 288.1 (1) SABS 0294 9.8 | - |
| 781 | 1/an | Surcharge > 15 % de variation dynamique de la charge rupture pour plus d'un cycle sur 10 cycles successifs | 288.1 SABS 0294 7.1.4 (a) | 3 |
| 781 | 1/an | Charge utile moyenne sur 20 cycles dépasse charge utile autorisée | 288.1 SABS 0294 7.1.4 (b) | 3 |
| 781 | 1/an | Charge > 40 % de la charge à la rupture* | 288.1 SABS 0294 7.1.4 (d) et 8.1.2 | 2 |
| 803 | 1/an | Protection du signal de mesure de la charge suspendue au câble | 253.2, 288.1 SABS 0294 7.1.4 (c) | 3 |
| 809 | 1/mois | Restriction avec les chaises encore appliquées (système de <i>chairing</i>) | | 1 |

* Et évaluation complète de l'état du câble selon la norme SABS 0293

** Ou fin de vie du câble

*** Si SABS0294 s'applique (câble à facteur de sécurité réduit)

**** Selon l'écart de charge des câbles

***** Peut se retrouver pour les machines à tambour simple ou double, et également pour les tambours Blair sans facteur de sécurité réduit pour les câbles

Au moment de la publication de cette fiche technique, selon l'article 288.1, les câbles à facteur de sécurité réduit doivent répondre aux exigences des normes sud-africaines (SABS 0293, 1996) et (SABS 0294, 2000), sous réserve du guide d'adaptation (Canmetmines, 2002).

4.9 Protection du fonctionnement des PES

Cette fonction de sécurité a pour objectif de s'assurer du bon fonctionnement des PES et d'arrêter le fonctionnement des machines d'extraction en cas de problème. Le Tableau 10 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 10. Dispositifs de protection du fonctionnement des PES

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/action |
|----------|-----------|---|---------|--------------|
| 756 | 2 ans | Surveillance du fonctionnement interne du PES et du chien de garde | | 1 |
| 757 | 2 ans | Protection pour le changement de programme du PES | | 1 |
| 760 | 2 ans | Surveillance du bon fonctionnement des relais associés au circuit de sécurité | | 3 |

4.10 Protection du fonçage d'un puits

Cette fonction de sécurité a pour objectif de garantir le bon fonctionnement de la machine d'extraction lors du fonçage du puits. Le fonçage de puits n'étant pas le sujet de la fiche technique, cette sous-section est incomplète et est donnée à titre indicatif seulement, à des fins de comparaison avec le registre des machines d'extraction. Le Tableau 11 présente les sous-fonctions et dispositifs de protection relatifs à cette fonction de sécurité.

Tableau 11. Dispositifs de protection du fonçage d'un puits

| Registre | Fréquence | Sous-fonction/Dispositif de protection | Article | Arrêt/action |
|----------|-----------|---|---------|--------------|
| 590 | 1/sem | Curseur qui suit le cuffat | 320 | 1 |
| 591 | 1/sem | Interrupteur qui vérifie la position des fourchettes du curseur | 320 | 1 |
| 592 | 1/sem | Interrupteur qui vérifie la position des taquets supérieurs | 321 | 1 |
| 593 | 1/sem | Limite inférieure de parcours (2 tours de tambour max.) | 233 (2) | 1 |
| 594 | 1/sem | Vitesse sous les taquets inférieurs | 234 | 1 |

4.11 Essais fonctionnels

Durant la mise en service de l'installation d'extraction, la firme qui a conçu le système de commande de la machine d'extraction doit effectuer des essais complets de chacune des fonctions de sécurité associées aux différents PES en respectant les exigences d'indépendance mentionnées dans la norme CEI 61508-1 (un tableau adapté de cette norme est disponible à la sous-section D.II.II du rapport annexe). Toutes les données pertinentes qui ont servi pour les ajustements de dispositifs de protection doivent être documentées dans le rapport final de mise en service. Durant les opérations courantes de la machine d'extraction, advenant une réparation à l'un des dispositifs de protection, des essais visant à confirmer le fonctionnement adéquat de ce dispositif et des fonctions de sécurité pour lesquelles il est utilisé doivent être effectués à la suite de la réparation et être inscrits au registre des appareils servant à l'extraction.

5. EXIGENCES TECHNIQUES RELATIVES AUX PES DE COMMANDE, PES DE SUPERVISION ET SRECS

Les principes généraux énoncés ci-après sont extraits soit de pratiques existantes et validées pour des PES utilisés avec des machines d'extraction, soit de recommandations obligatoires pour des PES conformes aux normes pertinentes ou de recommandations générales sur les PES et la sécurité.

Tout PES ou élément de PES qui commande ou supervise une machine d'extraction doit respecter les principes généraux suivants ou présenter un niveau de sécurité équivalent.

Une analyse des défaillances de cause commune devrait être faite afin de déterminer les défaillances potentielles des systèmes ou sous-systèmes multiples susceptibles de réduire les avantages de la redondance par l'apparition simultanée des mêmes défaillances dans les multiples parties (Annexe C.6.3. de CEI 61508, 2010).

À la lumière de cette analyse des défaillances de cause commune, la machine d'extraction et son système de commande devraient être conçus de manière à éviter toutes les défaillances de cause commune raisonnablement prévisibles, notamment : pour les éléments mécaniques des systèmes de freinage, pour la programmation des PES de commande et PES de supervision et pour les autres éléments listés dans le chapitre 5.

5.1 Programmation et paramétrage

Les PES doivent avoir les caractéristiques de programmation et de paramétrage suivants :

- La programmation de base ainsi que le paramétrage fixe du système ne doivent pas être accessibles à l'opérateur de la machine d'extraction;
- La programmation de base doit avoir fait l'objet d'une validation exhaustive et documentée avant sa première mise en service (CEI 61508, 2010);
- Le paramétrage et l'étalonnage (calibration) doivent être réservés à des personnes clairement désignées et selon des procédures qui garantissent la sécurité des modifications apportées (voir sous-section 6.5);
- La programmation, le paramétrage et l'étalonnage ne peuvent se faire qu'en mode non protégé, qui est débloqué par un code d'accès personnalisé, ou avec une procédure de niveau de sécurité équivalent. Ce mode doit déclencher un arrêt de type 1 pour prévenir tout mouvement de la machine d'extraction. Aucune personne ne doit se trouver dans la cage lors de l'utilisation du mode non protégé;
- Le retour en mode d'accès protégé doit se faire automatiquement après un certain temps afin de ne pas maintenir en permanence la machine en mode non protégé (B.4.4 et B.4.8 de la norme CEI 61508-7, 2010; 6.11.2 de la norme CEI 62061, 2005);
- Si des changements de programme ou de paramètres d'opération doivent être effectués à distance, des mesures de sécurité doivent être mises en place pour s'assurer que ces modifications soient d'un niveau de sécurité équivalent à celui que l'on obtient si elles étaient effectuées sans réseaux de communication (directement relié à la machine);

- Le système doit générer un code (signature, numéro unique) du programme en utilisation. Toute modification au programme modifie ce numéro, permettant une gestion des modifications apportées;
- Le système doit détecter les modifications apportées au programme en utilisation et, ainsi, permettre de suivre les évolutions successives de ce programme.

5.2 Chien de garde

Afin de s'assurer que le programme se déroule normalement, une fonction de chien de garde interne et/ou externe (au programme) doit être mise en place. Ce chien de garde peut être d'un des types présentés dans la norme CEI 61508-7 (2010) annexe A.9, ou d'un autre type, mais il doit être de sécurité équivalente.

5.3 Réseaux de communication

Les PES de la machine d'extraction peuvent être reliés à des réseaux de communication externes pour les besoins d'exploitation. Si ces réseaux de communication sont accessibles à distance, des mesures de cybersécurité spécifiques doivent être prises afin d'éviter toute intrusion qui pourrait nuire au fonctionnement de la machine d'extraction et du SRECS (Fourastier et Piètre-Cambacédès, 2015).

Il est recommandé de connecter les différents PES aux réseaux de communication uniquement lorsque des connexions à distance sont requises pour les opérations de maintenance du programme ou en cas de situations problématiques. L'autorisation de connexion à distance doit être faite par une personne autorisée.

5.4 Protection contre les anomalies pendant l'utilisation et l'entretien

Pour réduire la complexité de l'utilisation, le système de commande de la machine d'extraction, et son interface doivent être conçus de manière à :

- Limiter les interventions humaines;
- Rendre aussi simples que possible les interventions requises;
- Réduire au minimum le potentiel de dégâts attribuables à une erreur de l'opérateur;
- Être conçu selon des principes ergonomiques (interface homme-machine et poste de commande);
- Avoir des interfaces simples, bien indiquées et utilisables intuitivement;
- Limiter le nombre d'informations affichées et les interactions nécessaires afin que l'opérateur ne soit pas débordé, même pendant des situations extrêmes.

Le système de commande de la machine d'extraction doit être accompagné d'un manuel d'instructions pour l'utilisation. Le contenu de ce manuel doit être facilement compréhensible par les utilisateurs et doit être disponible en version papier et/ou électronique (art. 6.4.5 de la norme ISO 12100, 2010).

Afin de faciliter l'entretien et les réparations, souvent effectuées dans des circonstances difficiles et sous pression temporelle, le concepteur d'un système de commande, de supervision ou de sécurité doit fournir :

- Les procédures d'entretien et de réparation des systèmes de commande, de supervision ou de sécurité et s'assurer que leur nombre soit aussi limité que possible, s'il n'est pas possible de les éviter totalement;
- Des outils de diagnostic suffisants, significatifs et faciles à manipuler, compte tenu des réparations inévitables.

5.5 Enregistrement d'événements

Les PES doivent générer une mise à jour des fichiers informatiques sur toutes les manœuvres et incidents en lien avec la machine d'extraction. Ces fichiers doivent être sauvegardés afin de garder une trace de toute activité et de diagnostiquer ultérieurement les sources de problèmes pouvant nuire à la fiabilité ou à la sécurité de la machine d'extraction. (SABS 0294, art. 7.1.2). Les fichiers doivent être conservés sur le site de la mine pendant une durée minimale de 10 ans et être disponibles en tout temps.

Une analyse systématique des incidents doit être faite et contribuera à prévenir des événements majeurs.

5.6 Profil de supervision

L'introduction du profil de supervision doit être effectuée manuellement dans les PES, en tenant compte de la décélération en situation d'urgence dans les conditions les plus défavorables (une pleine charge descendant à grande vitesse et avec un moyen de freinage défectueux). Les notes de calcul correspondantes doivent être conservées sur le site de la mine et être disponibles en tout temps.

5.7 Point de vérification

Deux points de vérification par tambour doivent être installés physiquement dans le puits, à l'intérieur des zones de décélération supérieure et inférieure, pour confirmer, à chaque voyage, la vitesse et la position du transporteur à ces points. Le bon fonctionnement des points de vérification doit être vérifié automatiquement à chaque cycle.

5.8 Calibration de l'indicateur de profondeur

Les encodeurs installés sur la machine d'extraction et reliés aux PES de commande et de supervision permettent d'obtenir la position et la vitesse du transporteur dans le puits. Le nombre d'impulsions par révolution de tambour doit être supérieur à 900. L'accumulation des impulsions par rapport à un point de référence connu permet au PES de calculer la position du transporteur. La calibration en fonction de cette référence doit se faire manuellement et être refaite lorsque l'écart entre la position calculée et la position réelle est supérieur à l'étirement du câble au niveau de chargement (écart entre le transporteur chargé de minerai et vide).

- Pour les machines d'extraction à poulie d'adhérence, les impulsions représentent toujours la même distance dans le puits. La calibration peut se faire à partir d'un seul point fixe dans le puits, autre que le point de vérification défini à la sous-section 5.7.
- Pour les autres types de machines d'extraction, les impulsions représentent une valeur différente selon le nombre de couches de câble enroulées sur le tambour. La calibration devrait alors se faire manuellement à une position connue (normalement, le point de déversement) et à au moins une seconde position sur une autre couche du câble (normalement, le point de changement de sa première à sa deuxième couche).

5.9 Protection contre les influences environnementales

Les PES doivent être installés dans des conditions correspondant aux recommandations des fabricants, du point de vue, par exemple, de la température, des poussières, de l'humidité, de la corrosion ou des émissions de rayonnement électromagnétique.

Les PES doivent être protégés contre les conséquences néfastes pour la sécurité que pourraient avoir toute variation, chute de tension et surtension électriques. Par exemple, toute élévation ou chute de tension dans les circuits de commande ou de supervision devra être détectée suffisamment tôt pour que les états internes puissent être préservés dans une mémoire non volatile si nécessaire et que toutes les sorties puissent être ramenées à des positions sécuritaires ou qu'une alimentation sans coupure puisse être connectée (A.8 de CEI 61508, 2010).

Les câbles d'alimentation électrique de puissance doivent être physiquement séparés des câbles servant à relayer les signaux et les informations de commande de façon à réduire l'influence des impulsions de courant de puissance sur ces derniers, dans le cas où une influence néfaste des câbles d'alimentation est anticipée.

5.10 Console d'opération

Les consoles d'opération, principale ou déportées, doivent être installées dans un environnement permettant à l'opérateur de garder sa concentration lorsqu'il opère la machine en mode manuel.

Une seule console d'opération doit être active à un instant donné (système à clé ou mot de passe). Une console qui subit un sinistre ou un dysfonctionnement ne doit pas empêcher le fonctionnement de la machine d'extraction par l'intermédiaire d'une autre console. Les modes de commande doivent être sélectionnés à partir de la console d'opération active à l'aide du sélecteur de mode de commande.

La console principale devrait servir prioritairement à tous les modes de commande spéciaux définis à la section 2.13, y compris lors des essais périodiques.

5.11 Sélecteur des modes de commande

La machine d'extraction doit être équipée d'un sélecteur de modes de commande permettant de sélectionner chacun des modes de commande (voir sous-section 2.13) requis par l'installation d'extraction. Chaque position du sélecteur doit être clairement identifiable et ne doit permettre qu'un seul mode de commande ou de fonctionnement à la fois. L'indication du mode de commande en fonction doit être prévue (mise en place d'un voyant lumineux, indication visuelle sur un écran).

Lorsque le transporteur est à l'arrêt, le changement de position du sélecteur ne doit pas provoquer la mise en marche de la machine. Lorsque le transporteur est en mouvement, le changement de position du sélecteur doit déclencher un arrêt de type 3. Le passage de la machine du mode automatique à manuel ne peut se faire qu'avec le transporteur à l'arrêt à une position prédéterminée ou à une position d'attente.

5.12 Mode de commande automatique ou semi-automatique

Dans ce mode de commande, il peut y avoir un préposé au transporteur qui commande les mouvements de la cage à l'aide de boîtiers fixes aux différents niveaux du puits ou d'un clavier dans la cage. S'il n'y a pas de préposé au transporteur, la sécurité des travailleurs doit être assurée par des portes de palier à enclenchement munies d'un dispositif d'interverrouillage (RSST, art. 176) et par une porte de cage munie d'un dispositif de verrouillage (RSST, art. 175)⁶.

5.13 Interventions spéciales

Le mode de commande pour les interventions spéciales est le seul qui autorise la neutralisation de certaines fonctions de sécurité. Ce mode de commande doit être associé à une restriction aussi poussée que possible de l'accès aux zones dangereuses. Pour cela, la clé de neutralisation ne devrait pas être conservée à proximité immédiate de la console d'opération. Toute utilisation de cette clé doit être réalisée selon une procédure et consignée dans le registre de la machine d'extraction (voir sous-section 6.3). Sinon, un registre automatique de l'utilisation de cette clé doit être généré par les PES de commande ou de supervision.

Lorsqu'une fonction de sécurité est neutralisée dans le cadre du mode de commande « Interventions spéciales », le fonctionnement de la machine doit automatiquement être limité afin de garantir la sécurité de l'opérateur et des autres travailleurs. Cette limitation peut

⁶ Le lecteur doit noter que le RSST n'utilise pas la même terminologie que celle retenue dans les normes internationales. Les fonctions de « verrouillage » et « d'interverrouillage » telles que définies dans la normalisation internationale sont plutôt appelées respectivement « interverrouillage » et « protecteur à enclenchement » dans le RSST. Les termes « verrouillage » et « interverrouillage » qui sont utilisés dans cette fiche font référence aux fonctions de sécurité telles que définies dans la normalisation internationale. Suivant ces définitions, le terme « verrouillage » est utilisé typiquement pour décrire la fonction de détection de la position d'un protecteur ou d'une porte afin d'envoyer un ordre d'arrêt à la machine avant d'accéder à la zone dangereuse de celle-ci. « L'interverrouillage » nécessite, en plus du verrouillage, un blocage en position sécuritaire d'un protecteur ou d'une porte de manière à empêcher l'accès à une zone dangereuse jusqu'à ce que les phénomènes dangereux soient maîtrisés.

comprendre notamment la limitation de la vitesse, la limitation du sens de déplacement, la restriction du sens de déplacement après l'actionnement d'une limite de parcours ou la limitation de la puissance du moteur. Cependant, la vitesse du profil de supervision doit toujours être respectée, sauf pour le changement de câble, qui peut se faire à une vitesse réduite constante (par exemple, 200 pieds/min).

Le choix de ce mode de commande doit rendre tous les autres modes de commande inopérants. De plus, ce mode de commande doit empêcher le déclenchement de fonctions dangereuses par une action volontaire ou involontaire sur les capteurs de la machine d'extraction.

L'activation de ce mode de commande, qui neutralise une des fonctions de sécurité, doit se faire à l'aide d'une clé de neutralisation ou par un autre moyen de limitation de l'usage (ex. mot de passe). L'usage de ce mode de commande doit être fait en toute connaissance de cause par les opérateurs.

6. EXIGENCES PROCÉDURALES ET ORGANISATIONNELLES

Les accidents sont dus à des causes d'origine techniques, humaines ou organisationnelles. Les chapitres précédents ont abordé les problématiques techniques. Ce chapitre présente les bonnes pratiques organisationnelles afin de minimiser les risques d'accident d'origine organisationnelle.

6.1 Responsable de la machine d'extraction

L'entreprise exploitant une machine d'extraction devrait désigner une personne responsable de celle-ci (identifié ci-après comme « le responsable »).

Le responsable :

- supervise l'utilisation, l'inspection et l'entretien de la machine d'extraction;
- désigne les travailleurs habilités à intervenir sur la machine d'extraction;
- planifie l'inspection, l'entretien et les essais de la machine d'extraction;
- encadre la rédaction des procédures écrites pour toutes les activités d'inspection, d'entretien ou d'essai de la machine d'extraction, ainsi que les autorisations de connexion aux réseaux de communication;
- s'assure que l'ensemble des procédures écrites relatives à la machine d'extraction sont à jour et les conserve sur le site de la mine;
- s'assure que les registres mentionnés au RSSM sont à jour et reflètent avec exactitude l'état de la machine d'extraction;
- supervise la mise à jour ou la modification éventuelle, matérielle ou logicielle, des différents PES de la machine d'extraction;
- communique avec la CNESST pour toutes les questions de sécurité entourant la machine d'extraction (personne relais);
- organise la formation du personnel habilité à intervenir sur la machine ou ses systèmes;
- doit être en conformité avec la *Loi sur les ingénieurs* pour les actes réservés.

6.2 Contrôle des énergies dangereuses – Méthode alternative au cadenassage

Le contrôle des énergies dangereuses de la machine d'extraction peut se faire en utilisant une méthode alternative au cadenassage traditionnel, par exemple en utilisant le principe de la clé captive (appelée clé d'immobilisation dans certaines mines). Cette méthode alternative au cadenassage doit assurer une sécurité équivalente et s'appuyer sur une analyse du risque documentée (RSST, 2018, article 188.4). Le contrôle des énergies dangereuses à l'aide d'une méthode alternative peut être utilisé, notamment pour les opérations suivantes : inspection, graissage, changement de garniture de la molette, inspection journalière de la cage, inspection hebdomadaire de la cage, etc.; et ce contrôle peut se faire à l'aide d'un boîtier fixe ou à l'aide d'un boîtier mobile (avec ou sans fil).

La clé captive (ou un autre dispositif) peut être utilisée en mode « opération en mode manuel » ou en mode « interventions spéciales », selon le cas. Généralement, en mode « opération en

mode manuel », la clé captive permet d'immobiliser la machine, alors qu'en mode « interventions spéciales », le travailleur présent dans la zone dangereuse de la machine peut faire fonctionner ou immobiliser la machine selon la tâche à réaliser.

Le système de signalisation (cloches) est avant tout un moyen de communication pour les déplacements du transporteur, comme spécifié à l'article 263 du RSSM. Le contrôle des énergies dangereuses par ce système est donc considéré comme étant une méthode alternative au cadenassage traditionnel. Les auteurs de cette fiche sont d'avis que cette méthode alternative devrait être éliminée, étant donné que sa fiabilité sera toujours inférieure à celle obtenue soit uniquement par le système de commande ou soit par l'opérateur qui utilise le mode de commande pour les interventions spéciales. En effet, une défaillance matérielle ou une défaillance humaine peut, indépendamment l'une de l'autre, causer la défaillance dangereuse. Néanmoins, avant d'utiliser le système de signalisation comme moyen de contrôle des énergies, il est nécessaire de réaliser une analyse du risque pour démontrer qu'il s'agit du moyen le plus efficace raisonnablement applicable pour le contrôle des énergies dangereuses.

6.3 Neutralisation des sécurités

Lorsqu'il est nécessaire de déplacer ou de retirer un protecteur, et/ou de neutraliser un dispositif de protection, et/ou de neutraliser une ou plusieurs fonctions de sécurité, et que simultanément il est nécessaire que la machine d'extraction puisse être mise en marche, le responsable doit s'assurer que la neutralisation est faite dans un cadre défini à l'avance, avec des procédures écrites pour les opérations récurrentes. Il faut assurer la sécurité des travailleurs en utilisant le mode de commande pour les interventions spéciales qui est détaillé à la sous-section 2.13.3 et dont les exigences sont définies à la sous-section 5.13. Les personnes autorisées à utiliser le mode de commande pour les interventions spéciales doivent être désignées par le responsable de la machine d'extraction.

6.4 Conditions de réarmement après un arrêt de type 1, 2 ou 3

À la suite d'un arrêt de type 1, 2 ou 3, un réarmement est nécessaire. Dans l'éventualité où trois arrêts de type 1, 2 ou 3 sont générés successivement sur le même cycle, le réarmement doit être réalisé par les personnes habilitées à intervenir sur la machine d'extraction, selon une procédure établie.

6.5 Analyse du risque

En cas de doute sur les mesures de prévention à prendre et si la présente fiche technique ne répond pas à toutes les questions, une analyse du risque spécifique doit être effectuée, incluant le ou les PES de commande et de supervision, selon les démarches proposées dans les normes les plus récentes. Cela peut notamment être le cas lorsqu'une machine d'extraction est utilisée pour le fonçage d'un puits.

6.6 Documentation

La documentation suivante doit être conservée sur le site de la mine, être disponible en tout temps et mise à jour au besoin avec la collaboration du responsable :

- Certificats des spécifications de la machine d'extraction du fabricant;

- Registre des appareils servant à l'extraction;
- Registre des câbles d'acier en service sur la machine d'extraction;
- Registre de l'opérateur de la machine d'extraction;
- Certificats de capacité des molettes du fabricant;
- Certificats de capacité des transporteurs utilisés dans le puits;
- Procédure écrite pour chacune des opérations de maintenance récurrentes;
- Registre sur l'usage de la clé de neutralisation (registre de la machine d'extraction ou registre automatique réalisé par le programme);
- Procédure écrite pour chacun des essais;
- Procédure écrite pour les inspections journalière, hebdomadaire et mensuelle de la machine d'extraction;
- Procédure à utiliser à la suite d'arrêts répétitifs de type 1, 2 ou 3 de la machine d'extraction (voir sous-section 6.3);
- Procédure écrite pour toute modification ou mise à jour des programmes des PES et registre des modifications des PES;
- Procédure pour mise à jour/validation du profil de supervision et registre des modifications du profil de supervision;
- Analyse du risque formelle de la machine d'extraction, si effectuée;
- Analyse des modes de défaillance du système de freinage si applicable (SABS 0294, 2000);
- Plans et devis de l'installation d'extraction;
- Documentation fournie par le fabricant et la firme d'ingénieur qui ont mis la machine d'extraction en service;
- Rapports d'inspection annuelle par une firme indépendante;
- Registre des événements des 10 dernières années;
- Certificats des câbles d'extraction;
- Résultats d'essais de rupture des câbles d'extraction;
- Résultats des tests de vérification électromagnétiques des câbles d'extraction;
- Manuel d'instructions pour l'utilisation.

Il est recommandé qu'une équipe pluridisciplinaire soit constituée pour la rédaction et la mise à jour de la documentation relative à la machine d'extraction. Ces procédures pourraient être discutées au sein d'un groupe de travail de l'Association minière du Québec afin de partager les bonnes pratiques à l'échelle de la province.

Certains des documents et procédures mentionnés dans cette section s'appliquent à la partie mécanique des machines d'extraction et plus largement aux machines non commandées par des systèmes électroniques programmables. Néanmoins, les documents mentionnés participent au maintien d'un niveau de sécurité élevé de la machine d'extraction dans son ensemble (notion de cycle de vie dans la norme CEI 61508).

BIBLIOGRAPHIE

- Canmetmines. (2002). *Guide d'adaptation de la norme sud-africaine SABS0294:2000 et SABS0293:1996*. LMSM-CANMET Rapport 03-038(RC).
- CEI 60204-1. (2016). *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1 : règles générales*. Norme CEI 60204-1. Genève, Suisse: Commission électrotechnique internationale.
- CEI 61508. (2010). *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*. Norme CEI 61508. Genève, Suisse: Commission électrotechnique internationale.
- CEI 62061. (2005). *Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité*. Norme CEI 62061. Genève, Suisse: Commission électrotechnique internationale.
- Fortin, G., et Demers, R. (2011). *Les machines d'extraction*. CSST.
- Fourastier, Y., et Piètre-Cambacédès, Y. (2015). *Cybersécurité des installations industrielles défendre ses systèmes numériques*. Toulouse: Cepaduès éditions.
- ISO 12100. (2010). *Sécurité des machines – Principes généraux de conception -- Appréciation du risque et réduction du risque*. Norme ISO 12100. Genève, Suisse: Organisation internationale de normalisation.
- ISO 13849-1. (2015). *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception*. Norme ISO 13849-1. Genève, Suisse: Organisation internationale de normalisation.
- ISO 22559-1. (2014). *Exigences de sécurité des ascenseurs – Partie 1 : Exigences essentielles de sécurité mondiales des ascenseurs (GESR)*. Norme ISO 22559-1. Genève, Suisse: Organisation internationale de normalisation.
- Paques, J.-J., et Germain, L. (2005). *Sécurité des machines d'extraction commandées par systèmes programmables* (Rapport n° RF-412).
- Paques, J.-J., Germain, L., Fortin, G., Bourbonnière, R., Trudel, F., Dionne, N., et Gagnon, G. (2001). *Sécurité des treuils miniers commandés par systèmes programmables* (Rapport n° RF-267).
- RSSM. (2018). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines – S-2.1, r. 14*. Québec, QC: Éditeur officiel du Québec.
- RSST. (2018). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail – S-2.1, r.13*. Québec, QC: Éditeur officiel du Québec.
- SABS 0293. (1996). *Code de pratique traitant de l'évaluation de la condition des câbles à fils métalliques sur les machines d'extraction – Norme sud-africaine SABS 0293 - Édition de 1996*. Pretoria, Republic of South Africa: South African Bureau of Standards (version française : CSST).
- SABS 0294. (2000). *Code de pratique traitant des performances, des essais et de l'entretien des machines d'extraction à tambour du point de vue de la sécurité des câbles d'acier - Norme sud-africaine SABS 0294 - Première édition – 2000*. Pretoria, Republic of South Africa: South African Bureau of Standards (version française : CSST).
- Wikipedia. (2017). Chien de garde (informatique). Dans *Wikipedia*. Tiré de [https://fr.wikipedia.org/wiki/Chien_de_garde_\(informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Chien_de_garde_(informatique))