



**Conception de presses
à servomoteur -
Préconisations de sécurité**

Conception de presses à servomoteur - Préconisations de sécurité

James Baudoin
Jean-Paul Bello

Département Ingénierie des équipements de travail
Laboratoire Sûreté des systèmes automatisés

NS 338
novembre 2015

Résumé :

Les presses à servomoteur sont des machines innovantes dont la diffusion est amenée à augmenter. L'évolution des servomoteurs et l'arrivée récente sur le marché de systèmes d'entraînement de puissance intégrant des fonctions de sécurité ont contribué à leur émergence. Les servomoteurs sont par exemple utilisés pour participer aux arrêts de sécurité du coulisseau lors de la sollicitation des moyens de protection. Il n'existe pas encore de norme européenne ou internationale concernant ces presses, un projet est prévu en normalisation ISO.

Ce document présente un inventaire des techniques spécifiques aux presses à servomoteur et les résultats de leur étude détaillée, en fonctionnement normal et dans le cas d'occurrence d'une défaillance. Il souligne en particulier qu'un système d'entraînement de puissance dédié à la sécurité lorsqu'il est affecté par une défaillance, réagit à cette dernière en déclenchant une position de repli de sécurité, qui peut être différente de la fonction de sécurité initialement prévue. Dans le cas des presses à servomoteur, il peut en résulter une dégradation des performances des fonctions de sécurité.

Un certain nombre de préconisations concernant les fonctions de sécurité gérées par le système d'entraînement sont proposées. Entre autres, des « types » d'arrêts de sécurité appropriés à ces machines ont été définis, décrivant les phases confiées aux servomoteurs, et par exemple celles qui nécessitent l'utilisation complémentaire d'un frein mécanique pour retenir le coulisseau en cas d'absence de couple moteur.

Pour conclure, le document décrit les conditions permettant aux moyens de protection préconisés dans les normes des machines « traditionnelles » d'assurer leur fonction.

Abstract:

Servopresses are innovative machines whose sales are increasing. The evolution of servomotors and recent arrival on the market of power drive systems including safety functions have contributed to their emergence. For example, servomotors are used to participate in "safe" stopping of the slide when protective devices are actuated.

There is still no European or international standard for these specific presses, a draft is scheduled at ISO standardization level.

This document presents an inventory of specific techniques of servopresses and the results of their detailed study in normal operation and in case of occurrence of a failure. It particularly points out that a safety-related power drive system, when affected by a failure, reacts to the latter by initiating a failsafe position, which may be different from the initially intended safety function. In the case of the servopresses, it can result in a degradation of safety functions performances.

Recommendations regarding the safety functions supported by the power drive system are proposed. For example, safe stop "types" have been defined, describing the different steps assigned to servomotors and for example those that require a complementary mechanical brake to stop the slide in the absence of torque motor.

In conclusion, the paper describes in which conditions the means of protection that are listed in the standards for the design of "traditional" machines can ensure their function.

SOMMAIRE

1.	Présentation de la problématique	5
2.	Champ d'application du document	6
3.	Fonctionnalités et apports des servomoteurs	6
3.1.	<i>Presses traditionnelles (sans servomoteur)</i>	<i>6</i>
3.2.	<i>Presses à servomoteur.....</i>	<i>7</i>
4.	Classification des presses à servomoteur.....	8
5.	Principes généraux de fonctionnement d'une presse à excentrique à servomoteur	10
5.1.	<i>Gestion de la course du coulisseau par action sur la rotation du servomoteur.....</i>	<i>10</i>
5.1.1.	<i>Cas d'une course classique</i>	<i>10</i>
5.1.2.	<i>Cas de course réduite avec point haut intermédiaire et point mort bas</i>	<i>11</i>
5.1.3.	<i>Cas de course réduite avec point haut et point bas intermédiaires</i>	<i>11</i>
5.2.	<i>Transmission intermédiaire entre un servomoteur et un excentrique.....</i>	<i>12</i>
5.3.	<i>Arrêts du coulisseau</i>	<i>14</i>
5.3.1.	<i>Rappel sur les presses mécaniques à excentrique "traditionnelles"</i>	<i>14</i>
5.3.2.	<i>Presses mécaniques à excentrique à servomoteur</i>	<i>14</i>
5.4.	<i>Mouvement d'ouverture des outils</i>	<i>15</i>
5.5.	<i>Vitesse du coulisseau.....</i>	<i>15</i>
5.6.	<i>Résumé des caractéristiques principales d'une presse mécanique à servomoteur et comparaison par rapport à une presse mécanique traditionnelle.....</i>	<i>15</i>
6.	Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par servomoteur et vis.....	17
6.1.	<i>Les différents modes d'entraînement du coulisseau par un système vis/écrou.....</i>	<i>17</i>
6.2.	<i>Gestion des courbes d'évolution du coulisseau par variation de la vitesse du servomoteur</i>	<i>17</i>
6.3.	<i>Gestion de la course du coulisseau par action sur la rotation du servomoteur.....</i>	<i>17</i>
6.4.	<i>Transmission intermédiaire entre un servomoteur et un système vis/écrou.....</i>	<i>17</i>
6.5.	<i>Arrêts du coulisseau</i>	<i>18</i>
6.6.	<i>Mouvement d'ouverture des outils</i>	<i>18</i>
7.	Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par système hydraulique et servomoteur	18
8.	Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par système poulies/courroies et servomoteur	18
8.1.	<i>Principe d'animation du tablier</i>	<i>18</i>
8.2.	<i>Arrêts du tablier.....</i>	<i>19</i>
9.	Fonctions de sécurité relatives aux presses à servomoteur	20
9.1.	<i>Généralités/Introduction</i>	<i>20</i>
9.2.	<i>Identification des fonctions impliquées dans la sécurité</i>	<i>20</i>
9.3.	<i>Spécification des fonctions de sécurité</i>	<i>20</i>

9.3.1.	Exigences fonctionnelles relatives aux fonctions d'arrêt et de maintien à l'arrêt sûr	21
9.3.2.	Rappel des catégories d'arrêt suivant la norme EN 60204-1	21
9.3.3.	Les différentes fonctions d'arrêt d'une presse mécanique (à excentrique ou à vis) à servomoteur	22
10.	Analyse des fonctions impliquées dans la sécurité.....	27
10.1.	<i>Analyse du comportement du PDS/SR - Toutes presses à servomoteur</i>	<i>28</i>
10.1.1.	Généralités.....	28
10.1.2.	Niveau de sécurité du PDS/SR et comportement en présence de défaillance	29
10.1.3.	Mise en œuvre d'un PDS/SR pour les fonctions d'arrêt sûr	30
10.2.	<i>« Maintien à l'arrêt sûr hors énergie » utilisant une fonction STO.....</i>	<i>30</i>
10.2.1.	Analyse fonctionnelle	30
10.2.2.	Conséquences d'une défaillance	31
10.3.	<i>Fonction d'arrêt sûr type 0 utilisant une fonction STO</i>	<i>31</i>
10.3.1.	Analyse fonctionnelle	31
10.3.2.	Conséquences d'une défaillance	32
10.4.	<i>Fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1.....</i>	<i>32</i>
10.4.1.	Analyse fonctionnelle du cas SS1, a).....	32
10.4.2.	Analyse fonctionnelle du cas SS1, b).....	33
10.4.3.	Conséquences d'une défaillance pour le cas SS1, b)	34
10.4.4.	Analyse fonctionnelle du cas SS1, c)	35
10.4.5.	Conséquences d'une défaillance pour le cas SS1, c).....	35
10.5.	<i>Fonction d'arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2.....</i>	<i>37</i>
10.5.1.	Analyse fonctionnelle du cas SS2, a).....	37
10.5.2.	Analyse fonctionnelle du cas SS2, b).....	37
10.5.3.	Conséquences d'une défaillance pour le cas SS2, b)	38
10.5.4.	Analyse fonctionnelle du cas SS2, c)	40
10.5.5.	Conséquences d'une défaillance, pour le cas SS2, c).....	40
10.6.	<i>Fonction de maintien à l'arrêt sûr sous énergie utilisant une fonction SOS</i>	<i>42</i>
10.6.1.	Analyse fonctionnelle	42
10.6.2.	Conséquences d'une défaillance	43
10.7.	<i>Contribution du PDS/SR à la commande d'un dispositif de retenue ou d'un frein</i>	<i>43</i>
10.8.	<i>Conclusion sur la mise en œuvre d'un PDS/SR pour gérer des fonctions d'arrêt d'une presse à servomoteur.....</i>	<i>44</i>
10.8.1.	Remarques générales	44
10.8.2.	Remarques spécifiques à la mise en œuvre des fonctions SS2 et SOS pour participer à des fonctions d'arrêt sûr type 2 et de maintien à l'arrêt sûr sous énergie	44
10.9.	<i>Gestion des mouvements du coulisseau par un PDS/SR</i>	<i>45</i>
10.9.1.	Généralités.....	45
10.9.2.	Comportement en présence de défaillance des fonctions de surveillance	45
10.9.3.	Contrôle du sens de déplacement du coulisseau	46
10.9.4.	Gestion de la vitesse	47
10.9.5.	Cas des PDS/SR composés de plusieurs servomoteurs ou comportant un système de récupération d'énergie	48
10.10.	<i>Réflexions sur la partie mécanique du système d'entraînement</i>	<i>48</i>
10.10.1.	Introduction	48
10.10.2.	Transmission par courroies.....	49
10.10.3.	Transmission par système vis/écrou.....	49
10.10.4.	Système de freinage et/ou de maintien à l'arrêt.....	50
10.11.	<i>Performances de freinage et d'arrêt.....</i>	<i>51</i>
10.11.1.	Contrôle des performances de freinage	51

10.11.2.	Performances d'arrêt.....	52
10.11.3.	Synthèse des contrôles de performances à prévoir	54
11.	Analyse de la validité des moyens de protection conventionnels sur les presses à servomoteur	55
12.	Discussion et conclusions.....	56
Annexe A : Exemples de configurations de PDS/SR en fonction du niveau d'intégration des « modules » de sécurité dans le variateur de vitesse		58
Annexe B : Exemples de spécifications d'exigences fonctionnelles de fonctions de sécurité.....		62
Annexe C : Exemple de détermination du temps de réponse global d'une fonction d'arrêt de protection sur une presse mécanique à servomoteur		66
Annexe D : Fonctions d'arrêts de la norme CEI 61800-5-2.....		74

1. Présentation de la problématique

Les presses à travailler les métaux restent des machines particulièrement dangereuses qui nécessitent de mettre en œuvre des mesures de sécurité adaptées afin d'éviter des accidents graves du travail.

L'INRS s'est intéressé au cas d'une génération de machines innovantes, les presses à servomoteur dont la diffusion est amenée à augmenter car les nouvelles fonctionnalités qu'elles fournissent intéressent les utilisateurs. Par exemple, les caractéristiques de mouvement et d'effort du coulisseau sont variables en temps réel, ce qui offre la possibilité de réaliser des cycles de travail complexes. Il n'existe pas encore de norme de sécurité prenant en compte les spécificités de ce type de presses. Il est important que ces machines mettant en œuvre des technologies nouvelles atteignent un niveau de sécurité équivalent à celui des presses conventionnelles.

Sur ces nouvelles presses, des techniques particulières d'animation et d'arrêt des éléments mobiles potentiellement dangereux sont appliquées. Les mouvements du coulisseau sont directement dépendants d'un servomoteur¹ électrique, et sont donc indissociables de la rotation de ce dernier (voir Figure 1).

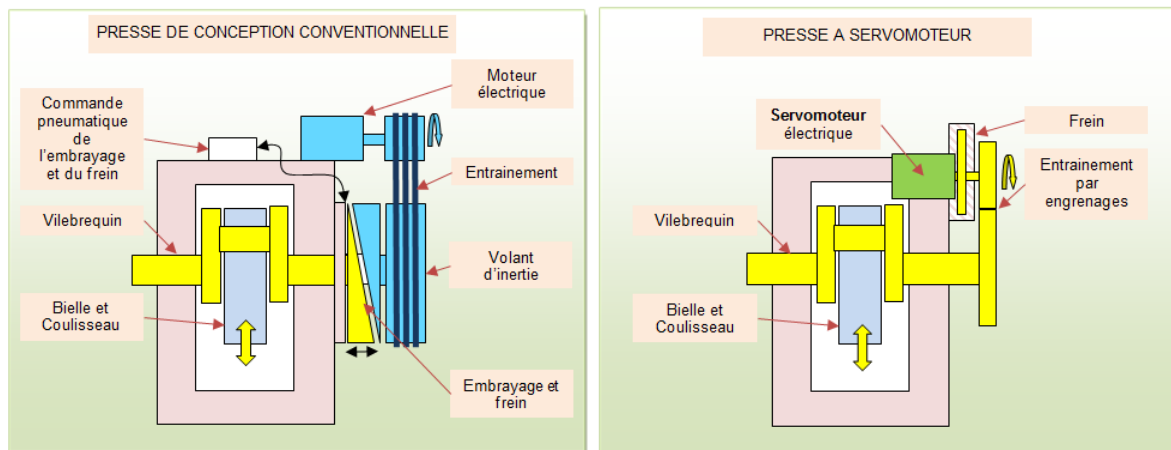


Figure 1 : Schématisation d'une presse mécanique à excentrique de conception conventionnelle et à servomoteur

L'évolution des servomoteurs et l'arrivée récente sur le marché de systèmes électroniques de puissance intégrant des fonctions de sécurité « prédéfinies » (CEI 61800-5-2²) ont contribué à l'émergence de ce type de presses. Des fonctions d'arrêt par apport d'énergie, jusqu'alors jamais utilisées sur ces machines en tant que fonctions de sécurité, peuvent désormais être mises en œuvre. Il s'est avéré nécessaire d'élaborer des principes de conception de systèmes de commandes sûrs adaptés au cas des presses à servomoteur utilisant de tels systèmes électroniques.

Ce document présente un inventaire des techniques spécifiques aux presses à servomoteur, l'étude détaillée des parties relatives à la sécurité et un point sur la validité des moyens de protection conventionnels en vue de leur utilisation sur les presses à servomoteur.

¹ Dans ce document, le terme « servomoteur » concerne le ou les servomoteur(s) nécessaire(s) à l'entraînement du coulisseau

² CEI 61800-5-2:2007 - Entraînements électriques de puissance à vitesse variable - Partie 5-2 : exigences de sécurité - Fonctionnalité

2. Champ d'application du document

Ce document traite des presses dont le coulisseau se déplace verticalement, et génère le mouvement de fermeture des outils lorsqu'il descend. Il est supposé que le mouvement de montée ne présente pas de risque, ce qui est souvent le cas sur ce type de machine. Les autres éléments mobiles tels que les coussins, éjecteurs,..., ne sont pas pris en considération.

L'inventaire des presses à servomoteur a permis d'identifier de nombreux types de presses. Cependant, le cas des presses à excentrique à servomoteur a été le plus approfondi car c'est celui qui présente la plus grande spécificité et pour lequel le plus d'informations techniques ont pu être rassemblées.

3. Fonctionnalités et apports des servomoteurs

3.1. Presses traditionnelles (sans servomoteur)

De nombreuses machines utilisent des moteurs électriques et, si besoin, des variateurs électroniques qui permettent de gérer :

- la mise en marche et l'arrêt,
- le sens de rotation du moteur,
- la vitesse de rotation,
- le couple d'entraînement,
- les rampes d'accélération et de décélération,
- d'autres fonctions comme la surcharge, le blocage mécanique du rotor,...

Dans le domaine des presses traditionnelles, les moteurs électriques sont utilisés pour fournir l'énergie motrice de base. Lorsque des variateurs électroniques sont utilisés, ils sont paramétrés pour des caractéristiques données qui ne varient jamais au cours d'un même cycle de travail (descente et montée du coulisseau).

Le moteur électrique tourne en permanence et ne joue aucun rôle dans la commande de mise en mouvement du coulisseau, ni dans son positionnement, ni dans son maintien à l'arrêt. La position du coulisseau est asservie, via des capteurs de position, à la commande d'un embrayage ou de distributeurs hydrauliques. La position du coulisseau n'est pas asservie au moteur électrique.

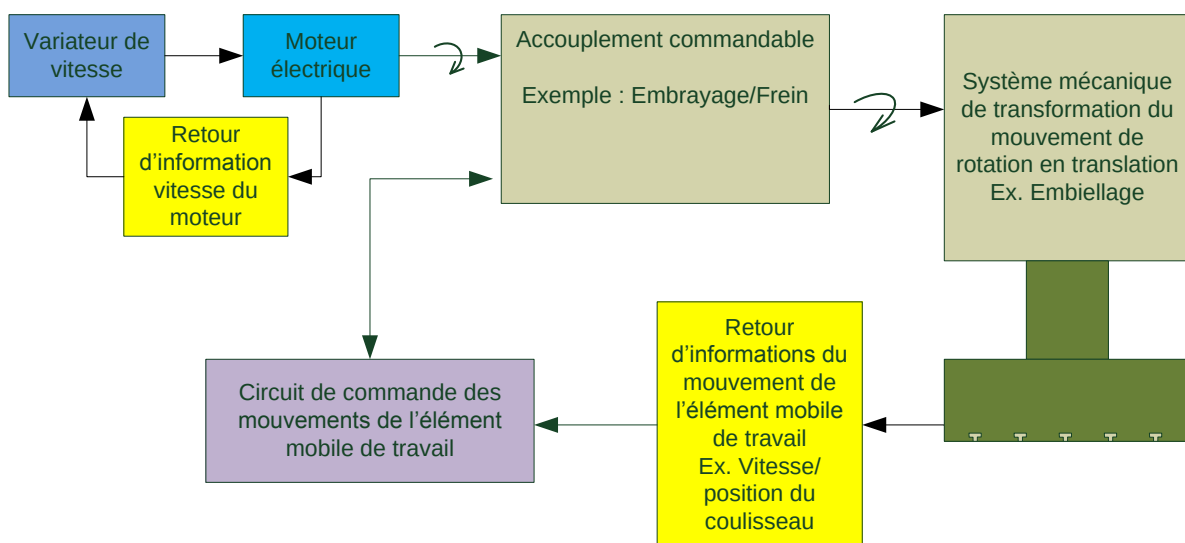


Figure 2 : Exemple schématique de presse mécanique traditionnelle à excentrique avec variateur

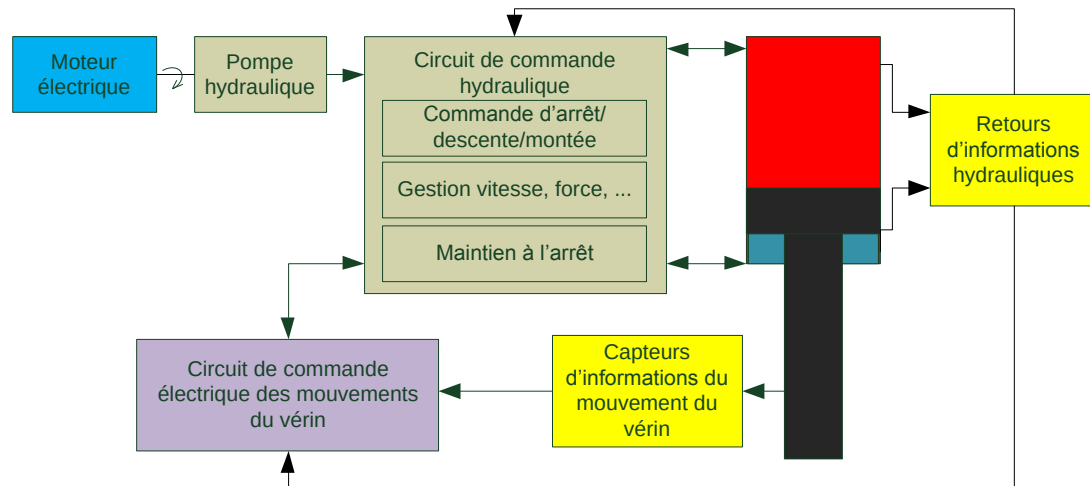


Figure 3 : Exemple schématique de presse hydraulique traditionnelle

3.2. Presses à servomoteur

Les variateurs électroniques ont évolué, en permettant de gérer en permanence et précisément la position angulaire des moteurs électriques commandés, et en étant capables de gérer un couple de freinage pour un maintien précis en position. Ce maintien à l'arrêt procède par apport d'énergie sur le moteur et n'utilise pas de frein mécanique additionnel. Les moteurs électriques ont également grandement évolué, en tolérant des commandes de marche/arrêt et d'inversion de sens de rotation fréquentes, et en pouvant fournir des couples importants, dès leur démarrage et à basses vitesses.

La cinématique des presses a alors pu évoluer, et les presses à servomoteur sont apparues sur le marché.

Comme pour les presses traditionnelles, le moteur électrique est utilisé pour fournir l'énergie motrice de base. Cependant, les mouvements du coulisseau sont directement liés à sa rotation.

Le moteur électrique assure toutes les tâches suivantes :

- rotation uniquement lorsque la mise en mouvement du coulisseau est nécessaire,
- gestion de la vitesse de déplacement du coulisseau en tout point de la course,
- gestion du sens des mouvements du coulisseau en tout point de la course,
- gestion de la mise en position du coulisseau aux points programmés en tout point de la course,
- gestion du maintien à l'arrêt du coulisseau en tout point de la course (asservissement, tant que l'alimentation en énergie est disponible).

Les mouvements du coulisseau sont donc asservis, directement à la commande de ce « servomoteur » électrique, d'où l'appellation de presses à servomoteur ou « servopresses ».

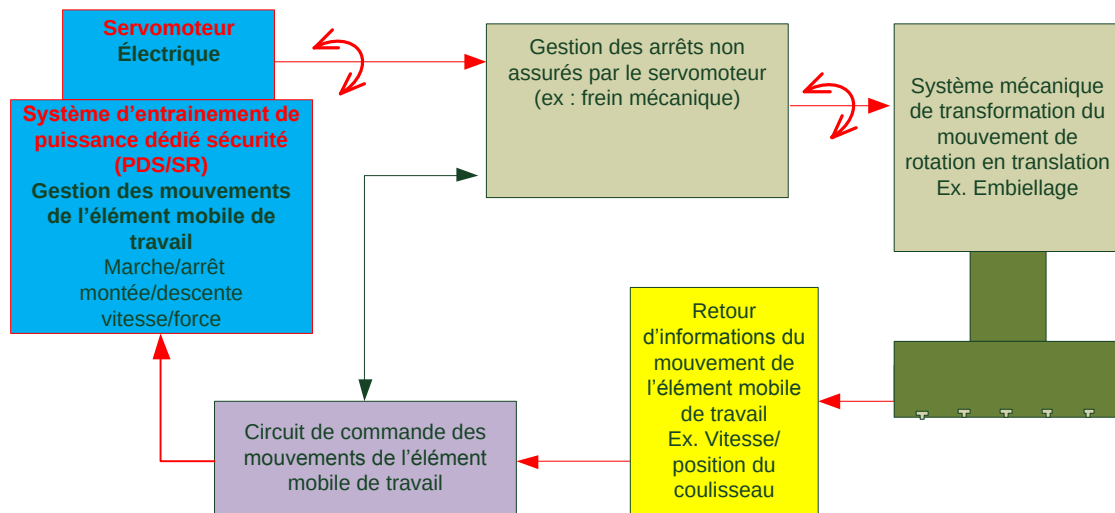


Figure 4 : Exemple schématique de presse à excentrique à servomoteur

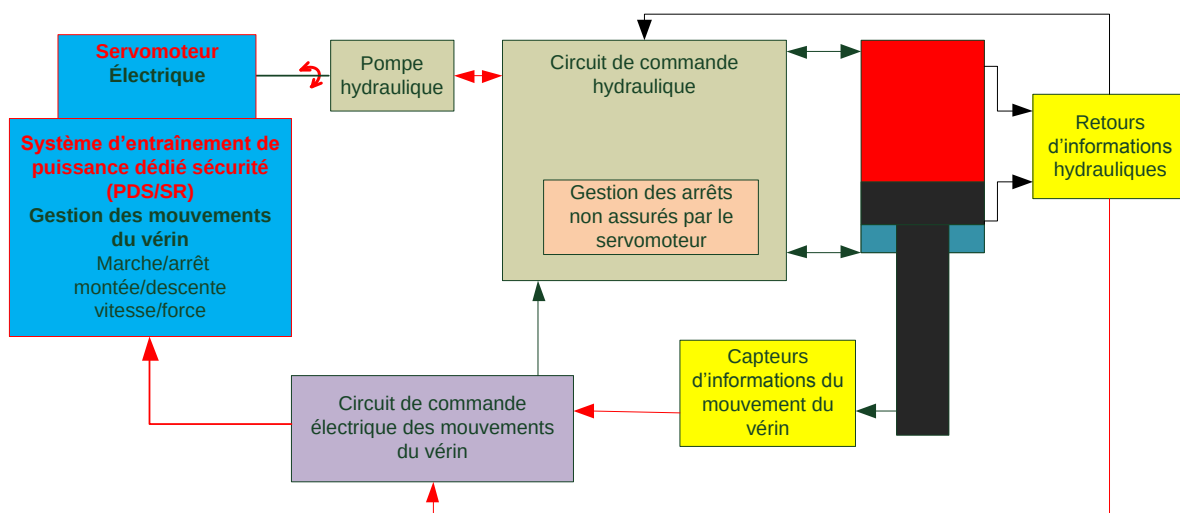


Figure 5 : Exemple schématique de presse hydraulique à servomoteur

4. Classification des presses à servomoteur

Deux grandes familles de presses à servomoteur, dont le mouvement du coulisseau est vertical, ont été prises en compte :

- les presses d'usage général telles que l'emboutissage, le découpage, (voire l'assemblage tel que l'emmanchement, le sertissage),
- les presses plieuses.

La recherche bibliographique a permis de recenser, parmi les presses du marché, celles dont l'appellation fait référence à l'utilisation de servomoteurs et de collecter les caractéristiques principales et importantes de ces machines, pouvant impacter la sécurité des opérateurs. Parmi ces caractéristiques, il faut noter par exemple, le mode d'entraînement du coulisseau. Plusieurs types d'entraînement ont été identifiés.

Entraînement par excentrique

Le mouvement du servomoteur est transmis à un excentrique qui active soit une bielle, soit une genouillère, soit un mécanisme de type « linkdrive » (système mécanique permettant un ralentissement de la vitesse du coulisseau pendant la descente). Plusieurs servomoteurs peuvent être mis en œuvre. La transmission du mouvement du servomoteur vers l'excentrique peut être directe ou indirecte via un réducteur à courroies ou à engrenages. Ce type d'entraînement concerne exclusivement les presses "mécaniques".

Entraînement par vis

Le mouvement du servomoteur est transmis à une vis qui est reliée au coulisseau. Plusieurs servomoteurs peuvent être mis en œuvre. La transmission du mouvement du servomoteur vers la vis peut être directe ou indirecte via un réducteur à courroies ou à engrenages.

Entraînement par système hydraulique

Le mouvement du servomoteur est transmis à une pompe hydraulique qui pilote le vérin supportant le coulisseau et qui gère directement les paramètres de travail de la machine, sans composants analogiques complémentaires tels que des servo-distributeurs par exemple. Plusieurs servomoteurs et pompes associés peuvent être mis en œuvre ainsi que plusieurs vérins.

Entraînement par système poulies/courroies

Ce principe est rencontré spécifiquement sur des presses plieuses. Le mouvement du servomoteur est transmis à une courroie qui est reliée au coulisseau par l'intermédiaire de poulies. Plusieurs servomoteurs peuvent être mis en œuvre.

Un inventaire des techniques d'entraînement des presses à servomoteur disponibles sur le marché en 2013 a permis de classer de manière synthétique, les principales solutions utilisées pour les presses et presses plieuses. Elles sont présentées dans le graphe de la Figure 6.

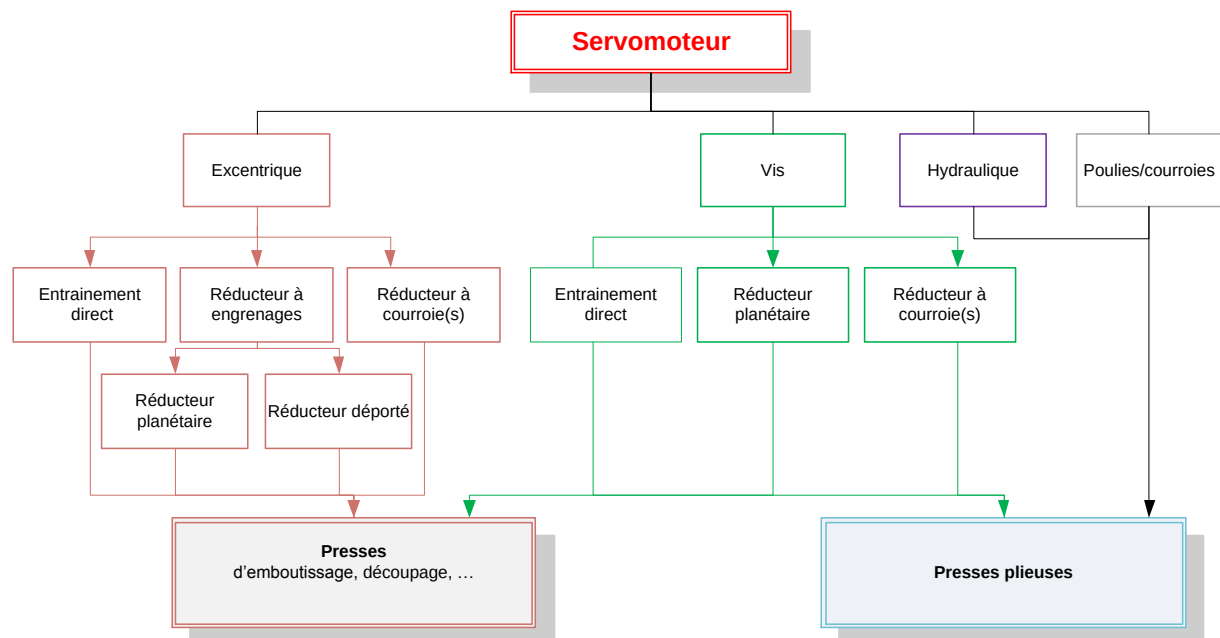


Figure 6 : Récapitulatif des différents types d'entraînement et de presses concernées

5. Principes généraux de fonctionnement d'une presse à excentrique à servomoteur

5.1. Gestion de la course du coulisseau par action sur la rotation du servomoteur

5.1.1. Cas d'une course classique

Lorsque le servomoteur tourne toujours dans le même sens au cours d'un même cycle, le fonctionnement de la presse est le même qu'une presse traditionnelle.

La Figure 7 illustre la cinématique d'une presse à servomoteur dont l'excentrique est toujours entraîné dans le même sens (précisé en partie supérieure de chaque dessin) pour la descente et la montée du coulisseau. Le servomoteur est stoppé à chaque arrêt du coulisseau, alors que le moteur est constamment en rotation sur une presse traditionnelle. La course du coulisseau est constante durant la totalité de chaque cycle car dépendante du réglage mécanique.

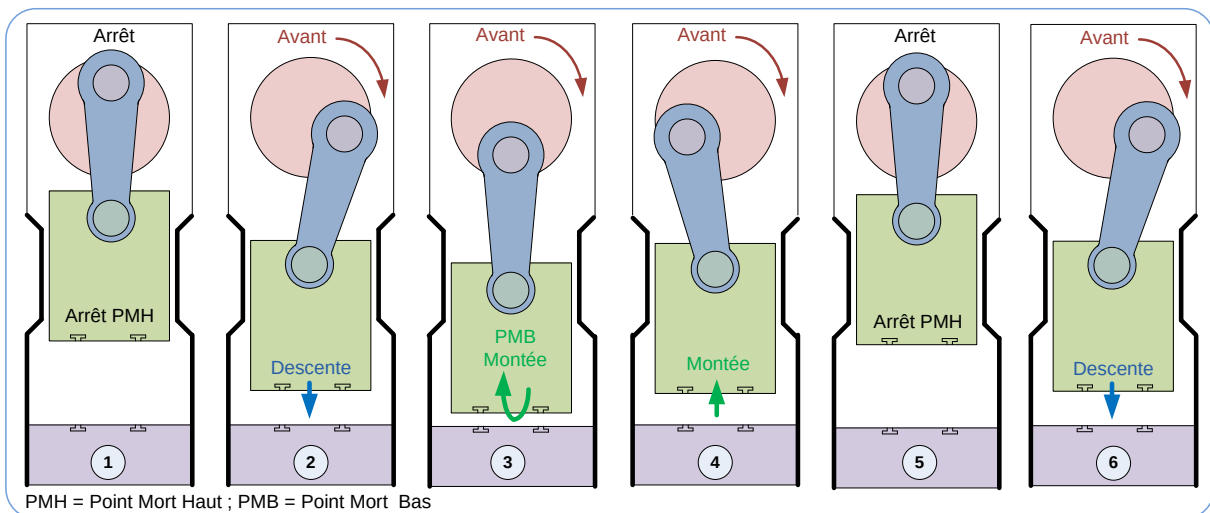


Figure 7 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur - Course maximum (points morts haut et bas) - Rotation unidirectionnelle du servomoteur

Une presse à servomoteur permet de reproduire une courbe d'évolution d'une presse traditionnelle si la vitesse du servomoteur est constante (courbe de gauche de la Figure 8), et en plus de faire varier cette courbe si la vitesse varie (autres courbes).

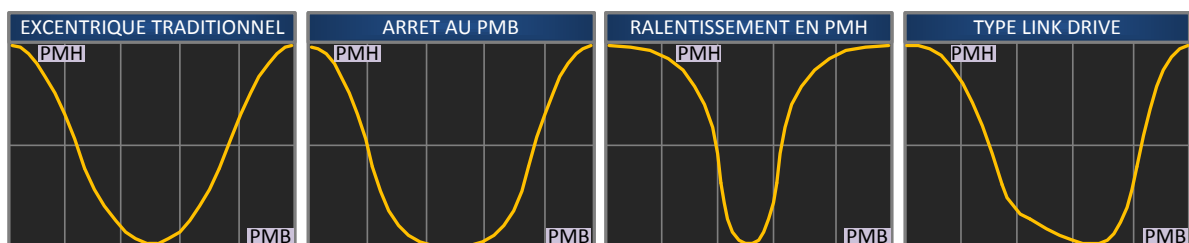


Figure 8 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur sans réglage mécanique de course - Exemples de courbes d'évolution du coulisseau (position du coulisseau/temps)

Les presses à servomoteur offrent une grande souplesse d'utilisation en permettant de faire enchaîner et varier les courses du coulisseau en inversant le sens de rotation du servomoteur au moment voulu.

Sur les Figure 9 et Figure 11, la course du coulisseau est réduite uniquement par le servomoteur, sans réglage mécanique comme ce serait le cas pour une presse mécanique traditionnelle à course variable. Les inversions successives du sens de rotation du servomoteur créent un mouvement pendulaire de l'excentrique et de la bielle.

5.1.2. Cas de course réduite avec point haut intermédiaire et point mort bas

Dans ce mode de fonctionnement, à la fin du cycle, le servomoteur est arrêté à un point haut intermédiaire, situé en dessous du point mort haut. Sa rotation est commandée pour permettre le mouvement du coulisseau, qui passe systématiquement par le point mort bas. Le sens de rotation du servomoteur (précisé en partie supérieure de chaque dessin) est inversé à chaque départ du point haut intermédiaire. Durant chaque cycle complet, il reste le même, pour la descente et la montée du coulisseau. **Le coulisseau ne passe donc pas par le point mort haut.**

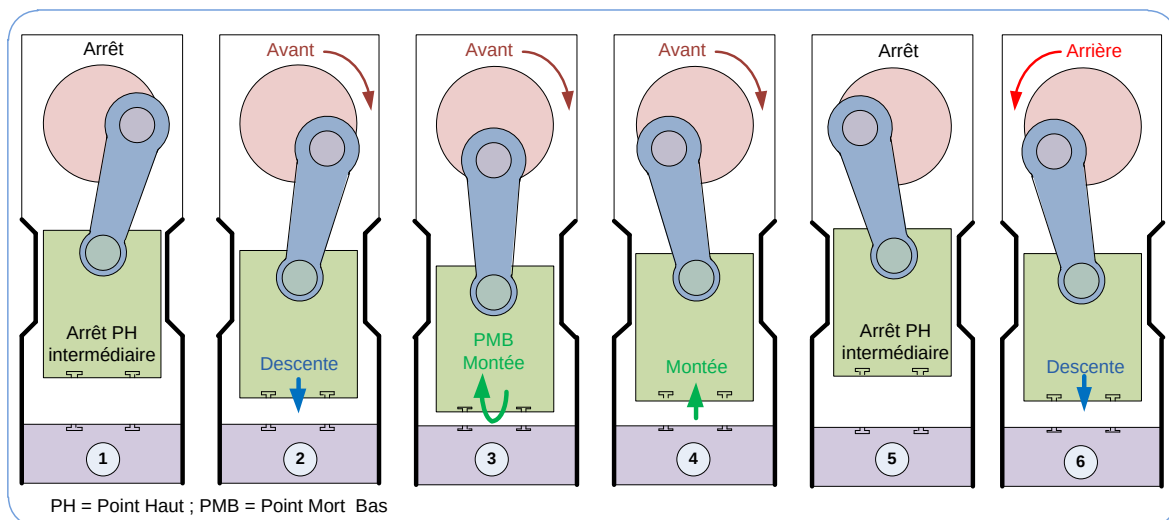


Figure 9 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur - Course réduite par le servomoteur (point haut intermédiaire et point mort bas) - Exemple de cycle « pendulaire »

La Figure 10 montre un exemple de courbe d'évolution pour ce type de cycle pendulaire.

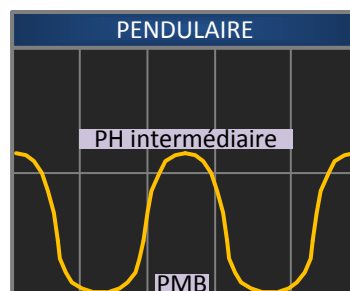


Figure 10 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur– Exemples de courbes d'évolution du coulisseau en cycle « pendulaire » avec passage au point mort bas (position du coulisseau/temps)

5.1.3. Cas de course réduite avec point haut et point bas intermédiaires

Dans ce mode de fonctionnement, à la fin du cycle, le servomoteur est arrêté à un point haut intermédiaire, situé en dessous du point mort haut. Le servomoteur est commandé dans un sens de rotation pour produire le mouvement de descente du coulisseau, puis dès que le point bas intermédiaire est atteint, correspondant à la course désirée, le sens de rotation est

inversé pour la remontée. **Le coulisseau ne passe donc pas par les points morts haut et bas.**

Chaque sens de rotation du servomoteur (précisé en partie supérieure de chaque dessin) correspond à un sens de mouvement du coulisseau.

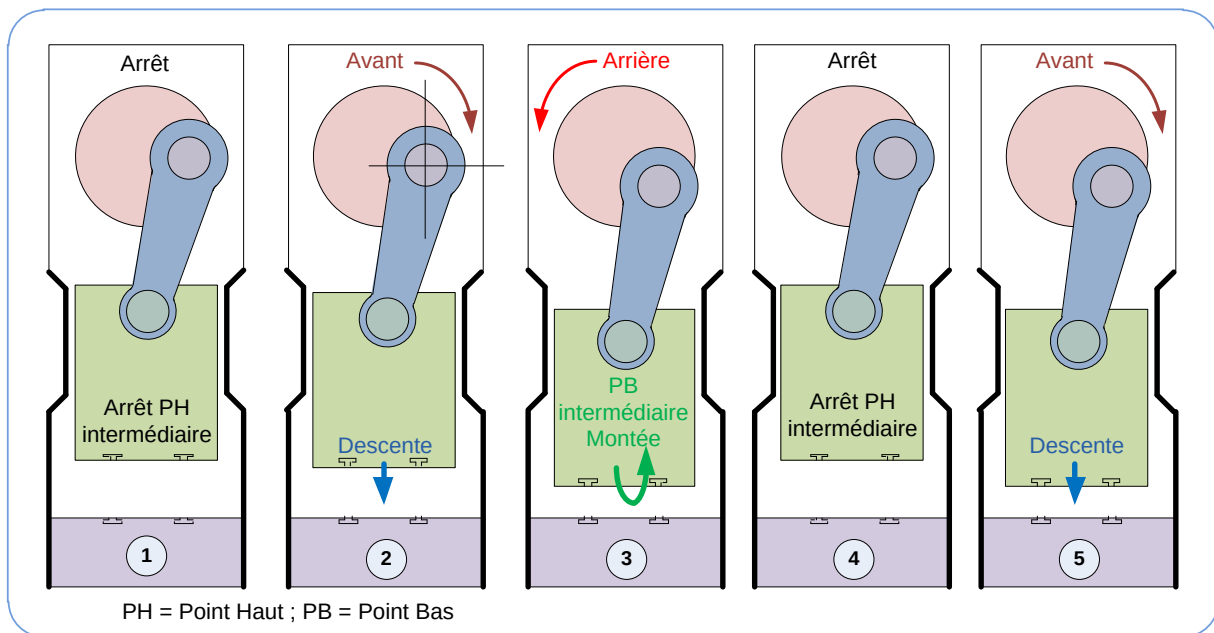


Figure 11 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur - Course réduite par le servomoteur (points haut et bas intermédiaires)

La Figure 12 montre un exemple de courbe d'évolution pour ce type de cycle.

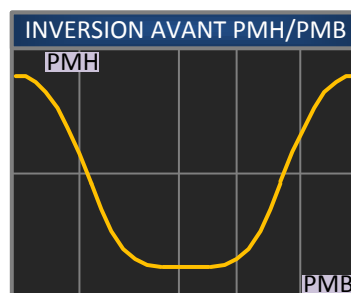


Figure 12 : Presse mécanique (à excentrique) à servomoteur- Exemples de courbes d'évolution du coulisseau sans passage aux points morts haut et bas (position du coulisseau/temps)

5.2. Transmission intermédiaire entre un servomoteur et un excentrique

L'entraînement de l'excentrique par le servomoteur s'effectue par une transmission « non débrayable ». Pour assurer un positionnement correct et précis du coulisseau, et transmettre toute la puissance du servomoteur, il est nécessaire qu'il y ait une corrélation parfaite entre le mouvement du servomoteur et celui de l'excentrique, sans aucun déphasage. Dans la majorité des cas répertoriés, la liaison entre ce dernier et le servomoteur est réalisée au moyen d'un train d'engrenages, déporté (par ex. de type harnais) ou épicycloïdal (réducteur planétaire) monté en extrémité d'arbre. Certains fabricants utilisent des courroies crantées. Les Figure 13, Figure 14 et Figure 15 illustrent la mise en œuvre de ces types d'entraînement.

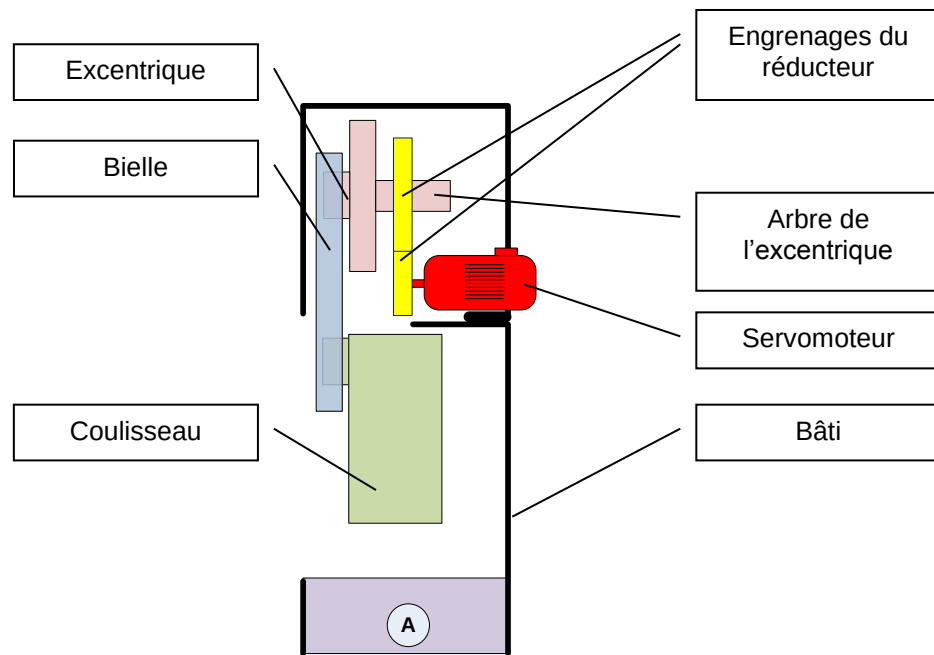


Figure 13 : Représentation schématique d'un entraînement avec réducteur déporté

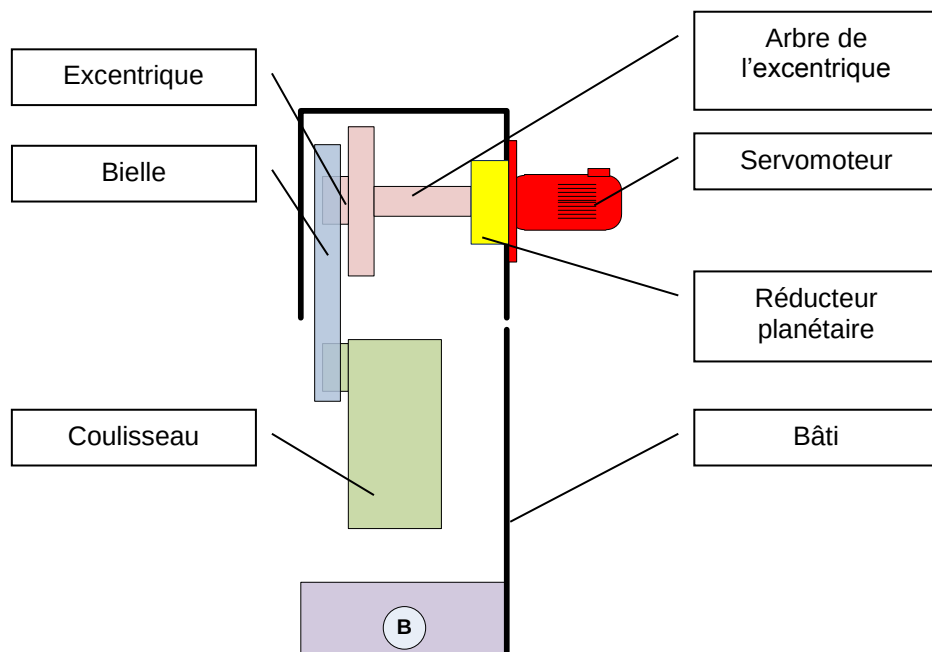


Figure 14 : Représentation schématique d'un entraînement avec réducteur planétaire

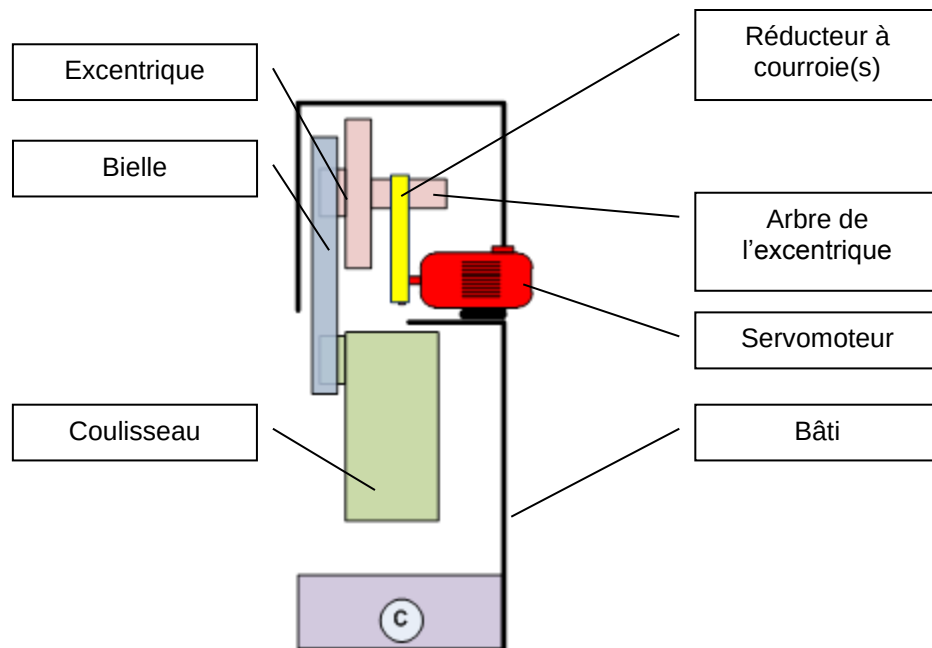


Figure 15 : Représentation schématique d'un entraînement à courroie(s)

5.3. Arrêts du coulisseau

5.3.1. Rappel sur les presses mécaniques à excentrique "traditionnelles"

Les presses traditionnelles à embrayages sont toutes munies d'un frein mécanique dont les caractéristiques minimales de sécurité sont formalisées dans la norme NF EN 692³. Ce frein mécanique est mis en service automatiquement par le système de commande à chaque fois qu'un arrêt du coulisseau est nécessaire, donc pour les arrêts :

- de production pour permettre par exemple le chargement/déchargement manuel des pièces (au PMH),
- de sécurité lorsqu'un moyen de protection des opérateurs est sollicité ou en cas de défaillance du système de commande (en tout point de la course),
- de consignation ou lors d'une coupure d'alimentation en énergie (en tout point de la course).

Chaque arrêt est commandé systématiquement par débrayage, coupure de l'énergie fournie au frein mécanique et par activation des garnitures de freinage au moyen de ressorts.

5.3.2. Presses mécaniques à excentrique à servomoteur

En ce qui concerne les presses à servomoteur, différents arrêts du coulisseau peuvent être possibles :

Arrêt par manque d'énergie :

Un arrêt analogue à celui des presses traditionnelles en procédant par coupure de l'énergie motrice (coupure de l'alimentation du servomoteur) et mise en service d'un frein mécanique. Cet arrêt n'est pas prévu pour être utilisé en production, mais peut être mis en œuvre :

- à des fins de sécurité lorsqu'un moyen de protection des opérateurs est sollicité ou en cas de défaillance du système de commande (en tout point de la course),
- lors d'une coupure d'alimentation en énergie (en tout point de la course).

³ NF EN 692 :2009 - Machines-outils - Presses mécaniques - Sécurité

Arrêt sous contrôle du servomoteur :

Il peut être mis en œuvre pour des arrêts :

- de production,
- de sécurité lorsqu'un moyen de protection des opérateurs est sollicité.

Cet arrêt est géré par le système de régulation électronique du servomoteur puis par un frein mécanique.

Arrêt et maintien à l'arrêt sous contrôle du servomoteur :

Il est prévu pour des arrêts liés à la production, soit par exemple pour le chargement/déchargement manuel des pièces, soit entre deux phases d'un cycle automatique.

Cet arrêt est permis grâce aux caractéristiques offertes par les servomoteurs et leur système de régulation électronique. Le maintien à l'arrêt est obtenu en maintenant l'énergie sur le servomoteur afin que le coulisseau ne dérive pas de la position d'arrêt prévue, par exemple en PMH. C'est donc un système de commande électronique qui est utilisé pour ce contrôle en position.

5.4. Mouvement d'ouverture des outils

Pour les presses conventionnelles, le moteur principal tourne constamment dans le même sens de rotation, et c'est le mécanisme de la presse via l'excentrique qui va permettre d'obtenir une descente et une montée du coulisseau. Généralement, les moyens de protection peuvent être inhibés lors de la montée du coulisseau, ce mouvement étant considéré sans danger significatif.

La marche arrière du moteur n'est utilisée que pour des modes de réglage.

Dans le cas des presses à servomoteur, le sens de rotation de ce dernier peut changer au cours d'un même cycle, par exemple pour les modes pendulaires. C'est donc via un système de régulation électronique que ces directions de mouvement vont être gérées.

5.5. Vitesse du coulisseau

Certaines presses à servomoteur offrent la possibilité, en mode réglage, de commander des mouvements à vitesse réduite, avec comme moyen de réduction des risques, une limitation de la vitesse à 10 mm/s avec une action maintenue sur un organe de commande à trois positions. La vitesse du servomoteur est donc gérée par un système de régulation électronique.

5.6. Résumé des caractéristiques principales d'une presse mécanique à servomoteur et comparaison par rapport à une presse mécanique traditionnelle

Caractéristiques principales	Presse à excentrique traditionnelle	Presse à excentrique à servomoteur
Fourniture de l'énergie nécessaire au travail	Moteur électrique et volant d'inertie pour emmagasiner et restituer l'énergie nécessaire au travail.	Moteur couple électrique et éventuellement système de stockage d'énergie (condensateurs,...) pour emmagasiner (notamment lors des phases de décélération du coulisseau) et restituer (au moment du travail de la tôle) l'énergie nécessaire à la tâche.

Caractéristiques principales	Presse à excentrique traditionnelle	Presse à excentrique à servomoteur
Alimentation du moteur d'entraînement en production	Alimentation continue du moteur, même lorsque le coulisseau est arrêté.	Alimentation continue du servomoteur pour les mouvements et le maintien à l'arrêt lorsque celui-ci est assuré par le servomoteur.
Rotation du moteur d'entraînement	Rotation continue du moteur, même lorsque le coulisseau est arrêté.	Rotation du servomoteur uniquement lorsque les mouvements du coulisseau sont nécessaires.
Sens de rotation du moteur	Mono directionnel en mode production et éventuellement bidirectionnel lorsqu'un mode « réglage arrière » est prévu.	Mono directionnel ou bidirectionnel suivant les modes de marche utilisés.
Sens de rotation du moteur pour la descente du coulisseau en mode production	Sens « avant ».	Sens « avant » ou « arrière » suivant les modes de marche utilisés.
Sens de rotation du moteur pour la montée du coulisseau en mode production	Sens « avant ».	Sens « avant » ou « arrière » suivant les modes de marche utilisés.
Vitesse de rotation du moteur au cours d'un cycle (descente et montée)	Fixe.	Variable « électroniquement ».
Transmission mécanique entre le moteur et l'excentrique	Par l'intermédiaire d'un embrayage mécanique entre l'ensemble moteur/volant d'inertie et l'excentrique.	Liaison permanente entre le servomoteur et l'excentrique.
Vitesse de mouvement du coulisseau	Variation sinusoïdale pour une transmission classique (excentrique/bielle), qui peut varier (vitesse + ou - importante au PMB) suivant la conception de la transmission utilisée (genouillère, link-drive).	Variation sinusoïdale pour une transmission classique (excentrique/bielle) à vitesse de rotation du servomoteur constante, qui peut varier à souhait suivant la vitesse du servomoteur pendant le mouvement.
Course du coulisseau	Non réglable, ou réglable mécaniquement par variation de l'excentricité.	Possibilité de réglage sans système mécanique, en inversant le sens de rotation du servomoteur avant le PMH/PMB.
Type d'arrêt en production (par ex. pour permettre chargement/déchargement manuel des pièces)	Découplage mécanique de la transmission (débrayage) et Frein mécanique à manque d'énergie.	Soit servomoteur hors énergie et frein mécanique, soit arrêt contrôlé avec maintien à l'arrêt par l'alimentation en énergie du servomoteur.

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques principales entre une presse à excentrique traditionnelle et une presse à excentrique à servomoteur

6. Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par servomoteur et vis

La mise sur le marché des presses à vis à servomoteur (appelées également presses électriques) pour le travail des métaux à froid est relativement récente. Elle est motivée par l'évolution des systèmes vis/écrou dont les rendements (qui peuvent désormais atteindre 95 %), la durée de vie et les efforts admissibles ont été améliorés grâce notamment aux vis à rouleaux satellites ou planétaires, et surtout à l'évolution des servomoteurs et de leurs systèmes de contrôle électronique.

Plusieurs moteurs et vis peuvent être utilisés pour un même coulisseau.

Les presses à vis à servomoteur sont destinées à réaliser des travaux habituellement confiés à des presses hydrauliques ou pneumatiques telles que des travaux de découpe ou emboutissage de métaux, de pliage, ou d'assemblage par sertissage ou emmanchement par exemple.

6.1. Les différents modes d'entraînement du coulisseau par un système vis/écrou

Deux cas peuvent se présenter :

- la vis est entraînée en rotation par le servomoteur. C'est l'écrou qui est relié ou intégré au coulisseau de la presse et qui va entraîner son mouvement de translation (montée/descente),
- l'écrou est entraîné en rotation par le servomoteur. C'est la vis qui est reliée au coulisseau de la presse et qui va entraîner son mouvement de translation (montée/descente).

6.2. Gestion des courbes d'évolution du coulisseau par variation de la vitesse du servomoteur

Avec un système à vis, pour une vitesse d'entraînement constante du servomoteur, la vitesse du coulisseau est identique sur toute la course. En faisant varier les paramètres du servomoteur, ce type de presse permet d'obtenir des courbes d'évolution du coulisseau comparables à celles d'une presse hydraulique, donc de réaliser les mêmes types de travaux, en s'affranchissant des variations de caractéristiques pouvant être causées par les variations de température du fluide hydraulique.

6.3. Gestion de la course du coulisseau par action sur la rotation du servomoteur

Le servomoteur permet également de gérer directement la course du coulisseau en inversant le sens de rotation au moment voulu.

A la fin d'un cycle, le servomoteur est arrêté à un point haut intermédiaire programmé, situé en dessous du point haut maximum. Le servomoteur est commandé dans un sens de rotation pour produire le mouvement descente du coulisseau, puis dès qu'un point bas intermédiaire programmé est atteint, dans le sens inverse pour la remontée.

Chaque sens de rotation du servomoteur correspond à un sens de mouvement du coulisseau.

6.4. Transmission intermédiaire entre un servomoteur et un système vis/écrou

L'entraînement de la vis ou de l'écrou par le servomoteur s'effectue par une transmission « non débrayable ». Pour assurer un fonctionnement correct et précis de la presse, et transmettre toute la puissance du servomoteur, il est nécessaire qu'il y ait une corrélation parfaite entre le mouvement du servomoteur et celui du système vis/écrou, sans aucun déphasage. Dans la majorité des cas répertoriés, la transmission au servomoteur est réalisée :

- soit directement, via un réducteur planétaire (épicycloïdal) monté en alignement du servomoteur et de la vis,
- soit au moyen d'une courroie crantée.

6.5. Arrêts du coulisseau

Ces arrêts sont les mêmes que ceux décrits pour les presses à excentrique (voir § 5.3.2).

La descente par gravité du coulisseau peut potentiellement générer des risques.

Les coefficients de frottement interne des systèmes vis/écrou, par exemple les vis à rouleaux satellites ou planétaires, peuvent être très faibles et permettre d'atteindre un rendement de 95 %. En conséquence, si l'écrou (ou dans un second cas la vis) est soumis à un effort axial (masse du coulisseau), la vis (ou dans le second cas l'écrou) est soumise à un couple de rotation. Le système est donc réversible et le coulisseau descend par gravité si aucun dispositif d'arrêt additionnel au système n'est prévu.

Pour les presses à vis de forte puissance, les fabricants utilisent principalement des freins à commande pneumatique ou hydraulique.

Pour les presses de faible puissance, il est courant que des freins à commande électromagnétique soient utilisés.

6.6. Mouvement d'ouverture des outils

Pour une grande majorité des presses travaillant en mode « reprise » (chargement/déchargement manuel), les moyens de protection peuvent être inhibés lors du mouvement d'ouverture des outils (montée du coulisseau), si ce mouvement ne présente pas de danger significatif.

Dans le cas des presses à servomoteur à vis, le sens de rotation de ce dernier change au cours d'un même cycle pour obtenir tantôt un mouvement de descente, tantôt un mouvement de montée. C'est donc via le système de régulation électronique du servomoteur que ces sens de mouvements sont gérés.

7. Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par système hydraulique et servomoteur

Un servomoteur entraîne une pompe hydraulique qui alimente le vérin supportant le coulisseau et qui gère directement les paramètres de travail de la machine. Cet ensemble remplace les composants analogiques habituellement utilisés, tels que des servo-distributeurs, car la gestion du flux hydraulique dans le vérin dépend directement des variations de sens et de caractéristiques du servomoteur. Plusieurs servomoteurs et pompes (servopompes) associés peuvent être mis en œuvre ainsi que plusieurs vérins.

Ce type de presse n'a pas été étudié dans le détail car les fabricants utilisent des techniques variées pour lesquelles nous n'avons pas pu recueillir suffisamment d'informations techniques car elles sont pour la plupart brevetées.

8. Principes généraux de fonctionnement d'une presse à entraînement par système poulies/courroies et servomoteur

Les entraînements par système poulies/courroies sont présents exclusivement sur des presses plieuses à tablier supérieur mobile dont le bâti est en forme de H.

8.1. Principe d'animation du tablier

Le tablier mobile est équipé de deux rangées de poulies folles (une rangée par axe vertical) situées dans sa partie haute. Le bâti transversal (entre les deux montants latéraux qui

forment le H) est également équipé de deux rangées de poulies folles (une rangée par axe vertical) situées dans sa partie basse et de deux poulies motrices (une par axe) entraînées chacune par un servomoteur. Les poulies du bâti et du tablier sont reliées entre elles par une courroie pour chaque axe entraîné par le servomoteur.

Chacun des axes est équipé de ressorts qui assurent un effort opposé au mouvement de descente du tablier mobile (fermeture des outils).

Pendant le mouvement de fermeture, les courroies sont tendues entre un point fixe situé sur le bâti et la poulie motrice. Cela a pour effet de rapprocher les poulies du tablier de celles du bâti et de comprimer les ressorts.

Pendant le mouvement d'ouverture, les courroies sont détendues et ce sont les ressorts qui assurent le mouvement de remontée du coulisseau, régulé par les servomoteurs.

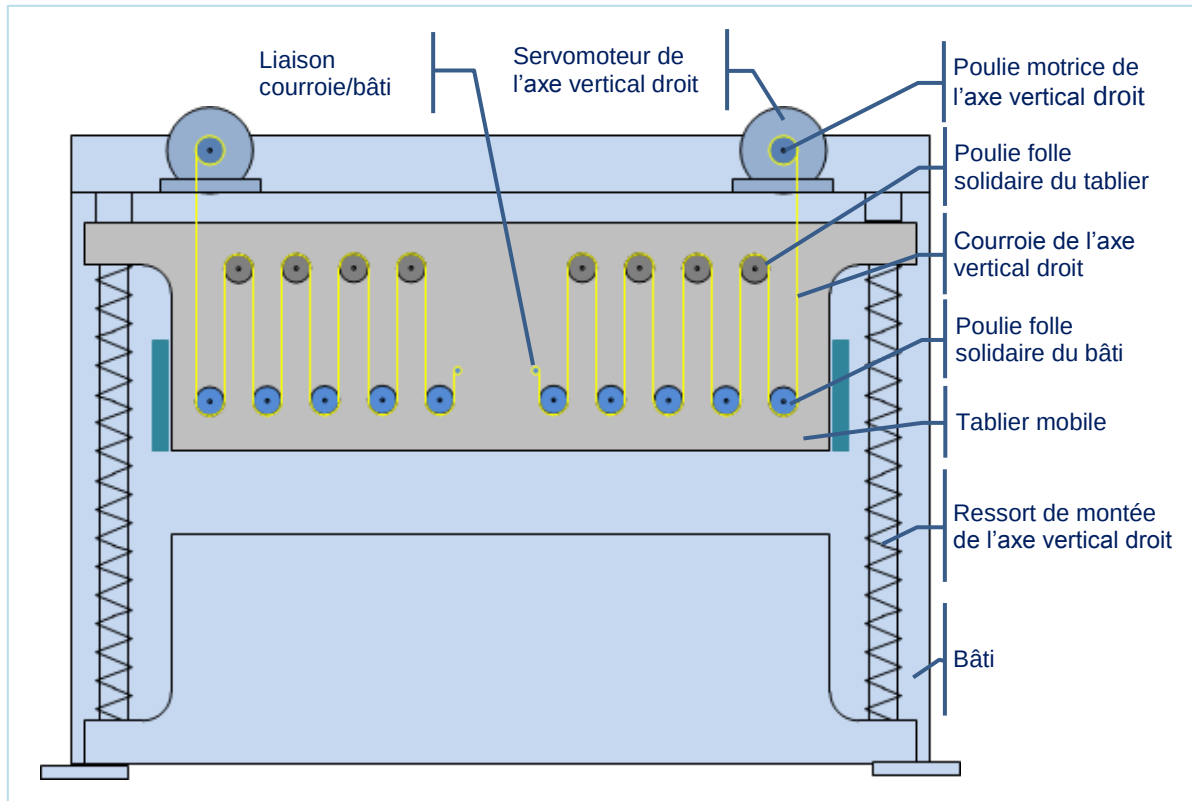


Figure 16 : Principe de l'entraînement par système poulies/courroies

Suivant les fabricants et suivant les modèles de presses plieuses, deux mécanismes d'entraînement poulies/courroies identiques et situées de part et d'autre du tablier mobile peuvent équiper la presse. Cela permet pour des puissances importantes de répartir les efforts de part et d'autre du tablier.

Il en est de même pour le nombre et la nature des ressorts qui équipent les axes verticaux. Chacun des axes est équipé d'un système de retenue composé de un ou plusieurs ressorts ou ensembles de ressorts montés en série (bout à bout). Cette solution permet de garantir la fonction de remontée du coulisseau même en cas de bris d'un ressort.

8.2. Arrêts du tablier

Les arrêts peuvent être les mêmes que ceux décrits pour les presses à excentrique (voir § 5.3.2), en tenant compte que les ressorts empêchent une descente par gravité du tablier.

9. Fonctions de sécurité relatives aux presses à servomoteur

9.1. Généralités/Introduction

Afin d'étudier l'influence sur la sécurité des nouvelles technologies mises en œuvre sur les presses à servomoteur, il faut en premier lieu identifier [§ 9.2] et spécifier [§ 9.3] de manière précise les fonctions de sécurité qui participent à la protection des opérateurs. Il faut s'assurer qu'elles puissent rendre le service attendu, en tenant compte des technologies et principes mis en œuvre sur les presses à servomoteur. Par exemple, définition de fonctions d'arrêt spécifiques et adaptées.

9.2. Identification des fonctions impliquées dans la sécurité

Conformément aux exigences de la directive « machines » et en application des préconisations de la norme NF EN ISO 12100⁴, le fabricant d'une presse à servomoteur doit procéder à une évaluation des risques, et les réduire dès le stade de la conception.

Les presses, y compris à servomoteur, nécessitent généralement des interventions humaines dans la zone des outils (zone d'évolution du coulisseau). Elles ont lieu par exemple pour des opérations de réglage, de maintenance et lors de certaines phases de production telles que le chargement et déchargement manuel des pièces. Des mesures de sécurité doivent donc être prévues pour qu'aucun mouvement de descente du coulisseau ne puisse se produire tant qu'un opérateur se trouve exposé à un risque dans cette zone.

Dans le cas des presses, les principales fonctions de sécurité sont liées à la mise en œuvre des moyens de protection (protecteurs mobiles, dispositifs de protection,...) destinés à couvrir les risques liés aux éléments mobiles de travail (coulisseau,...).

- On peut citer les fonctions **de mise à l'arrêt et/ou de maintien à l'arrêt** des éléments mobiles potentiellement dangereux qui découlent par exemple de la sollicitation d'un protecteur mobile muni d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage ou d'un dispositif de protection tel qu'une barrière immatérielle ou une commande bimanuelle.
- On peut également trouver une fonction de **limitation de la vitesse** du mouvement dangereux lorsque cette mesure est associée à une **commande à action maintenue** afin de réduire le risque.

Parmi les autres fonctions de sécurité, spécifiques aux presses et pour lesquelles la mise en œuvre des servomoteurs nécessite une réflexion, il faut citer la fonction d'**inhibition** des moyens de protection qui est autorisée lorsque le mouvement de l'élément mobile de travail ne se trouve pas dans une phase dangereuse. C'est notamment le cas lors de la remontée du coulisseau (ouverture des outils) d'une presse. Cette fonction d'inhibition ne peut être initiée qu'en fonction d'une position et/ou d'un sens de déplacement « sûr » du coulisseau. La fonction d'inhibition, lorsqu'elle est mise en œuvre doit donc être associée à une gestion et un contrôle rigoureux de la **position et du sens de déplacement du coulisseau**. Ce dernier point est d'autant plus important sur les presses à excentrique à servomoteur où le sens du déplacement du coulisseau n'est pas garanti par le sens de rotation du servomoteur.

9.3. Spécification des fonctions de sécurité

Toutes les fonctions de sécurité doivent être spécifiées précisément selon deux critères :

- des exigences fonctionnelles,
- des exigences d'intégrité de sécurité (niveau de performance requis pour la fonction ex : PLr).

⁴ NF EN ISO 12100:2010 - Sécurité des machines, principes généraux de conception, appréciation du risque et réduction du risque

Les exigences fonctionnelles doivent permettre de spécifier, entre autres, les conditions d'activation de la fonction et la description de l'action attendue depuis les capteurs jusqu'aux actionneurs (ex : arrêt ou limitation du mouvement). Le cas échéant, la spécification devra préciser le type d'arrêt et/ou de maintien à l'arrêt attendu avec des objectifs en termes de temps/distance d'arrêt et/ou de position de l'élément mobile considéré. De même, les valeurs de limitation des mouvements ou des vitesses devront être définies.

La détermination des exigences d'intégrité de sécurité n'est pas abordée dans ce document. Le niveau de performance requis pour la fonction de sécurité (PLr) peut être, soit déterminé en appliquant par exemple la méthodologie proposée dans la norme NF EN ISO 13849-1⁵, soit issu de la norme de conception des presses.

L'annexe B propose, dans le cas d'une presse mécanique à servomoteur, des exemples de spécifications de fonctions de sécurité caractéristiques de ces presses.

9.3.1. Exigences fonctionnelles relatives aux fonctions d'arrêt et de maintien à l'arrêt sûr

Il est nécessaire de prévoir et traiter des fonctions d'arrêt en sécurité du coulisseau adaptées à chacune des situations potentiellement dangereuses. Suivant les moyens de protection prévus ainsi que les situations dans lesquelles ils sont sollicités, ces fonctions d'arrêt peuvent jouer plusieurs rôles. Elles peuvent être affectées à l'arrêt d'un mouvement en cours et/ou au maintien d'une charge statique, tout en empêchant un démarrage intempestif, ce qui nécessite des caractéristiques différentes à prendre en compte et à spécifier précisément.

A titre d'exemple, la fonction de sécurité n° 1 « arrêt par dispositif de protection », spécifiée en annexe B, requiert une fonction « arrêt de protection » qui a deux buts :

- empêcher que les mouvements du coulisseau s'accomplissent tant que la barrière immatérielle est occultée - c'est une fonction de maintien à l'arrêt « sûr » du coulisseau,
- arrêter les mouvements du coulisseau « couverts » par la barrière immatérielle lors de son occultation - c'est une fonction de mise à l'arrêt initiée en cours de mouvement dont le temps maximal d'accomplissement doit être maîtrisé.

Pour mettre en œuvre cette fonction d'arrêt, il faut considérer que :

- le servomoteur et son système de commande (variateur) sont entièrement partie prenante dans la gestion des fonctions d'arrêt, ce qui n'est pas le cas pour les presses mécaniques de conception traditionnelle, pour lesquelles un embrayage/frein est utilisé. Cet ensemble peut être utilisé de manière active en agissant sur les paramètres (couple, vitesse), pour les phases de décélération et également pour le maintien à l'arrêt du coulisseau,
- le coulisseau constitue une charge entraînée, soumise à la gravité, qui ne peut pas être maintenue en position par le servomoteur lorsque ce dernier n'est plus alimenté en énergie,
- un frein mécanique est donc nécessaire pour assurer les phases d'arrêt qui ne seraient pas garanties par le servomoteur.

9.3.2. Rappel des catégories d'arrêt suivant la norme EN 60204-1

Seule la norme NF EN 60204-1⁶ définit des catégories d'arrêt (voir Figure 17) pour les machines. Elle traite des équipements conçus à base de technologie uniquement électrique. Comme évoqué précédemment, les fonctions d'arrêt des presses à servomoteur mettent en œuvre des composants électriques ainsi que des composants d'autres technologies tels qu'un frein hydraulique par exemple.

⁵ NF EN ISO 13849-1:2008 - Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 : principes généraux de conception

⁶ NF EN 60204-1:2006 - Sécurité des machines - Equipement électrique des machines - Partie 1 : Règles générales

Les moyens supplémentaires de technologie non électrique qui sont nécessaires aux fonctions d'arrêt ne sont pas traités dans cette norme, donc non inclus dans les préconisations relatives aux catégories d'arrêt, et doivent être abordés de manière complémentaire par le concepteur.

9.2.2 Fonctions arrêt

Il existe trois catégories de fonctions d'arrêt:

- arrêt de catégorie 0: arrêt par suppression immédiate de l'alimentation aux actionneurs (c'est-à-dire, un arrêt non contrôlé – voir 3.56);
- arrêt de catégorie 1: arrêt contrôlé (voir 3.11) en maintenant l'alimentation aux actionneurs jusqu'à l'arrêt de la machine, puis coupure de la puissance quand l'arrêt est obtenu;
- arrêt de catégorie 2: arrêt contrôlé en maintenant l'alimentation aux actionneurs.

Figure 17 : Extrait de la norme NF EN 60204-1:2006

9.3.3. Les différentes fonctions d'arrêt d'une presse mécanique (à excentrique ou à vis) à servomoteur

Afin de prendre en compte toutes les exigences propres aux presses à servomoteur, différentes fonctions de maintien à l'arrêt et de mise à l'arrêt spécifiques ont été définies afin de servir de support aux spécifications de leurs fonctions de sécurité.

9.3.3.1. Maintien à l'arrêt sûr hors énergie

Il est prévu pour assurer le **maintien à l'arrêt** du coulisseau en procédant de la manière suivante :

- suppression de l'alimentation en énergie électrique du servomoteur concerné et suppression simultanée de l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du dispositif de maintien à l'arrêt (dispositif de retenue mécanique).

Note : Le maintien à l'arrêt sûr hors énergie constitue la dernière phase d'un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3) ou type 1 (§ 9.3.3.4).

Il peut également être utilisé :

- pour le maintien à l'arrêt lors d'un « **arrêt normal** » (EESS 1.2.4.1 de la directive 2006/42/CE) d'une presse à servomoteur dont l'élément mobile se trouvait en « maintien à l'arrêt sûr sous énergie » (§ 9.3.3.2) ou « arrêt sûr type 2 » (§ 0),
- pour assurer un **maintien à l'arrêt fin de cycle** (§ 9.3.3.8).

9.3.3.2. Maintien à l'arrêt sûr sous énergie

Il est prévu pour assurer le **maintien à l'arrêt** du coulisseau en conservant l'alimentation en énergie électrique du servomoteur concerné.

Note : Le maintien à l'arrêt sûr sous énergie constitue la dernière phase d'un arrêt sûr type 2 (§ 9.3.3.5).

Il peut être utilisé en fonctionnement normal pour assurer un **maintien à l'arrêt fin de cycle** (§ 9.3.3.8).

9.3.3.3. Arrêt sûr type 0

Il est prévu pour assurer la **mise à l'arrêt** du coulisseau et son **maintien à l'arrêt** en procédant de la manière suivante :

- suppression immédiate de l'alimentation en énergie électrique du servomoteur concerné et suppression immédiate de l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du frein mécanique.

Note : Ce type d'arrêt peut être utilisé, en fonctionnement normal, pour assurer :

- un « arrêt de protection » (§ 9.3.3.6),
- un « anti-redoublement » (§ 9.3.3.7),
- un « arrêt par organe de commande » (§ 9.3.3.9).

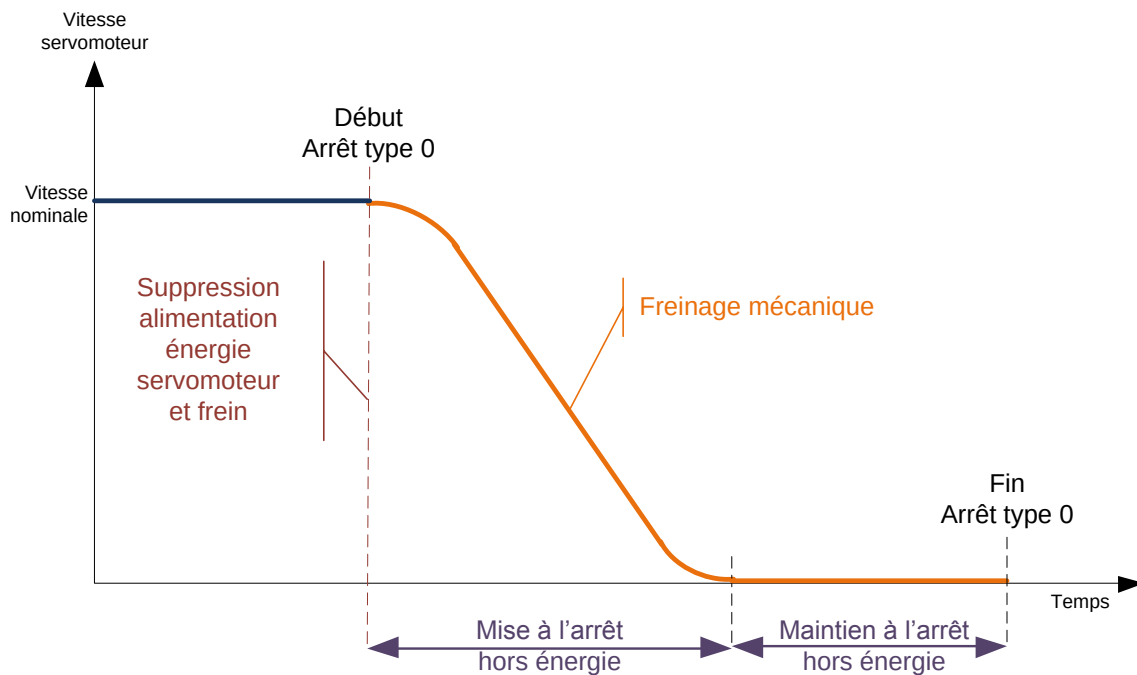


Figure 18 : Chronogramme de principe d'un arrêt sûr type 0

9.3.3.4. Arrêt sûr type 1

Il est prévu pour assurer la **mise à l'arrêt** du coulisseau et son **maintien à l'arrêt** en procédant de la manière suivante :

- décélération du servomoteur en maintenant l'alimentation électrique jusqu'à l'arrêt du mouvement,
- puis quand l'arrêt est obtenu, suppression de l'alimentation en énergie électrique du servomoteur et suppression immédiate de l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du frein mécanique.

Note : Ce type d'arrêt peut être utilisé, en fonctionnement normal, pour assurer :

- un « arrêt de protection » (§ 9.3.3.6),
- un « anti-redoublement » (§ 9.3.3.7),
- un « arrêt par organe de commande » (§ 9.3.3.9).

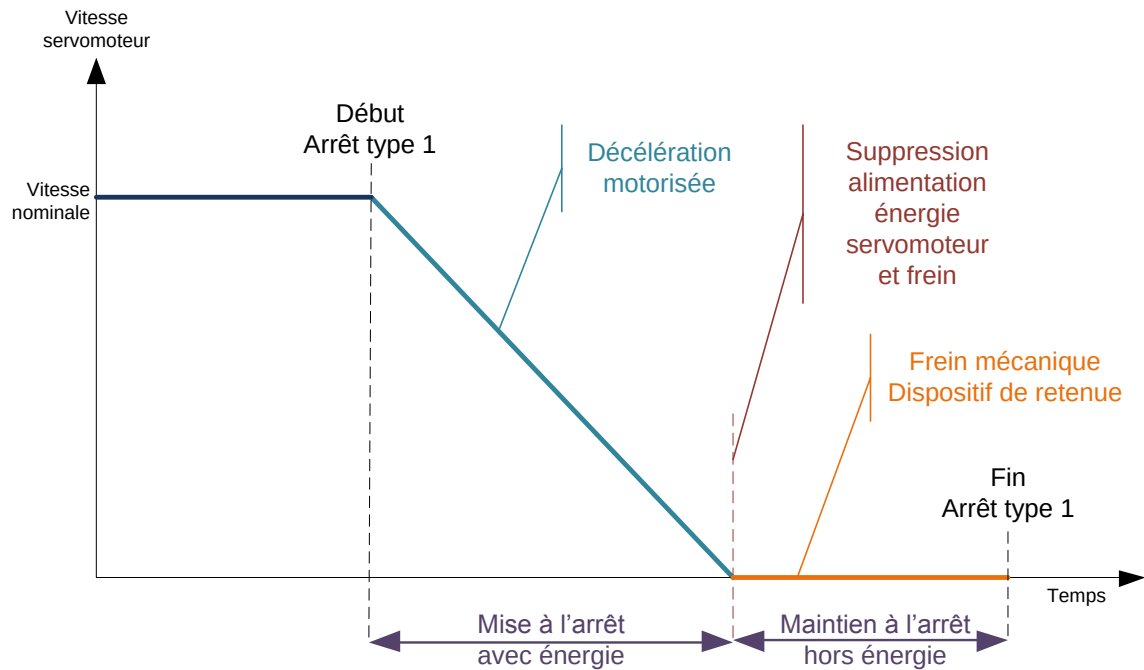


Figure 19 : Chronogramme de principe d'un **arrêt sûr type 1**

9.3.3.5. Arrêt sûr type 2

Il est prévu pour assurer la **mise à l'arrêt** du coulisseau et son **maintien à l'arrêt** en procédant de la manière suivante :

- décélération du servomoteur jusqu'à l'arrêt du mouvement,
- puis quand l'arrêt est obtenu, maintien à l'arrêt.

Le tout en maintenant l'alimentation en énergie électrique du servomoteur.

Note : Ce type d'arrêt peut être utilisé, en fonctionnement normal, pour assurer :

- un « anti-redoublement » (§ 9.3.3.7),
- un « arrêt par organe de commande » (§ 9.3.3.9).

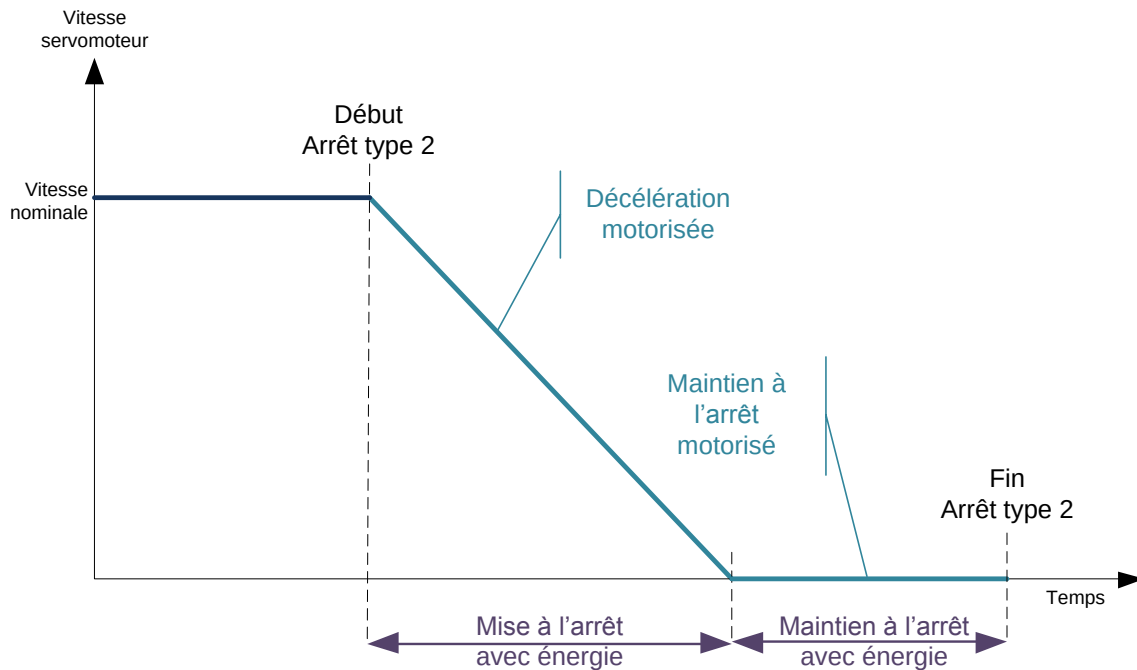


Figure 20 : Chronogramme de principe d'un arrêt sûr type 2

9.3.3.6. Arrêt de protection

Mise à l'arrêt et maintien à l'arrêt du coulisseau agissant en réaction à la sollicitation d'un moyen de protection (protecteurs mobiles avec dispositifs de verrouillage, dispositifs de protection tels que barrière immatérielle, commande bimanuelle,...) durant un mouvement dangereux, et agissant sous la forme d'un **arrêt sûr type 0** (§ 9.3.3.3) ou d'un **arrêt sûr type 1** (§ 9.3.3.4).

Lorsqu'une fonction d'arrêt (type 0 ou 1) est mise en œuvre dans le cadre d'un arrêt de protection, **la maîtrise du temps d'arrêt** doit être assurée, lors de la mise à l'arrêt du coulisseau, afin de garantir un positionnement correct des moyens de protection en toutes circonstances. **La maîtrise de la position d'arrêt** doit également être assurée pendant la phase de maintien à l'arrêt afin de garantir l'absence de mouvement de descente du coulisseau alors que l'opérateur peut se trouver dans la zone dangereuse.

Note : La notion de fonction « Arrêt de protection » (**« protective stop » dans le projet de norme ISO**), définie précédemment est issue des travaux du groupe de normalisation ISO/TC 39/SC 10/WG. 1, en charge des travaux sur les presses à servomoteur (projet de norme ISO 16092-2).

9.3.3.7. Anti-redoublement

Lorsqu'une fonction d'inhibition de la protection est mise en œuvre sur une **presse à excentrique à servomoteur** pendant la phase de remontée automatique, un arrêt de sécurité doit garantir une mise à l'arrêt et un maintien à l'arrêt du coulisseau en fin de cycle. Cette fonction de sécurité doit empêcher un redoublement de cycle conduisant à un mouvement dangereux pour l'opérateur. Cette fonction peut être assurée par un **arrêt sûr type 0** (§ 9.3.3.3), un **arrêt sûr type 1** (§ 9.3.3.4) ou un **arrêt sûr type 2** (§ 9.3.3.5).

Lorsqu'une fonction d'arrêt (type 0, 1 ou 2) est mise en œuvre dans le cadre d'un anti-redoublement, **la maîtrise de la position d'arrêt** doit être assurée, lors de la mise à l'arrêt et du maintien à l'arrêt du coulisseau, afin d'empêcher un mouvement de descente du coulisseau après passage au point mort haut alors que l'opérateur peut se trouver dans la zone dangereuse.

Note : Pour les presses à vis, presses hydrauliques et presses plieuses, dont la cinématique ne permet pas un redoublement de cycle en cas de défaillance, une fonction de sécurité n'est pas nécessaire, pour obtenir une mise à l'arrêt de la montée du coulisseau en fin de cycle, lorsque le moyen de protection est inhibé.

Par contre, sur ces machines, lorsque la mise à l'arrêt est obtenue de façon standard (sans fonction de sécurité), une fonction de sécurité de **maintien à l'arrêt fin de cycle** doit être mise en œuvre lorsque l'inhibition de la protection est active.

9.3.3.8. Maintien à l'arrêt fin de cycle

Fonction de sécurité garantissant le maintien à l'arrêt du coulisseau en **production** lorsque le moyen de protection est inhibé pendant l'arrêt fonctionnel prévu, par exemple, pour les opérations de chargement et/ou déchargement manuel de la machine.

Lorsque le moyen de protection d'une presse à servomoteur (à vis, hydraulique ou presse plieuse) est assuré par un protecteur mobile sans dispositif d'interverrouillage ou un dispositif de protection, la fonction de maintien à l'arrêt fin de cycle peut être assurée par un **maintien à l'arrêt sûr hors énergie** (§ 9.3.3.1) ou un **maintien à l'arrêt sûr sous énergie** (§ 9.3.3.2).

Note : Le cas échéant, cette fonction de sécurité peut être assurée par un **arrêt sûr type 0**, un **arrêt sûr type 1** ou un **arrêt sûr type 2** qui comprennent également une phase de maintien à l'arrêt.

Lorsque le moyen de protection d'une presse à servomoteur (quelle que soit sa technologie) est assuré par un protecteur mobile avec dispositif d'interverrouillage, la fonction de maintien à l'arrêt fin de cycle peut être assurée par un **maintien à l'arrêt sûr hors énergie** (§ 9.3.3.1). Cette fonction de maintien est nécessaire lorsque le protecteur est débloqué ou non-fermé, afin de garantir l'arrêt de l'élément mobile et empêcher son démarrage intempestif.

Un « maintien à l'arrêt sûr sous énergie » pourrait également convenir. Cependant, l'intérêt pour une presse à servomoteur de la mise en œuvre de cette mesure (interverrouillage), lorsqu'elle n'est pas imposée par un problème d'inertie du mouvement (temps d'arrêt des éléments mobiles trop important pour la mise en œuvre d'un protecteur verrouillé) est de s'affranchir d'une fonction de sécurité de mise à l'arrêt du coulisseau avec les conséquences matérielles qui s'en suivent (maîtrise du temps d'arrêt du coulisseau et nécessité d'une capacité de freinage adaptée). De plus, la fonction de « maintien à l'arrêt sûr sous énergie » procédant par apport d'énergie, en cas de défaillance ou d'absence de cette dernière, la fonction ne pourra plus être assurée, ce qui nécessitera la mise en œuvre d'un « maintien à l'arrêt sûr hors énergie ». Dans ce cas, tout le bénéfice du choix d'un protecteur muni d'un dispositif d'interverrouillage serait perdu.

Recommandation :

Lorsqu'un protecteur mobile avec dispositif d'interverrouillage est envisagé (voir également §11, *Analyse de la validité des moyens de protection conventionnels sur les presses à servomoteur*), Il est recommandé de ne pas garantir le maintien à l'arrêt du coulisseau par un « maintien à l'arrêt sûr sous énergie » mais de privilégier un « maintien à l'arrêt sûr hors énergie ».

Lorsqu'une fonction de maintien à l'arrêt sûr (hors ou sous énergie) est mise en œuvre dans le cadre d'un maintien à l'arrêt fin de cycle, **la maîtrise de la position d'arrêt** doit être assurée afin de garantir l'absence de mouvement de descente du coulisseau alors que l'opérateur peut se trouver dans la zone dangereuse.

9.3.3.9. Arrêt sûr par organe de commande

Arrêt de sécurité garantissant une mise à l'arrêt et un maintien à l'arrêt du coulisseau lors de la sollicitation de l'organe de commande (relâchement de la 2^{ème} position ou actionnement de la 3^{ème} position) lorsque cette mesure participe à la réduction du risque en association avec une limitation de la vitesse du coulisseau. Cette fonction peut être assurée par un **arrêt sûr type 0** (§ 9.3.3.3), un **arrêt sûr type 1** (§ 9.3.3.4) ou un **arrêt sûr type 2** (§ 9.3.3.5).

Note : Dans l'état actuel du projet de norme ISO sur les presses à servomoteur, il n'a pas encore été défini si un **arrêt sûr type 2** pourrait être acceptable pour assurer cette fonction.

Lorsqu'une fonction d'arrêt (type 0, 1 ou 2) est mise en œuvre dans le cadre d'un arrêt par organe de commande, **la maîtrise de la position d'arrêt** doit être assurée, lors du maintien à l'arrêt du coulisseau afin de garantir l'absence de mouvement de descente du coulisseau alors que l'opérateur peut se trouver dans la zone dangereuse.

10. Analyse des fonctions impliquées dans la sécurité

L'analyse de la chaîne cinématique des presses à excentrique à servomoteur permet d'identifier les parties (maillons) impliquées dans le mouvement de descente du coulisseau (mouvement dangereux), et d'analyser leur rôle fonctionnel. Par exemple, la Figure 21 illustre les différentes parties constitutives de la chaîne cinématique d'une presse à excentrique à servomoteur en faisant ressortir dans le carré de couleur verte, les parties qui différencient ce type de presse d'une presse mécanique classique à embrayage/frein.

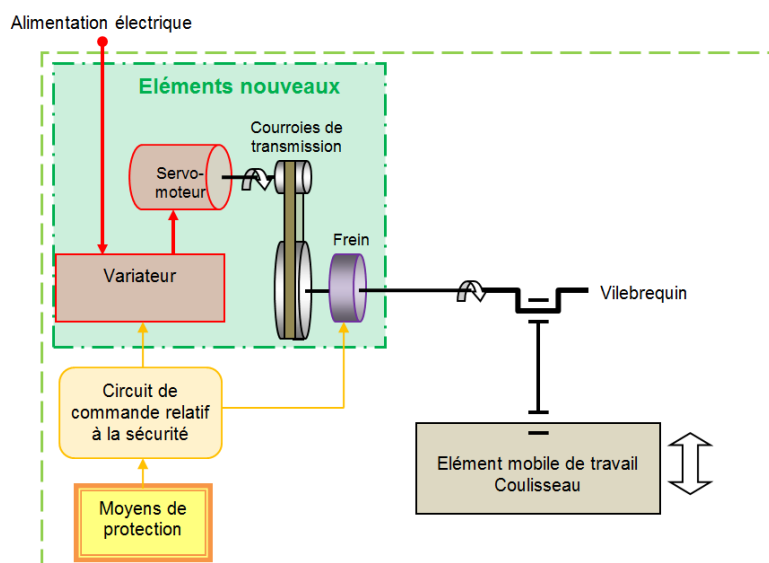


Figure 21 : Exemple de chaîne cinématique d'une presse à excentrique à servomoteur

Il est nécessaire d'analyser le comportement des composants contribuant à ces fonctions de sécurité afin de s'assurer qu'ils répondent à ces spécifications en fonctionnement normal et en présence de défaillance. Il faut donc procéder à des analyses de défaillances et de leurs conséquences. Dès le stade de la conception, il faut prendre des mesures afin qu'aucun des maillons de cette chaîne lorsqu'il est défaillant, qu'il soit mécanique, électrique ou autre, ne puisse affecter de manière dangereuse l'accomplissement des fonctions de sécurité. Une attention particulière doit être apportée à certaines fonctions de sécurité qui en cas d'occurrence d'une défaillance, continuent d'assurer leur fonction, mais avec des caractéristiques dégradées telles qu'un allongement du temps de réponse.

Cette analyse doit être conduite suivant deux critères :

- fonctionnel - pour vérifier que ces parties matérielles et les techniques mises en œuvre sont aptes à assurer les fonctions attendues,
- sûreté de fonctionnement - pour caractériser leur comportement en présence d'une défaillance en vue d'identifier celles qui pourraient générer des situations dangereuses. Pour ce faire, il est nécessaire d'analyser les points suivants pour chacun des maillons de la chaîne et pour chacune des fonctions de sécurité considérées :
 - o le type de défaillance, le cas échéant la partie de l'élément affecté par une défaillance potentiellement dangereuse et les conditions d'apparition de cette défaillance (type d'arrêt, phase du cycle de la presse,...),
 - o la conséquence sur le comportement de la fonction de sécurité,
 - o le type de danger pouvant résulter de cette défaillance,
 - o les mesures à mettre en œuvre pour réagir aux défaillances et pour empêcher que les situations dangereuses ne puissent se produire.

Note : Seules ont été analysées les parties qui présentaient des nouveautés par rapport à ce qui est actuellement mis en œuvre sur les presses classiques. En effet, pour ces dernières, des préconisations de conception figurent déjà dans les normes des presses concernées.

Ces nouveautés concernent :

- le système d'entraînement de puissance relatif à la sécurité (PDS/SR pour Power Drive System / Safety Related selon CEI 61800-5-2), pour la partie contrôle-commande [§ 10.1],
- et principalement les courroies et vis à bille pour les parties mécaniques impliquées dans la sécurité [§ 10.10].

Les paragraphes suivants présentent quelques points marquants de ces analyses concernant différentes fonctions ou parties de fonction de sécurité telles que :

- l'analyse de la défaillance du PDS/SR dans le cadre de la mise en œuvre d'une fonction d'arrêt,
- l'influence du sens de rotation du servomoteur pour les presses à excentrique,
- la gestion de la vitesse de rotation du servomoteur lorsqu'elle contribue à la mise en œuvre d'une fonction de sécurité,
- l'analyse de certains éléments mécaniques de la chaîne cinématique.

10.1. Analyse du comportement du PDS/SR - Toutes presses à servomoteur

10.1.1. Généralités

Le système d'entraînement de puissance relatif à la sécurité (PDS/SR) est un élément essentiel et incontournable du système de commande des presses à servomoteur et des fonctions de sécurité. Il est composé du servomoteur et de son système de commande (incluant au moins un variateur électronique et des capteurs) tel que représenté sur la Figure 22.

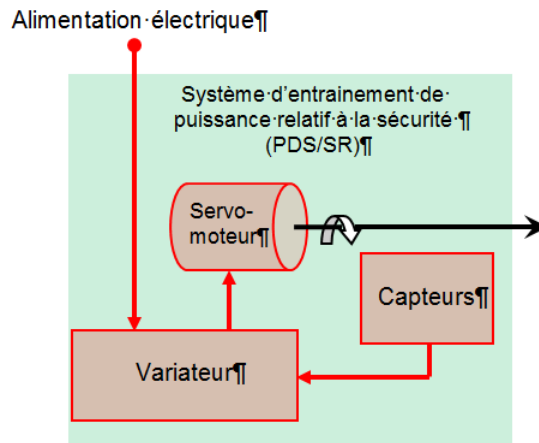


Figure 22 : Représentation schématique du PDS/SR

Les fabricants de variateurs proposent différentes « options » ou « modules » de sécurité permettant d'assurer pour partie les fonctions de sécurité spécifiées par le concepteur de la presse. Dans la majorité des cas, ces « modules » de sécurité revendiquent une conformité par rapport aux définitions des fonctions de sécurité de la norme CEI 61800-5-2 (STO, SS1, SS2, SLS, etc.) qui spécifie les exigences et donne des recommandations pour la conception, le développement, l'intégration et la validation des PDS/SR.

Un schéma de commande d'une presse à servomoteur intégrant un PDS/SR, peut prendre différentes formes en fonction du niveau d'intégration des « modules » de sécurité proposés par les fabricants et permettant d'assurer tout ou partie des fonctions de sécurité spécifiées. Plusieurs exemples illustrant ces différentes configurations sont proposés en annexe A.

Pour certaines machines, le PDS/SR peut être composé de plusieurs servomoteurs afin de fournir la puissance nécessaire au coulisseau, ou comporter un système de récupération d'énergie. Ces deux cas particuliers sont traités dans le § 10.9.5 afin d'analyser leur influence éventuelle sur la sécurité des opérateurs.

10.1.2. Niveau de sécurité du PDS/SR et comportement en présence de défaillance

Un PDS/SR doit être apte, par conception, à assurer les parties de fonctions de sécurité, auquel il participe, avec un niveau de performance de sécurité (« Performance Level » suivant la norme NF EN ISO 13849-1 ou SIL suivant la norme NF EN 62061⁷ compatible avec le niveau de risque à couvrir.

Les fabricants de variateurs revendiquent, pour l'ensemble des « modules » proposés ou individuellement par « module », des niveaux de performances de sécurité.

Note : L'attention du concepteur du système de commande de la presse à servomoteur doit être attirée sur le fait que ces niveaux de performances ne sont pas toujours faciles à trouver dans la documentation des fabricants. D'autre part, il n'est pas toujours évident de s'assurer, lorsque seul un niveau de performance global est revendiqué, qu'il concerne bien tous les « modules » proposés.

Parmi les différentes fonctions (modules) proposées par les fabricants, il faut rappeler que seule la fonction STO (cf. § 10.2) est capable de garantir un comportement en présence de défaillance identique à son comportement nominal.

Les autres fonctions de sécurité garantissent une surveillance de la fonction spécifiée dont la réaction, en cas de défaillance ou de dérive par rapport au résultat nominal attendu, mène à une position sûre de repli. C'est pourquoi sur ces différentes fonctions de contrôle, et dans la majorité des cas observés, la position sûre de repli est caractérisée par une fonction STO.

⁷ NF EN 62061:2005 - Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité

Ce comportement est le même quel que soit le niveau de performance de sécurité annoncé par le fabricant du PDS/SR (niveau PL ou SIL). Ce niveau de performance de sécurité est en fait attribué à la fonction de surveillance. L'ensemble de la chaîne de surveillance, y compris la prise d'information au niveau des capteurs (codeurs) doit respecter le niveau de performance spécifié pour la fonction.

Recommandations :

D'une manière générale et en présence de défaillance, qu'elle soit consécutive à une absence d'énergie, une défaillance interne ou un problème de régulation, la réaction à l'anomalie du PDS/SR doit conduire à une **position de repli équivalente à une fonction d'arrêt sûr type 0** (§ 9.3.3.3).

Cela doit se traduire par une absence de couple du servomoteur et donc une position de repli équivalente à une fonction STO. De même, les éventuelles sorties de sécurité disponibles sur le PDS/SR destinées à couper la commande du frein (pour obtenir le freinage) doivent être conçues et paramétrées afin de refléter l'image de la fonction STO en toutes circonstances.

Dans le cadre de notre analyse du PDS/SR, il est impératif de définir le rôle qu'il peut jouer pour chaque type de fonction de sécurité spécifiée ainsi que les conditions de paramétrage à respecter. Il faut également comprendre son comportement en présence d'une défaillance afin de pouvoir définir des préconisations de sécurité adaptées.

Note : Les défaillances prises en compte au niveau du PDS/SR sont celles qui conduisent à la perte de la fonction de sécurité attendue pour les presses à servomoteur.

Dans le cadre des fonctions d'arrêt, elles peuvent engendrer une accélération du mouvement de descente du coulisseau au lieu d'une décélération ou un mouvement intempestif de descente au lieu d'un maintien à l'arrêt.

Pour les autres fonctions de sécurité mises en œuvre (ex : limitation de vitesse, contrôle du sens de rotation, etc.), elles peuvent générer une augmentation intempestive de la vitesse de descente du coulisseau ou une inversion du mouvement du coulisseau (transformation d'un mouvement de montée non dangereux en un mouvement de descente potentiellement dangereux).

10.1.3. Mise en œuvre d'un PDS/SR pour les fonctions d'arrêt sûr

Les fonctions d'arrêt de la norme CEI 61800-5-2, qui sont utilisables pour participer aux fonctions définies spécifiquement pour les presses à servomoteur, sont les suivantes :

- STO (Safe Torque Off) - Absence sûre de couple,
- SS1 (Safe Stop 1) - Arrêt sûr 1,
- SS2 (Safe Stop 2 - Arrêt sûr 2,
- SOS (Safe Operating Stop) - Maintien à l'arrêt sûr,

Les définitions de ces fonctions sont disponibles en annexe D.

10.2. « Maintien à l'arrêt sûr hors énergie » utilisant une fonction STO

10.2.1. Analyse fonctionnelle

La description de cette fonction est la suivante :

Maintien à l'arrêt sûr hors énergie utilisant une fonction STO

Suppression de l'alimentation en énergie électrique du servomoteur concerné via une fonction STO obtenue par le PDS/SR et suppression simultanée de l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du dispositif de maintien à l'arrêt (dispositif de retenue mécanique).

Rappel : La fonction STO ne permet pas seule de maintenir à l'arrêt le coulisseau (voir NOTE 3 du § 4.2.2.2 de la norme CEI 61800-5-2). Elle doit donc être complétée par un dispositif mécanique destiné et conçu à cet effet.

Recommandations :

La suppression d'alimentation en énergie du dispositif de retenue mécanique doit être initiée :

- soit indépendamment du PDS/SR, par la même information que celle qui ordonne au PDS/SR de supprimer l'énergie au servomoteur,
- soit par l'exploitation d'une information de sortie du PDS/SR représentative de la suppression d'énergie au servomoteur.

10.2.2. Conséquences d'une défaillance

Dans le cas d'une coupure d'alimentation en énergie affectant tout le PDS/SR et compte tenu de la réaction aux anomalies attendues (voir § 10.1.2), si la coupure survient lorsque la fonction de maintien à l'arrêt sûr hors énergie est active :

- le servomoteur étant déjà hors énergie par la fonction STO, il le reste,
- le frein étant déjà hors énergie, il le reste.

Dans le cas d'une défaillance du PDS/SR et compte tenu de la réaction aux anomalies attendues (voir § 10.1.2), la réaction du PDS/SR produit le même effet (une fonction de repli sous la forme de STO) que la fonction hors défaillance.

Une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR n'affecte pas la fonction de « maintien à l'arrêt sûr hors énergie ».

10.3. Fonction d'arrêt sûr type 0 utilisant une fonction STO

10.3.1. Analyse fonctionnelle

La description de cette fonction est la suivante :

Arrêt sûr type 0 utilisant une fonction STO

Suppression immédiate de l'alimentation en énergie électrique du servomoteur concerné via une fonction STO obtenue par le PDS/SR et suppression simultanée de l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du frein mécanique.

Recommandations :

La suppression d'alimentation en énergie du frein doit être initiée :

- soit indépendamment du PDS/SR, par la même information que celle qui ordonne au PDS/SR de supprimer l'énergie au servomoteur,
- soit par l'exploitation d'une information de sortie du PDS/SR représentative de la suppression d'énergie au servomoteur.

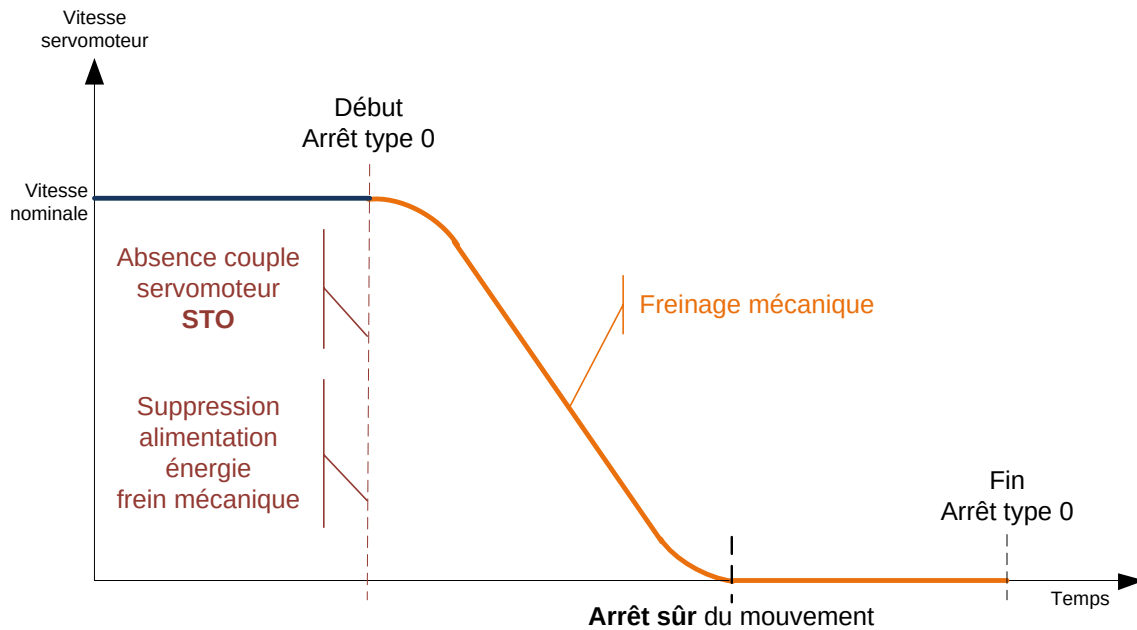


Figure 23 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 0 utilisant une fonction STO

Constat : Le temps d'arrêt du servomoteur, donc du coulisseau de la presse, est directement dépendant des caractéristiques du frein. Le frein doit être conçu en conséquence (voir § 10.10.4).

10.3.2. Conséquences d'une défaillance

L'analyse et ses résultats sont similaires à ceux de la fonction « maintien à l'arrêt sûr hors énergie » (voir § 10.2.2).

Une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR n'affecte pas la fonction d'arrêt sûr type 0.

10.4. Fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1

Sur le principe, la fonction SS1 est constituée d'une phase de décélération du moteur et d'une phase de mise hors énergie du moteur qui est assurée par la fonction STO. Elle peut donc convenir (hormis le cas du « SS1,a » tel que justifié ci-après) pour participer à une fonction **d'arrêt sûr type 1** d'une presse à servomoteur.

10.4.1. Analyse fonctionnelle du cas SS1, a)

La mise à l'arrêt est obtenue suivant une rampe de décélération qui est commandée, mais non surveillée. L'enclenchement de la phase de mise hors énergie du moteur étant conditionnée par l'obtention d'une vitesse quasi nulle, en cas de défaillance (ex : non décélération), elle ne sera pas commandée. Il n'y aura pas de réaction à la défaillance et donc perte de la fonction de sécurité attendue. La durée du temps d'arrêt ou la position d'arrêt ne seront pas maîtrisées en présence de défaillance.

Il n'est pas possible d'utiliser un SS1, a) pour réaliser un arrêt sûr type 1 car la maîtrise du temps d'arrêt ou de la position d'arrêt est impérative dans toutes les fonctions de sécurité ou ce type d'arrêt peut être mis en œuvre.

10.4.2. Analyse fonctionnelle du cas SS1, b)

La description de cette fonction est la suivante :

Arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, b)

Le PDS/SR, initie et surveille la décélération du servomoteur dans les limites fixées pour l'arrêter (en maintenant l'alimentation électrique).

Lorsque la vitesse du servomoteur est inférieure à un seuil donné (et proche d'un arrêt), il supprime l'alimentation en énergie électrique du servomoteur via une fonction STO obtenue par le PDS/SR et supprime simultanément l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du frein mécanique.

Recommandations :

Le seuil de fin de décélération du servomoteur doit être déterminé par le fabricant de la presse tel que, la vitesse du servomoteur, donc du coulisseau, soit quasiment nulle lors de la commande de la fonction STO.

La suppression d'alimentation en énergie du frein doit être initiée par l'exploitation d'une information de sortie du PDS/SR représentative de la suppression d'énergie au servomoteur.

Lorsque le frein mécanique est commandé, la vitesse du servomoteur n'est pas tout à fait nulle, suivant notamment la valeur du seuil de fin de décélération. Le frein mécanique doit être conçu pour pouvoir assumer cette dernière phase de la mise à l'arrêt du coulisseau avant de jouer son rôle de dispositif de retenue.

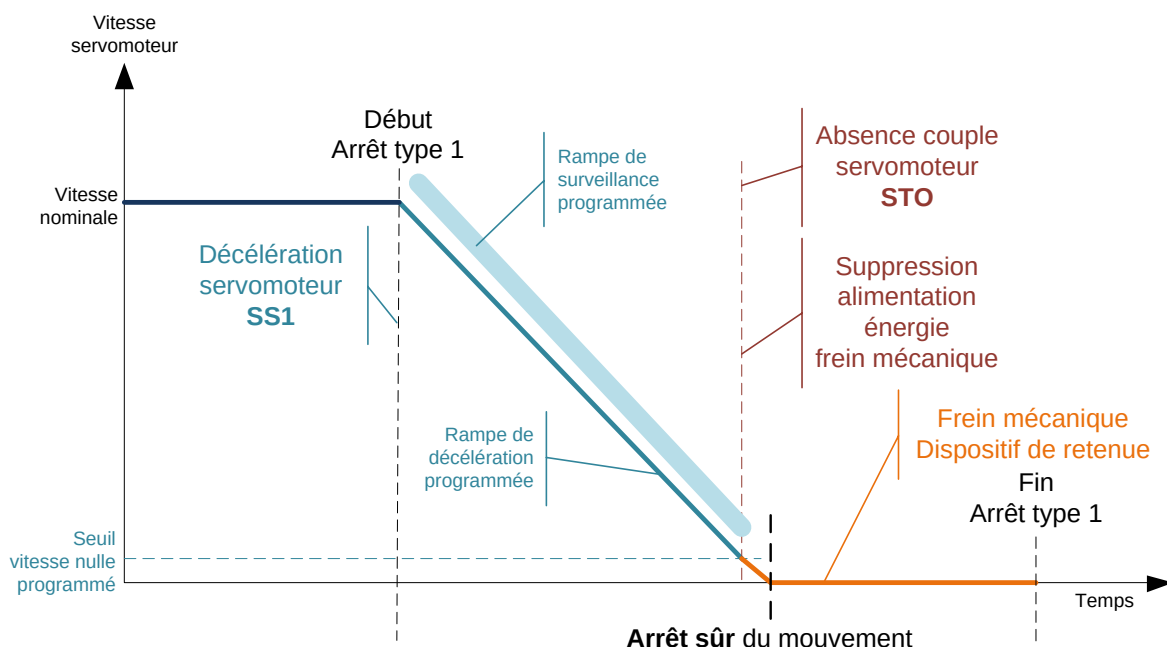


Figure 24 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, b)

Constat : Le temps d'arrêt du servomoteur, donc du coulisseau de la presse, dépend de la rampe programmée dans le PDS/SR et en phase finale des caractéristiques du frein.

10.4.3. Conséquences d'une défaillance pour le cas SS1, b)

L'analyse a permis de montrer que :

- une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR survenant pendant la phase de maintien à l'arrêt hors énergie (STO) n'affecte pas la fonction d'arrêt sûr type 1,
- lors d'une coupure d'alimentation en énergie ou d'une défaillance du PDS/SR survenant pendant la phase de décélération, le PDS/SR ne fournissant plus d'énergie pour ralentir le servomoteur, ce dernier se trouve temporairement en « roue libre ». L'arrêt est donc assuré uniquement par le frein mécanique. Cette défaillance peut avoir une influence sur les performances d'arrêt (voir § 10.11.2) du coulisseau qui dépendront des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4) et du temps de réaction à la défaillance du PDS/SR lorsque celui-ci est défaillant.

Note : Le temps de réaction à la défaillance dépend :

- du temps de détection de cette défaillance, conditionné :
 - par les paramètres du PDS/SR pour une défaillance interne,
 - par **les paramètres, de surveillance de la fonction de sécurité, mis en œuvre (ex : valeur de la rampe de surveillance, pourcentage de la vitesse nominale, etc.) par le concepteur de la presse.**
- du temps interne au PDS/SR pour générer la position de repli attendue.

La Figure 25 décrit les phases d'un **arrêt sûr type 1** lors d'une défaillance qui :

- survient au cours de la décélération,
- génère une accélération du mouvement au lieu d'une décélération,
- est détectée lorsque la vitesse atteint une valeur de la rampe de surveillance, qui a pour effet de commander la fonction de repli (STO).

Cet exemple montre le cas d'une augmentation du temps d'arrêt du coulisseau et donc de la course d'arrêt, par rapport à celui de la fonction attendue

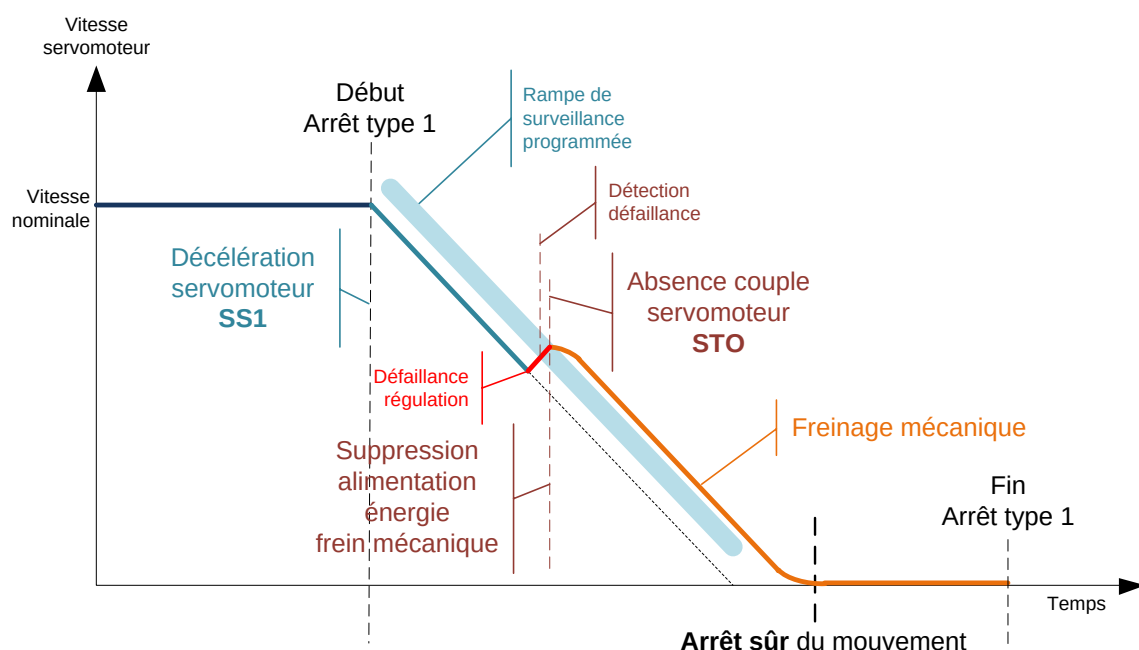


Figure 25 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, b) ; et réaction en présence d'une défaillance du PDS/SR

10.4.4. Analyse fonctionnelle du cas SS1, c)

La description de cette fonction est la suivante :

Arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, c)

Le PDS/SR initie la décélération du servomoteur.

Après une temporisation spécifique à l'application, il supprime l'alimentation en énergie électrique du servomoteur via une fonction STO obtenue par le PDS/SR et supprime simultanément l'alimentation en énergie (électrique ou autre) du frein mécanique.

Recommandations :

La temporisation doit être calibrée pour qu'à son terme, l'arrêt ayant été commandé à la vitesse maximale du servomoteur, la vitesse du coulisseau, soit nulle lors de la commande de la fonction STO. Certains fabricants proposent une alternative en commandant la fonction STO lorsque la vitesse est nulle, sans attendre la fin de la temporisation.

La suppression d'alimentation en énergie du frein doit être initiée par l'exploitation d'une information de sortie du PDS/SR représentative de la suppression d'énergie au servomoteur.

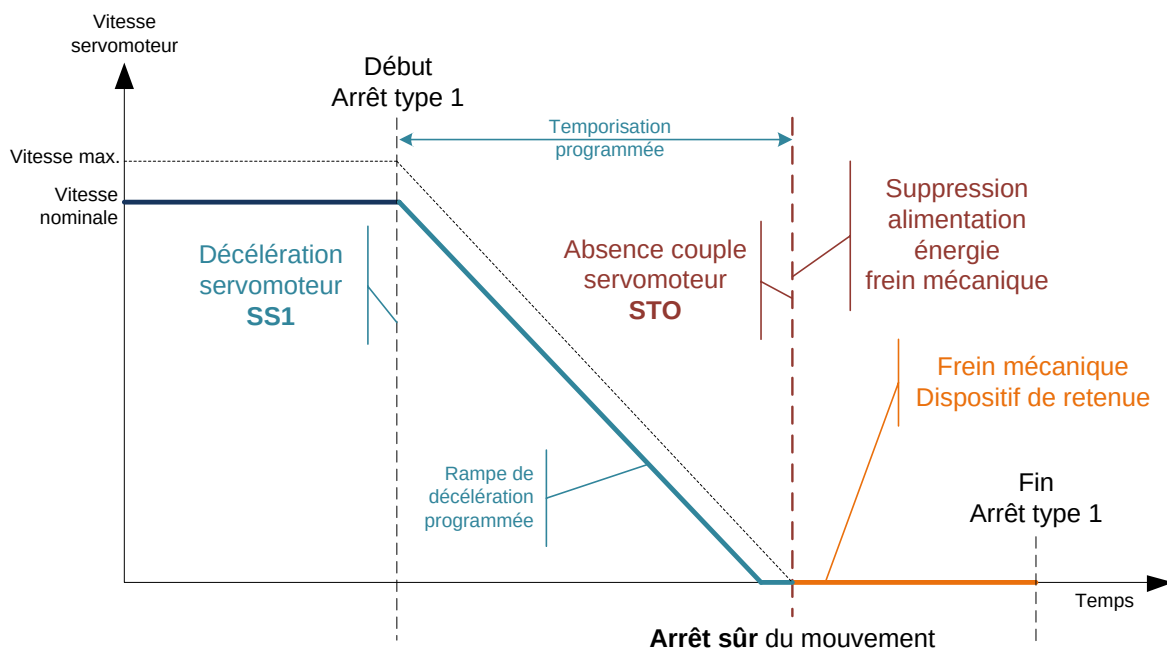


Figure 26 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, c)

Constat : Le temps d'accomplissement de l'arrêt sûr type 1 dépend principalement de la temporisation programmée dans le PDS/SR.

10.4.5. Conséquences d'une défaillance pour le cas SS1, c)

L'analyse a permis de montrer que :

- une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR survenant pendant la phase de maintien à l'arrêt hors énergie (STO) n'affecte pas la fonction d'arrêt sûr type 1,

- lors d'une coupure d'alimentation en énergie survenant pendant la phase de décélération, le PDS/SR ne fournissant plus d'énergie pour ralentir le servomoteur, ce dernier se trouve temporairement en « roue libre ». L'arrêt est donc assuré uniquement par le frein mécanique. Cette défaillance peut avoir une influence sur les performances d'arrêt (voir § 10.11.2) du coulisseau qui dépendront des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4),
- une défaillance du PDS/SR liée à la régulation qui survient lors de la phase de décélération n'est pas détectée pendant le temps d'écoulement de la temporisation. Dans ce cas, la fonction de repli du PDS/SR ou la fonction STO mettent le servomoteur hors énergie, donc en « roue libre ». L'arrêt est donc assuré uniquement par le frein mécanique. Cette défaillance aura une influence sur les performances d'arrêt (voir § 10.11.2) du coulisseau qui dépendront du temps de réaction à la défaillance du PDS/SR et des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4).

Notes : Le temps de réaction à la défaillance dépend :

- du temps de détection de cette défaillance, conditionné :
 - par les paramètres du PDS/SR pour une défaillance interne,
 - par **la valeur de la temporisation, réglée par le concepteur de la presse,** qui commande la fonction STO.
- du temps interne au PDS/SR pour générer la position de repli attendue.

Lors d'une défaillance liée à la régulation, les performances d'arrêt du coulisseau seront moins bonnes que celles obtenues en fonctionnement normal car le frein sera appliqué seulement à la fin de la temporisation, avec une vitesse non nulle pouvant atteindre la vitesse maximale du servomoteur.

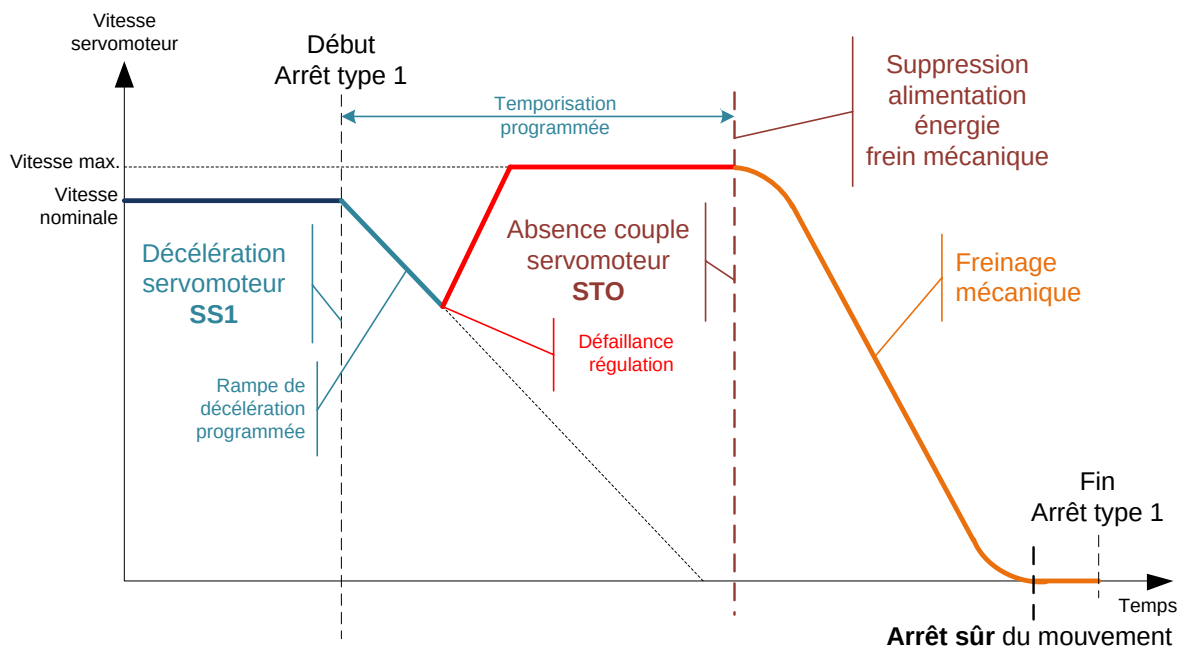


Figure 27 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 1 utilisant une fonction SS1, c) ; et réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR

10.5. Fonction d'arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2

Sur le principe, la fonction SS2 est constituée d'une phase de décélération du moteur et d'une phase de maintien à l'arrêt en position du moteur qui est assurée par la fonction SOS. Elle peut donc convenir (hormis le cas du « SS2, a » tel que justifié ci-après) pour participer à une fonction **d'arrêt sûr type 2** d'une presse à servomoteur.

Note : Certains fabricants de PDS/SR proposent, en guise de fonction SOS, une fonction de maintien à l'arrêt sûr en maintenant une vitesse nulle. La régulation de vitesse permet un déplacement lent par rapport à la position d'arrêt désirée. Ce principe ne répond pas à la définition du § 4.2.3.1 de la norme CEI 61800-5-2 qui requiert de maintenir une position d'arrêt.

10.5.1. Analyse fonctionnelle du cas SS2, a)

La mise à l'arrêt est obtenue suivant une rampe de décélération qui est commandée, mais non surveillée. L'enclenchement de la phase de maintien à l'arrêt étant conditionné par l'obtention d'une vitesse quasi nulle, en cas de défaillance (ex : non décélération), elle ne sera pas commandée. Il n'y aura pas de réaction à la défaillance et donc perte de la fonction de sécurité attendue.

Il n'est pas possible d'utiliser un SS2, a) pour réaliser un arrêt sûr type 2 car la maîtrise de la position d'arrêt est impérative dans toutes les fonctions de sécurité où ce type d'arrêt peut être mis en œuvre.

10.5.2. Analyse fonctionnelle du cas SS2, b)

La description de cette fonction est la suivante :

Arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2, b)

Le PDS/SR, initie et surveille la décélération du servomoteur dans les limites fixées pour l'arrêter.

Lorsque la vitesse du servomoteur est inférieure à un seuil donné (et proche d'un arrêt), il déclenche une fonction de maintien à l'arrêt sûr en position via la fonction SOS (l'alimentation en énergie électrique du servomoteur étant maintenue).

Recommandations :

Le seuil de fin de décélération du servomoteur doit être déterminé par le fabricant de la presse tel que, la vitesse du servomoteur, donc du coulisseau, soit quasiment nulle lors de la commande de la fonction SOS.

La limite de régulation autour de la position d'arrêt, définie par le concepteur de la presse doit permettre au variateur d'assurer sa fonction sans « pompage » et sans dépasser une valeur pouvant présenter un danger pour l'opérateur qui se trouverait potentiellement dans la zone dangereuse sous le coulisseau (voir § 10.11.2.3).

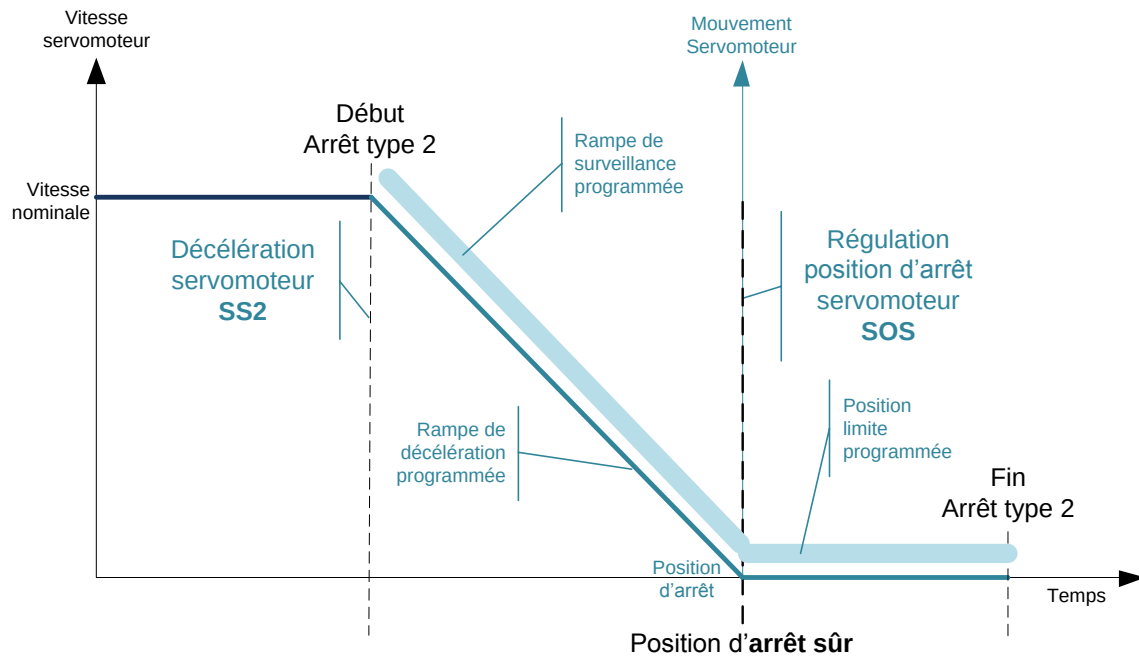


Figure 28 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2, b)

Note : Dans le cas de la mise en œuvre d'une fonction SS2, la position d'arrêt est considérée comme sûre tant qu'elle reste dans les limites fixées par l'analyse des risques (voir § 10.11.2.3).

10.5.3. Conséquences d'une défaillance pour le cas SS2, b)

L'analyse a permis de montrer que :

Une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR qui survient lors de la phase de décélération ou lors de la phase de maintien à l'arrêt en position met le servomoteur en « roue libre » et affecte donc la fonction d'arrêt sûr type 2.

Recommandations :

La réaction à la défaillance doit non seulement générer une position de repli du PDS/SR équivalente à une fonction STO, mais également activer un frein mécanique complémentaire pour arrêter et maintenir à l'arrêt le coulisseau de la presse bien que cet élément ne soit pas nécessaire en fonctionnement normal. **La réaction globale en cas de défaillance doit être équivalente à un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3).**

Les performances d'arrêt du coulisseau (voir § 10.11.2), en présence de défaillance, dépendront du temps de réaction à la défaillance du PDS/SR et des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4).

Note : Le temps de réaction à la défaillance dépend :

- du temps de détection de cette défaillance, conditionné :
 - o par les paramètres du PDS/SR pour une défaillance interne,
 - o par **les paramètres, de surveillance de la fonction de sécurité, mis en œuvre (ex : rampe de décélération, plage de maintien en position, etc.) par le concepteur de la presse.**
- du temps interne au PDS/SR pour générer la position de repli attendue.

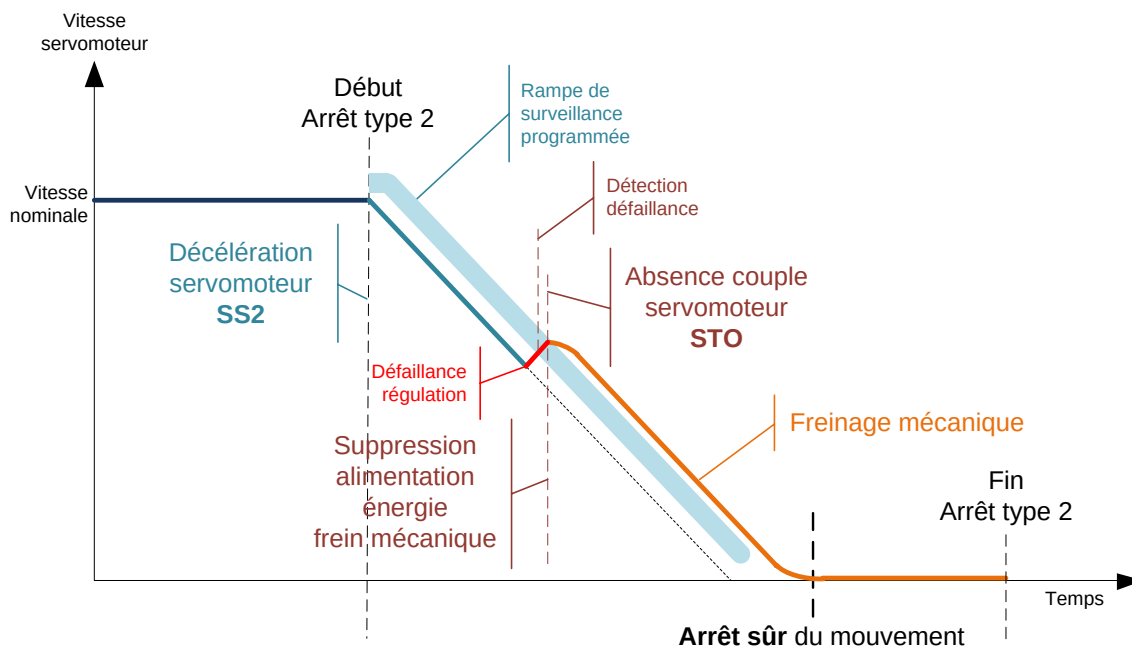


Figure 29 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2, b) ; et réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR pendant la phase de décélération

Constat : Lors d'une défaillance survenant pendant la phase de décélération, la réaction à l'anomalie pour la fonction SS2 b) est identique à celle d'une fonction SS1 b).

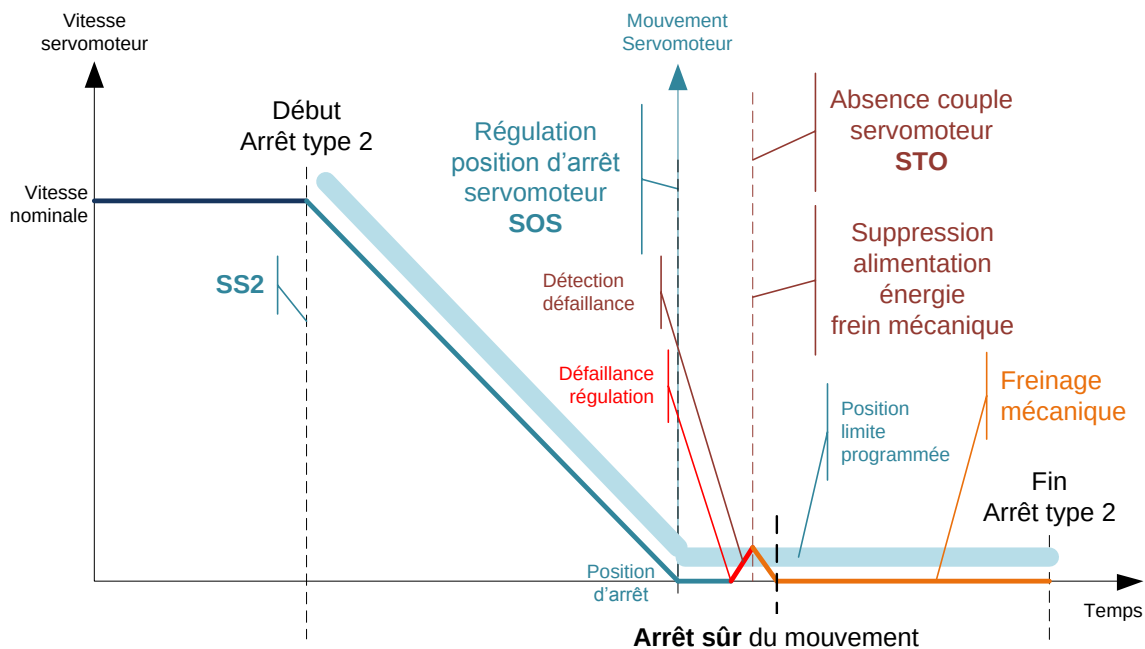


Figure 30 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2, b), et réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR pendant la phase de maintien à l'arrêt

10.5.4. Analyse fonctionnelle du cas SS2, c)

La description de cette fonction est la suivante :

Arrêt sûr type 2 utilisant une fonction SS2, c)

Le PDS/SR initie la décélération du servomoteur.

Après une temporisation spécifique à l'application, il déclenche une fonction de maintien à l'arrêt sûr en position via la fonction SOS (l'alimentation en énergie électrique du servomoteur étant maintenue).

Recommandations :

La temporisation doit être calibrée pour qu'à son terme, l'arrêt ayant été commandé à la vitesse maximale du servomoteur, la vitesse du coulisseau, soit nulle lors de la commande de la fonction SOS.

Certains fabricants proposent une alternative en commandant la fonction SOS lorsque la vitesse est nulle, sans attendre la fin de la temporisation.

La limite de régulation autour de la position d'arrêt, définie par le concepteur de la presse doit permettre au variateur d'assurer sa fonction sans « pompage » et sans dépasser une valeur pouvant présenter un danger pour l'opérateur qui se trouverait potentiellement dans la zone dangereuse sous le coulisseau (voir § 10.11.2.3).

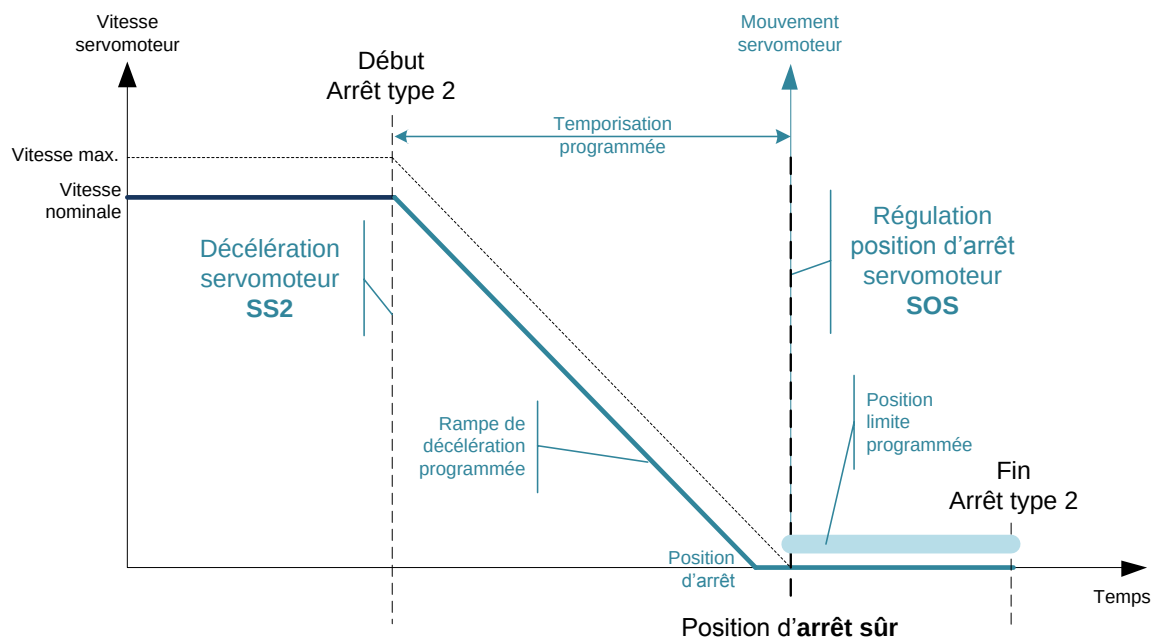


Figure 31 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 avec mise en œuvre d'une fonction SS2, c)

10.5.5. Conséquences d'une défaillance, pour le cas SS2, c)

L'analyse a permis de montrer que :

Une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR qui survient lors de la phase de décélération ou lors de la phase de maintien à l'arrêt en position met le servomoteur en « roue libre » et affecte donc la fonction d'arrêt sûr type 2.

Recommandations :

La réaction à la défaillance doit non seulement générer une position de repli du PDS/SR équivalente à une fonction STO, mais également activer un frein mécanique complémentaire pour arrêter et maintenir à l'arrêt le coulisseau de la presse bien que cet élément ne soit pas nécessaire en fonctionnement normal. **La réaction globale en cas de défaillance doit être équivalente à un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3).**

Les performances d'arrêt (voir § 10.11.2) du coulisseau, en présence de défaillance, dépendront du temps de réaction à la défaillance du PDS/SR et des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4).

Note :

Le temps de réaction à la défaillance dépend :

- du temps de détection de cette défaillance, conditionné :
 - o par les paramètres du PDS/SR pour une défaillance interne,
 - o par **les paramètres, de surveillance de la fonction de sécurité, mis en œuvre (temporisation et/ou plage de maintien en position) par le concepteur de la presse** pour commander la position de repli (STO).
- du temps interne au PDS/SR pour générer la position de repli attendue.

Lors d'une défaillance liée à la régulation, les performances d'arrêt du coulisseau seront moins bonnes que celles obtenues en fonctionnement normal car le frein complémentaire sera appliqué seulement à l'issue de la temporisation et après détection d'une position non maîtrisée, avec une vitesse non nulle pouvant aller jusqu'à la vitesse maximale du servomoteur.

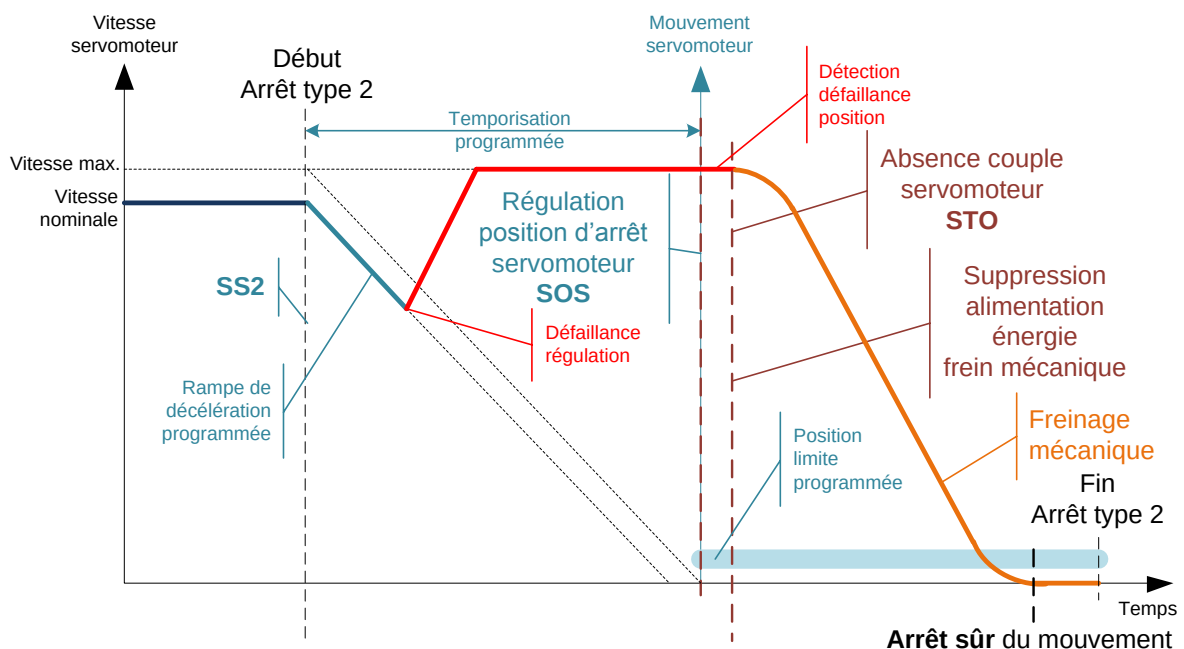


Figure 32 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 avec mise en œuvre d'une fonction SS2, c) ; et réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR pendant la phase de décélération

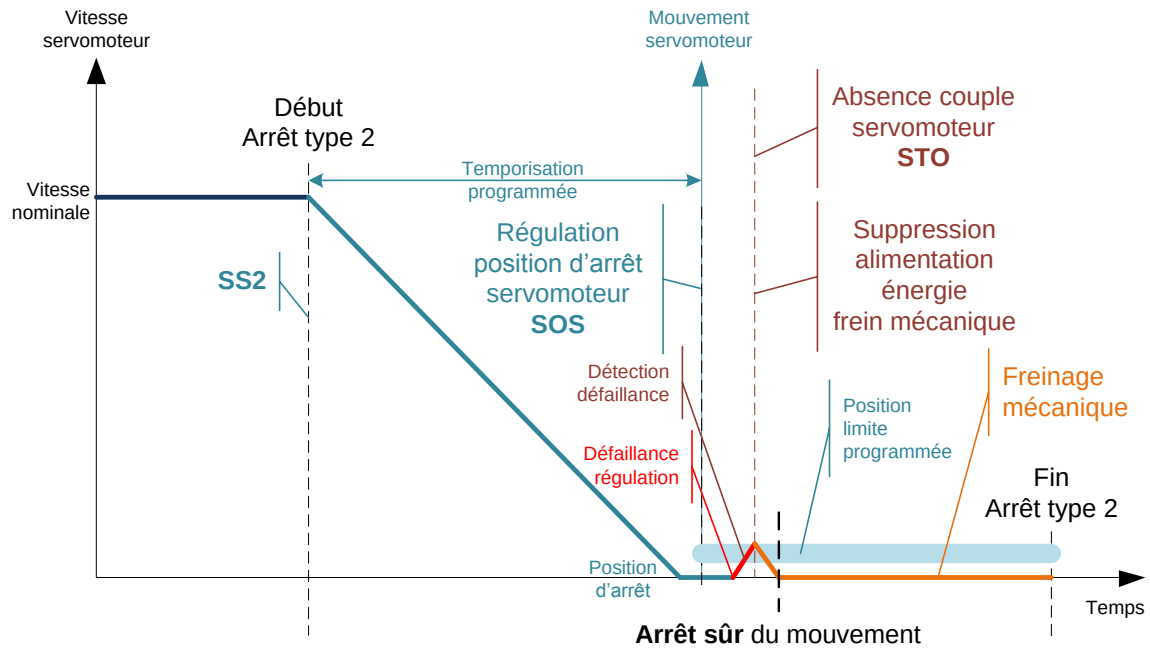


Figure 33 : Chronogramme d'une fonction d'arrêt sûr type 2 avec mise en œuvre d'une fonction SS2, c), et réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR pendant la phase de maintien à l'arrêt

Constat : Lors d'une défaillance survenant pendant la phase de maintien à l'arrêt, la réaction à l'anomalie pour la fonction SS2 c) est identique à celle d'une fonction SS2 b).

10.6. Fonction de maintien à l'arrêt sûr sous énergie utilisant une fonction SOS

10.6.1. Analyse fonctionnelle

La fonction SOS gère le maintien à l'arrêt en position du servomoteur de façon identique à la deuxième phase d'une fonction SS2. Sur le principe et en fonctionnement normal, une fonction SOS peut convenir pour assurer une fonction de **maintien à l'arrêt sûr sous énergie** d'une presse à servomoteur.

Note : Certains fabricants de PDS/SR proposent, en guise de fonction SOS, une fonction de maintien à l'arrêt sûr en maintenant une vitesse nulle. La régulation de vitesse permet un déplacement lent par rapport à la position d'arrêt désirée. Ce principe ne répond pas à la définition du § 4.2.3.1 de la norme CEI 61800-5-2 qui requiert de maintenir une position d'arrêt.

La description de cette fonction est la suivante :

Maintien à l'arrêt sûr sous énergie utilisant une fonction SOS

Le PDS/SR empêche le servomoteur de s'écarter de plus d'une quantité définie de la position d'arrêt (maintien à l'arrêt du coulisseau), en fournissant de l'énergie au servomoteur pour lui permettre de résister aux forces externes.

Recommandation :

La limite de régulation autour de la position d'arrêt, définie par le concepteur de la presse doit permettre au variateur d'assurer sa fonction sans « pompage » et sans dépasser une valeur pouvant présenter un danger pour l'opérateur qui se trouverait potentiellement dans la zone dangereuse sous le coulisseau (voir § 10.11.2.3).

10.6.2. Conséquences d'une défaillance

L'analyse a permis de montrer que :

Une coupure d'alimentation en énergie ou une défaillance du PDS/SR qui survient lors de la phase de maintien à l'arrêt en position met le servomoteur en « roue libre » et ne permet plus de retenir le coulisseau. Elle affecte donc la fonction de maintien à l'arrêt sûr sous énergie.

Recommandations :

La réaction à la défaillance doit non seulement générer une position de repli du PDS/SR équivalente à une fonction STO, mais également activer un frein mécanique complémentaire pour arrêter et maintenir à l'arrêt le coulisseau de la presse bien que cet élément ne soit pas nécessaire en fonctionnement normal. **La réaction globale en cas de défaillance doit être équivalente à un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3).**

Les performances de maintien à l'arrêt (voir § 10.11.2.3) du coulisseau, en présence de défaillance, dépendront du temps de réaction à la défaillance du PDS/SR et éventuellement des caractéristiques de ce frein (voir § 10.10.4).

Notes :

Le temps de réaction à la défaillance dépend :

- du temps de détection de cette défaillance, conditionné :
 - o par les paramètres du PDS/SR pour une défaillance interne,
 - o par **les paramètres, de surveillance de la fonction de sécurité, mis en œuvre (plage de maintien en position) par le concepteur de la presse.**
- du temps interne au PDS/SR pour générer la position de repli attendue.

La réaction à l'anomalie pour la fonction SOS est identique à celle d'une fonction SS2 lors d'une défaillance survenant pendant la phase de maintien à l'arrêt.

10.7. Contribution du PDS/SR à la commande d'un dispositif de retenue ou d'un frein

Comme décrit précédemment, un dispositif de retenue ou un frein doit être commandé lors de certains arrêts, et/ou lorsque le PDS/SR est défaillant et génère une position de repli (STO) conduisant à une mise en roue libre du servomoteur.

Afin de pouvoir commander le frein, les PDS/SR du marché fournissent généralement une sortie de recopie de l'état STO du variateur. Certains variateurs prévoient une sortie spécifique destinée à la commande du frein, dénommée SBC (Safe Brake Control), dont le fonctionnement est défini dans la norme CEI 61800-5-2.

Extrait 1 : Traduction du § 4.2.3.12 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SBC

4.2.3.12 Commande sûre de frein (SBC)

La fonction SBC fournit un ou des signaux de sortie de sécurité pour commander un ou des frein(s) extérieur(s).

Les figures de l'annexe A montrent des exemples d'exploitation des signaux de recopie de STO ou SBC pour la commande d'un frein extérieur.

Recommandation :

Ces sorties de sécurité (recopie STO ou SBC) doivent être conçues de sorte qu'en cas de coupure d'énergie ou de défaillance du PDS/SR, le frein soit mis en service automatiquement dans le cadre de la mise en repli du PDS/SR (voir § 10.1.2).

10.8. Conclusion sur la mise en œuvre d'un PDS/SR pour gérer des fonctions d'arrêt d'une presse à servomoteur

10.8.1. Remarques générales

L'analyse du comportement d'un PDS/SR, en cas d'apparition d'une défaillance, montre que les conditions de mise à l'arrêt du servomoteur peuvent être dégradées par rapport aux conditions normales ou ne pas être assurées. Par exemple, non-respect de la rampe de décélération, voire accélération ou coupure intempestive d'alimentation en énergie du servomoteur.

Le PDS/SR peut détecter ces défaillances. Cependant, il ne peut assurer à lui seul qu'une seule condition de repli : garantir qu'aucun couple ne sera fourni par le servomoteur. Cette fonction de repli est l'équivalent de la fonction STO. Il faudra donc que l'intégrateur d'un PDS/SR évalue les conséquences de la position de repli et prenne si besoin des mesures complémentaires pour qu'aucune situation dangereuse n'en découle.

Le concepteur de la presse doit donc :

- choisir parmi les options proposées du système de contrôle celle qui permet une détection en présence de défaillance et une réaction compatible avec l'analyse des risques de la machine,
- prévoir dans tous les cas de figures et quel que soit le type d'arrêt mis en œuvre, la mise en service automatique d'un frein pour pallier la carence du PDS/SR défaillant, bien qu'il soit conçu pour assurer une fonction de sécurité,
- prendre en compte les performances d'arrêt (voir § 10.11.2) de l'élément mobile en présence de défaillance. Elles peuvent être différentes de celles obtenues avec le PDS/SR hors défaillance, suivant le temps de détection de la défaillance, le temps de mise en service de la fonction de repli et du frein, et les performances d'arrêt du frein.

10.8.2. Remarques spécifiques à la mise en œuvre des fonctions SS2 et SOS pour participer à des fonctions d'arrêt sûr type 2 et de maintien à l'arrêt sûr sous énergie

Les servomoteurs permettent de gérer des mises à l'arrêt et maintien à l'arrêt par apport d'énergie. La mise en œuvre de ces fonctions de sécurité s'effectue via le PDS/SR et l'utilisation des fonctions spécifiques SS2 ou SOS. Dans la phase de maintien à l'arrêt assurée dans les deux cas par la fonction SOS, une défaillance peut générer un mouvement intempestif du servomoteur et donc du coulisseau qui sera détecté par la fonction. Cette défaillance peut survenir dans une phase d'inhibition des moyens de protection lorsque l'opérateur se trouve dans la zone potentiellement dangereuse pour effectuer des opérations de chargement et/ou déchargement de la presse.

Avant que la réaction à la défaillance n'arrête le mouvement dangereux via la position de repli mise en œuvre (STO + frein), le coulisseau se sera déplacé créant un risque potentiel pour l'opérateur. Cette situation n'est pas possible lorsque l'on privilégie des phases de maintien à l'arrêt hors énergie mettant en œuvre une fonction STO et un frein, ce qui est le cas pour les arrêts sûr type 0, arrêt sûr type 1 et maintien à l'arrêt sur hors énergie.

Recommandation :

L'utilisation des fonctions SS2 et SOS ne peut être acceptable, pour participer à des fonctions d'arrêt sûr type 2 et de maintien à l'arrêt sûr sous énergie, que si le mouvement intempestif potentiel consécutif à une défaillance ne crée pas de risque pour l'opérateur (voir § 10.11.2.3).

10.9. Gestion des mouvements du coulisseau par un PDS/SR

10.9.1. Généralités

Au-delà des fonctions d'arrêt décrites précédemment, d'autres fonctions exploitables au niveau du PDS/SR peuvent participer à la réalisation des fonctions de sécurité spécifiées au niveau de la presse.

C'est le cas par exemple lorsque la **limitation de la vitesse** du coulisseau, et par conséquence la vitesse du servomoteur, participe à la réduction du risque.

C'est le cas également lorsque l'on veut mettre en œuvre une fonction d'inhibition des moyens de protection. Un exemple de spécification de cette fonction est donné en annexe B, Tableau 3. Pour autoriser cette inhibition, il est nécessaire de maîtriser parfaitement les mouvements du coulisseau et de connaître à tout moment le sens de déplacement du coulisseau pour déterminer si le mouvement est potentiellement dangereux ou pas. Une inversion intempestive du mouvement du coulisseau peut provenir d'une défaillance du PDS/SR telle qu'une commande intempestive d'inversion du servomoteur ou de l'alimentation en énergie provoquant une perte de couple du servomoteur pouvant entraîner une inversion du mouvement du coulisseau pendant une phase de montée sous l'effet de la charge entraînante. Cette fonction peut être assurée par un **contrôle du sens de déplacement** du coulisseau.

Mais cette mesure peut ne pas être suffisante, compte tenu, notamment, des options et des plages de détection paramétrées et des temps de réaction aux anomalies. C'est pourquoi, dans le cadre des travaux de normalisation relatifs à la conception des presses à servomoteur, plusieurs mesures sont prescrites pour garantir que la fonction d'inhibition ne puisse être active que lorsque l'analyse des risques montre qu'il n'y a plus de danger pour l'opérateur. Ces mesures consistent à garantir qu'en cas d'inversion du sens de déplacement du coulisseau, de diminution anormale de la vitesse du coulisseau ou de perte d'alimentation au niveau du PDS/SR, la réaction à la défaillance conduise immédiatement à la suppression du couple du servomoteur et à la mise en service du frein. Ces mesures nécessitent donc de prévoir en plus du contrôle du sens de déplacement et de la position de repli adoptée de manière générale (voir § 10.1.2), la mise en œuvre d'une **surveillance d'un seuil de vitesse**.

L'analyse du comportement de ces différentes fonctions, hors et en présence de défaillance, est traitée dans les paragraphes suivants.

10.9.2. Comportement en présence de défaillance des fonctions de surveillance

D'une manière générale, toutes les fonctions de gestion des mouvements du coulisseau procèdent par apport d'énergie. Les fonctions de surveillance qui sont mises en œuvre dans le cadre des fonctions de sécurité de la presse à servomoteur se contentent de surveiller des limites ou des plages de fonctionnement définies par des paramètres qui sont renseignés par le concepteur de la machine.

En cas de défaillance ou de dépassement des limites prédéfinies, le PDS/SR génère une position de repli qui est généralement réalisée par une fonction STO.

Note : Des constructeurs offrent la possibilité, dans certains cas, de choisir également les fonctions SS1 ou SS2 comme position de repli. Ces dernières pouvant être défaillantes, la position de repli ultime conduira à une fonction STO.

Recommandations :

Lors de la mise en œuvre de ces fonctions de surveillance de paramètres (vitesse, sens, etc.) sur des presses à servomoteur, dont les éléments mobiles sont soumis à des charges entraînant et compte tenu des temps de réponse liés au cumul de ces fonctions, **il est recommandé de toujours sélectionner la fonction STO comme position de repli.**

La réaction à la défaillance doit également activer un frein mécanique complémentaire pour arrêter et maintenir à l'arrêt le coulisseau de la presse bien que cet élément ne soit pas nécessaire en fonctionnement normal. **La réaction globale en cas de défaillance doit être équivalente à un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3).**

10.9.3. Contrôle du sens de déplacement du coulisseau

La norme CEI 61800-5-2 propose la fonction SDI (Safe Direction).

Extrait 2 : Traduction du § 4.2.3.10 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SDI

4.2.3.10 Direction sûre (SDI)

La fonction SDI empêche l'arbre du moteur de se déplacer dans la direction non désirée SDI.

Cette fonction surveille le sens de rotation du servomoteur (défini par l'application) et génère une position de repli (STO) en cas d'inversion du sens quelle que soit son origine.

Cependant en cas de défaillance, pendant le temps de détection et de réaction à l'anomalie, le sens de déplacement du coulisseau peut s'inverser et générer un mouvement dangereux (descente) pour l'opérateur s'il se trouve dans la zone des outils.

Ce mouvement de descente intempestif ne doit en aucun cas excéder 2 mm.

Recommandations :

Lors de la mise en œuvre de cette fonction, il est nécessaire de prêter attention au type de presse sur laquelle elle est utilisée.

Sur les presses où le mode de transmission est linéaire (ex : presse à vis), le sens de rotation du servomoteur est en permanence représentatif du sens de déplacement du coulisseau. Il est donc facile de déterminer le sens de rotation correspondant au mouvement non dangereux du coulisseau. L'information représentative du sens du mouvement sera identique qu'elle soit prise au niveau de l'arbre du servomoteur ou au niveau du coulisseau.

Sur les presses mécaniques traditionnelles entraînées par une bielle, le sens de rotation du moteur (unidirectionnel) n'est représentatif du sens de déplacement du coulisseau que sur la moitié du cycle. C'est encore moins le cas sur les presses mécaniques à servomoteur utilisant des modes de fonctionnement particuliers (ex : mode pendulaire). Dans ce cas, le mouvement du coulisseau est inversé, en cours de cycle, par l'inversion du sens de rotation et indépendamment de la cinématique de la presse (par ex. sans passage au point mort haut).

Il semble donc difficile de gérer, dans ce cas, le sens de rotation du coulisseau en surveillant le sens de rotation du servomoteur, ce qui nécessiterait des informations de sécurité sur les inversions de sens liées au process. Il est donc recommandé, pour les presses mécaniques, d'utiliser une information directe du sens de déplacement du coulisseau.

10.9.4. Gestion de la vitesse

Pour répondre aux besoins exprimés § 10.9.1, la norme CEI 61800-5-2 propose les deux fonctions suivantes :

- limitation sûre de la vitesse (SLS – Safely Limited Speed),
- surveillance sûre de la vitesse (SSM – Safe Speed Monitor).

Extrait 3 : Traduction du § 4.2.3.4 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SLS

4.2.3.4 Limitation sûre de la vitesse (SLS)

La fonction SLS empêche le moteur de dépasser la limite de vitesse spécifiée.

Cette fonction surveille la vitesse de rotation du moteur et génère une position de repli (STO) en cas de dépassement de la limite définie par l'application, quelle que soit son origine.

Dans notre cas, cette fonction est utilisée afin de limiter la vitesse de descente du coulisseau. Elle peut donc, si le système de commande du PDS/SR le permet, être associée à un contrôle du sens de rotation.

Pour les presses à servomoteur, lorsque cette fonction participe à la réduction du risque, la limite de vitesse du coulisseau est fixée à 10 mm/s.

Note : Compte tenu des moyens de contrôle mis en œuvre, il pourrait être admis que la valeur limite fixée en fonctionnement normal puisse être dépassée temporairement, en cas de défaillance, à condition que le temps de détection et de réaction à l'anomalie ne permettent pas une augmentation dangereuse de la vitesse. En l'état actuel du projet de norme ISO sur les presses à servomoteur, aucun dépassement n'est admis même en présence de défaillance.

Extrait 4 : Traduction du § 4.2.3.14 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SSM

4.2.3.14 Surveillance sûre de la vitesse (SSM)

La fonction SSM fournit un signal de sortie de sécurité pour indiquer si la vitesse du moteur est inférieure à une limite spécifiée.

Cette fonction surveille la vitesse de rotation du moteur et fournit un signal lorsqu'elle est inférieure à la valeur définie par l'application, quelle que soit son origine.

Dans notre cas, cette fonction est utilisée afin d'anticiper une inversion du mouvement du coulisseau qui pourrait devenir dangereuse (mouvement de montée qui se transforme en mouvement de descente) avant son apparition. Comme pour la limitation de vitesse, elle peut, si le système de commande du PDS/SR le permet, être associée à un contrôle du sens de rotation. Cette fonction doit donc détecter une vitesse relativement faible, sans perturber le fonctionnement normal de la presse. Le seuil de vitesse sera déterminé par le concepteur en fonction de l'application.

Recommandations :

Lors de la mise en œuvre de ces deux fonctions, il est nécessaire de prêter attention au type de presse sur laquelle elles sont utilisées.

Sur les presses où le mode de transmission est linéaire (ex : presse à vis), la vitesse de rotation du servomoteur est en permanence proportionnelle à la vitesse de déplacement du coulisseau. Il est donc facile de déterminer un seuil de vitesse de rotation correspondant au seuil de vitesse du coulisseau. L'information représentative de la vitesse du coulisseau pourra être prise au niveau de l'arbre du servomoteur ou au niveau du coulisseau.

Sur les presses mécaniques à servomoteur entraînées par une bielle, la vitesse de rotation du moteur n'est pas représentative de la vitesse de déplacement du coulisseau. A vitesse du moteur constante, la vitesse du coulisseau décrit une sinusoïde.

Pour gérer la limitation de vitesse du coulisseau (SLS), c'est donc une information représentative de la vitesse de déplacement du coulisseau qui doit être utilisée.

Pour gérer le seuil de vitesse minimum (SSM), c'est donc une information de vitesse du servomoteur qui doit être utilisée.

10.9.5. Cas des PDS/SR composés de plusieurs servomoteurs ou comportant un système de récupération d'énergie

10.9.5.1. Entraînement par plusieurs servomoteurs

Un PDS/SR peut être composé de un ou plusieurs ensembles variateur-servomoteur pour piloter un axe unique. C'est notamment le cas sur les presses mécaniques à excentrique ou à vis où des forces importantes sont obtenues via plusieurs servomoteurs. Ce choix peut être déterminé par des soucis de standardisation des équipements (servomoteur, variateur), pour améliorer la rentabilité énergétique des servomoteurs, etc.

Note : Ce paragraphe ne concerne pas, par exemple une presse plieuse qui comporte deux servomoteurs, mais un seul pour chaque axe.

La question que l'on peut se poser est : comment va réagir le PDS/SR en cas de défaillance de l'un ou de tous les ensembles variateur-servomoteur ?

Pour les défaillances affectant l'ensemble du PDS/SR, telles une coupure d'énergie, la réaction à la défaillance sera identique au cas des mono-servomoteurs.

Lorsque la défaillance affecte un seul des servomoteurs (sur un ensemble qui en compte plusieurs), dans le cadre de la mise en œuvre d'une fonction de sécurité nécessitant un apport d'énergie (ex : SS1, SS2, SOS, etc.), il est possible que les autres servomoteurs puissent compenser cette défaillance.

L'important est que les performances attendues pour la ou les fonctions de sécurité, en terme de temps d'arrêt, de position d'arrêt, etc. soient maintenues.

En aucun cas, la multiplicité des servomoteurs ne peut dispenser de la présence d'un système de freinage prévu pour agir en présence de défaillance.

10.9.5.2. Système de récupération d'énergie

Certains PDS sont pourvus d'un système de récupération d'énergie destiné à récupérer de l'énergie lors des phases de ralentissement et à la restituer lorsque le PDS requiert la pleine puissance. Ce système permet d'éviter, pour les grosses puissances, de surdimensionner l'installation électrique.

Ce système est conçu dans un but uniquement fonctionnel et ne peut pas être utilisé pour pallier une défaillance d'alimentation en énergie, même temporaire.

10.10. Réflexions sur la partie mécanique du système d'entraînement

10.10.1. Introduction

Les parties mécaniques du système d'entraînement participent pleinement aux fonctions de sécurité en faisant le lien entre le servomoteur, qui gère une partie des fonctions (décélération lors des arrêts, régulation de vitesse ou de position, etc.), le système de freinage ou de maintien à l'arrêt (mécanique) et le coulisseau.

Parmi ces différents éléments, nombreux sont déjà présents sur les presses classiques et disposent de préconisations de conception dans les normes « presses ».

Dans le cadre de cette réflexion, seules les parties mécaniques impliquées dans la sécurité et présentant des nouveautés (ex : courroies, vis à bille, etc.) ont été analysées.

10.10.2. Transmission par courroies

10.10.2.1. Analyse fonctionnelle

Sur certaines presses à excentrique, presses ou presses plieuses à vis, la transmission entre le servomoteur et le coulisseau peut désormais être assurée par des courroies qui contribuent à certaines fonctions de sécurité. Pour mémoire, ce n'est pas le cas sur les presses traditionnelles, notamment les presses mécaniques. Du fait de cette nouveauté, ce système de transmission doit être conçu pour garantir la fonction de sécurité attendue (arrêt et maintien à l'arrêt, limitation de vitesse, etc.).

10.10.2.2. Comportement en présence de défaillance

D'une manière générale, les défaillances identifiées pour une courroie peuvent être la rupture, l'allongement et le glissement. Dans le cas où une seule courroie serait mise en œuvre et suivant la partie de fonction qu'elle assurerait, les conséquences pourraient être variées. A titre d'exemple, on peut citer :

- descente intempestive du coulisseau (pas d'arrêt ou de maintien à l'arrêt) en cas de rupture,
- dégradation des performances d'arrêt en cas de glissement ou d'allongement.

L'absence de critères d'évaluation des performances de sécurité et l'absence de retour d'expérience lors de l'utilisation d'une courroie unique sur les presses à servomoteur ne permettent pas d'exclure la défaillance de ce composant.

De ce fait, lorsque ce mode de transmission est utilisé, des dispositions doivent être mises en œuvre pour que la défaillance d'une courroie ne mène pas à la perte de la fonction de sécurité.

Recommandations :

Les courroies qui participent aux fonctions de sécurité doivent être doublées (redondance), chacune d'elles étant calibrée pour pouvoir assurer seule la fonction de sécurité. Elles doivent être auto-surveillées afin que la presse soit mise à l'arrêt en cas de bris d'une courroie.

En complément, des mesures de conception doivent être mises en œuvre afin que le bris d'une courroie n'entraîne pas simultanément le déraillement de la deuxième courroie.

10.10.3. Transmission par système vis/écrou

Lorsque seule une fonction de maintien à l'arrêt est nécessaire [exemple de la mise en œuvre d'un protecteur interverrouillé (voir § 9.3.3.1) ou phase de maintien à l'arrêt d'un arrêt sûr type 1 (voir § 9.3.3.4)], le concepteur pourrait s'interroger sur la nécessité de prévoir, en fonctionnement normal, un dispositif de maintien à l'arrêt ou sur la capacité du système vis/écrou à maintenir seul à l'arrêt le coulisseau lorsqu'il est soumis à une charge entraînante.

Les progrès apportés à la conception des systèmes vis-écrou afin d'améliorer leur rendement (ex : vis à billes), ont contribué également à les rendre réversibles lorsqu'ils ne sont plus entraînés par le servomoteur. Il en est de même pour les systèmes plus classiques où l'usure progressive entre la vis et l'écrou tend à diminuer les frottements et à favoriser la réversibilité.

En conséquence, pour tous les systèmes vis-écrou, un dispositif de retenue du coulisseau (ex : frein) est nécessaire pour toutes les situations nécessitant un maintien à l'arrêt hors énergie.

Note : Ce dispositif de retenue n'est pas un dispositif supplémentaire, c'est celui prévu lors de la mise en œuvre d'un maintien à l'arrêt sûr hors énergie (voir § 9.3.3.1).

10.10.4. Système de freinage et/ou de maintien à l'arrêt

10.10.4.1. Rappel

Sur les presses mécaniques à servomoteur (à excentrique ou à vis) la présence d'un système de freinage et/ou de maintien à l'arrêt, de sécurité, est indispensable quels que soient les types d'arrêt de sécurité envisagés.

Ce système peut être utilisé :

- pour maintenir à l'arrêt le coulisseau lors d'un **maintien à l'arrêt sûr hors énergie** (voir § 9.3.3.1),
- pour mettre à l'arrêt et maintenir à l'arrêt le coulisseau lors d'un **arrêt sûr type 0** (voir § 9.3.3.3),
- pour terminer la mise à l'arrêt et maintenir à l'arrêt le coulisseau lors d'un **arrêt sûr type 1** (voir § 9.3.3.4),
- pour mettre à l'arrêt et maintenir à l'arrêt le coulisseau lors de la mise en œuvre d'une **position de repli** (arrêt sûr type 0) en réaction à une défaillance ou une absence d'énergie du PDS/SR pour toutes les fonctions de sécurité auquel il participe.

Le système de freinage peut être positionné à différents endroits de la chaîne de transmission, depuis le servomoteur jusqu'au coulisseau, mais tous les éléments de transmission situés entre le frein et le coulisseau doivent être sûrs.

10.10.4.2. Conception et dimensionnement

Le système de freinage et/ou de maintien à l'arrêt doit être correctement dimensionné pour assurer les parties de fonctions auxquelles il participe :

- lorsqu'il assure uniquement le maintien à l'arrêt, il doit être dimensionné pour retenir la masse maximale de l'élément mobile (coulisseau, outils,...) sans inertie,
- lorsqu'il assure le freinage en fonctionnement normal ou en présence de défaillance, il doit être calibré pour les caractéristiques maximales de l'élément mobile (vitesse, masse, etc.) et également en fonction des performances d'arrêt attendues ou souhaitées pour le positionnement des moyens de protection (voir § 10.11.2).

Recommandation :

Le système de freinage doit être dimensionné pour pouvoir assurer un arrêt sûr type 0 quel que soit le type d'arrêt mis en œuvre (0, 1 ou 2).

Les règles de conception des freins participant à des fonctions de sécurité restent les mêmes que celles établies notamment dans la norme NF EN 692 pour les presses mécaniques classiques.

Note : Lorsque le système de freinage n'est pas utilisé pour assurer à chaque cycle un arrêt sûr type 0, la principale différence par rapport au frein d'une presse classique (ex : presse mécanique à embrayage-frein) utilisée en chargement/déchargement manuel est que son taux d'utilisation peut être très faible (uniquement sur des arrêts de protection ou en position de repli suite à une défaillance).

10.11. Performances de freinage et d'arrêt

10.11.1. Contrôle des performances de freinage

Contrairement au frein d'une presse à excentrique à embrayage à friction qui, lorsqu'elle fonctionne en chargement et/ou déchargement manuel, est utilisé et contrôlé à chaque cycle, le système de freinage d'une presse mécanique à servomoteur (à excentrique ou à vis) peut être rarement ou jamais utilisé en fonctionnement normal, en fonction du type d'arrêt envisagé pour son exploitation.

Un contrôle des performances de freinage doit donc être mis en œuvre :

- pour toutes les **presses à vis** à servomoteur,
- pour toutes les **presses à excentrique** à servomoteur à l'exception de celles dont les arrêts cycliques de production mettent en œuvre le frein pour assurer leur mise à l'arrêt (arrêt type 0). Pour ces dernières, le contrôle des performances d'arrêt (§ 10.11.2.4), effectué à chaque cycle est suffisant pour contrôler le frein.

Ce contrôle des performances de freinage est composé d'un contrôle statique et d'un contrôle dynamique.

10.11.1.1. Contrôle statique du frein

Ce test est destiné à contrôler la capacité du frein à assurer sa fonction.

Nature du test : Le test consiste à appliquer un couple moteur pendant une seconde alors que le frein est en service et à s'assurer de l'immobilité du coulisseau. Ce couple moteur doit au moins correspondre à 1,5 fois le couple maximal de freinage nécessaire pour obtenir l'arrêt dans les conditions les plus défavorables. Si le test n'est pas concluant, le système de commande doit interdire le fonctionnement de la presse.

Note : Ce test peut être fait sans dépose de l'outillage en place. Pendant l'exécution du test, les moyens de protection doivent être opérationnels et actifs.

Périodicité : La périodicité du test est déterminée en fonction de l'usage de la presse et de la fréquence d'intervention des opérateurs dans la zone dangereuse. Plus la fréquence est importante (cas des presses à chargement et/ou déchargement manuel), plus la périodicité doit être élevée (à chaque prise de poste ou toutes les 8 heures). Pour les autres, la périodicité peut être réduite à une fois par jour.

10.11.1.2. Contrôle dynamique du frein

Ce test est destiné à contrôler le fonctionnement du frein dans ses conditions maximales d'utilisation ainsi que l'usure du frein.

Nature du test : Le test consiste à commander un arrêt sûr type 0 (§ 9.3.3.3) pendant une course de fermeture du coulisseau à sa vitesse maximale et à s'assurer que le temps d'arrêt obtenu (T_{test}) n'excède pas, d'une valeur correspondant à l'usure maximale tolérée (δ), le temps pris en référence (même type d'arrêt et même conditions) lors du calcul de la distance de sécurité ($T_{\text{réf}}$). Si le test n'est pas concluant, le système de commande doit interdire le fonctionnement de la presse.

$$T_{\text{test}} \leq T_{\text{réf}} + \delta$$

Périodicité : Le test dynamique doit être réalisé automatiquement au moins une fois par an.

Note : En l'état actuel du projet de norme ISO sur les presses à servomoteur, il est spécifié que si le test dynamique est réalisé au moins une fois par trimestre (lors des vérifications périodiques), le test statique n'est pas obligatoire.

10.11.2. Performances d'arrêt

Lors de la spécification de certaines fonctions de sécurité (Arrêt de protection, Arrêt fin de cycle, etc.), des critères de performances d'arrêt et/ou de maintien à l'arrêt ont été prévus.

Les critères de performances d'arrêt s'expriment :

- soit en **temps d'arrêt**, lorsqu'ils sont utilisés pour le calcul de la distance de sécurité nécessaire au positionnement de certains moyens de protection. C'est notamment le cas pour la fonction arrêt de protection (§ 9.3.3.6),
- soit en **distance d'arrêt**, lorsque l'on veut s'assurer du non dépassement, en présence de défaillance, d'une position d'arrêt qui peut présenter un risque pour l'opérateur. C'est le cas notamment pour les fonctions d'anti-redoublement (§ 9.3.3.7) ou d'arrêt sûr par organe de commande (§ 9.3.3.9),
- soit en **position d'arrêt**, lorsque l'on veut s'assurer du maintien à l'arrêt dans une position sûre. C'est notamment le cas pour la fonction de maintien à l'arrêt fin de cycle (§ 9.3.3.8), mais également de la phase des fonctions arrêt de protection (§ 9.3.3.6), anti-redoublement (§ 9.3.3.7) ou arrêt sûr par organe de commande (§ 9.3.3.9) qui concerne le maintien à l'arrêt.

10.11.2.1. Temps d'arrêt

Pour les protecteurs verrouillés sans dispositif de blocage et les dispositifs de protection, la maîtrise du temps d'arrêt de l'élément mobile est prépondérante. Elle est nécessaire pour positionner correctement ces moyens de protection par rapport à la zone dangereuse.

Pour une presse mécanique à embrayage-frein « traditionnelle », le système d'arrêt en sécurité et en présence de défaillance (débrayage et freinage) est également utilisé pour assurer les fonctions d'arrêt « normal ». La sollicitation de cette fonction de sécurité génère le même temps d'arrêt que l'arrêt normal qui peut donc être mesuré facilement.

Pour les presses à servomoteur, lors de la mise en œuvre d'un arrêt sûr type 2 en fonctionnement normal, la sollicitation de la fonction de sécurité « arrêt de protection » doit procéder par un arrêt sûr type 0 ou 1. Les performances de l'arrêt de protection, qui doivent être prises en considération pour le positionnement des moyens de protection, peuvent alors être différentes.

La mise en œuvre de certaines fonctions d'arrêt par un PDS/SR peut également influencer le temps de réponse suivant les choix effectués [ex. SS1 b) vs SS1 c)] ou en cas de défaillance du système.

Le temps d'arrêt doit donc intégrer plusieurs paramètres :

- le temps de réponse de tous les éléments constitutifs de la chaîne d'arrêt depuis le déclencheur de la fonction (ex : franchissement d'une barrière immatérielle) jusqu'à l'obtention de l'arrêt complet de l'élément mobile considéré, le coulisseau,
- le temps d'arrêt dans les conditions matérielles de l'élément mobile les plus défavorables (vitesse et charge maximale),
- la prise en compte des spécificités liées à la fonction d'arrêt mise en œuvre au niveau du PDS/SR (ex : SS1) et des options configurées pour cet arrêt,
- le temps de réponse en présence de défaillance de l'élément le plus pénalisant de la chaîne d'arrêt incluant pour certaines parties de fonction, le temps de réaction à la faute permettant de garantir la fonction de sécurité (cas de la fonction arrêt sûr type 1).

Notes : Pour certains éléments constituant la chaîne d'arrêt, on peut déterminer ou recueillir, auprès des fabricants, des temps de réponse en fonctionnement normal ou en présence de défaillance. Lors de la prise en compte des différents éléments constitutifs de la chaîne d'arrêt, **on ne doit considérer qu'une seule défaillance à la fois.**

Dans le cas d'utilisation de composants ou de partie de fonction (ex : SS1) dont le temps de réponse augmente en cas de défaillance. Il faut calculer le temps d'arrêt global avec la défaillance du composant ou de la partie de fonction dont le différentiel entre le temps hors

défaillance et celui avec défaillance est le plus important.

L'annexe C propose un exemple détaillé de la détermination du temps de réponse pour une fonction d'arrêt de protection mettant en œuvre une fonction SS1 b).

Le temps de réponse déterminé pour le calcul de la distance de sécurité servira également de référence lors du contrôle dynamique du frein (§ 10.11.1.2) ou du contrôle des performances d'arrêt (§ 10.11.2.4).

10.11.2.2. Distance d'arrêt

La distance d'arrêt du coulisseau est un facteur prépondérant :

- pour les presses à excentrique lorsqu'une fonction d'anti-redoublement est mise en œuvre (§ 9.3.3.7),
- pour toutes les presses lorsque la mesure de prévention est assurée, pour partie, par le relâchement de l'organe de commande (§ 9.3.3.9).

Dans le premier cas et en cas de défaillance (régulation, usure du frein, etc.), la surcourse tolérée par rapport à la distance d'arrêt hors défaillance, ne doit pas excéder une valeur correspondant à un angle de rotation du vilebrequin de 15° (valeur citée dans la norme NF EN 692).

Un contrôle automatique des performances d'arrêt (§ 10.11.2.4) doit être mis en place.

Recommandation :

Dans le second cas, la surcourse tolérée, en cas de défaillance, ne doit pas excéder 2 mm par rapport à la distance d'arrêt hors défaillance.

Note : Ces résultats doivent être obtenus, en optimisant la conséquence d'une défaillance sur la fonction d'arrêt choisie. Par exemple, si une fonction d'arrêt sûr type 1 est choisie pour assurer la fonction de relâchement de l'organe de commande, il faudra privilégier la mise en œuvre d'une fonction SS1 b) (§ 10.4) qui limite l'augmentation du temps de réponse en cas de défaillance.

10.11.2.3. Position d'arrêt

Le maintien en position d'arrêt du coulisseau d'une presse peut être assuré :

- soit hors énergie dans le cas des fonctions de maintien à l'arrêt sûr hors énergie, arrêt sûr type 0 ou 1,
- soit sous énergie dans le cas des fonctions de maintien à l'arrêt sûr sous énergie ou arrêt sûr type 2.

Dans le premier cas, le maintien à l'arrêt est assuré par un frein ou un dispositif de maintien à l'arrêt mécanique fonctionnant par manque d'énergie. Cet élément est conçu, calibré et surveillé afin que la fonction qu'il assure ne soit pas dégradée même en présence de défaillance.

Dans le deuxième cas, le maintien à l'arrêt est assuré par le DPS/SR en maintenant un couple au servomoteur. Des moyens sont mis en œuvre, notamment au niveau de la fonction SOS (§ 10.6) afin de contrôler la position d'arrêt du coulisseau. En cas de défaillance, cette fonction mène à une position de repli équivalente à un arrêt sûr type 0. Pendant le temps de détection de la défaillance et de mise en place de la position de repli, le coulisseau peut entamer un mouvement de descente potentiellement dangereux pour un opérateur qui se trouverait dans cette zone.

Recommandation :

Lorsque la fonction de maintien en position d'arrêt est assurée par une fonction de maintien à l'arrêt sûr sous énergie (SOS), l'écart de position maximum toléré ne doit pas présenter de risque pour l'opérateur. Cette valeur ne doit pas excéder 2 mm, tout compris.

10.11.2.4. Contrôle des performances d'arrêt des presses mécaniques à servomoteur

Les **presses mécaniques à servomoteur** dont la protection est assurée par un protecteur équipé d'un dispositif de verrouillage ou par un dispositif de protection, inhibé pendant la remontée automatique, doivent comprendre un contrôle de leurs performances d'arrêt.

Note : Ce test doit être mis en œuvre, indépendamment du type d'arrêt (0, 1 ou 2) choisi pour arrêter le coulisseau en fin de cycle.

Le test consiste :

- uniquement pour les presses à excentriques : à contrôler à la fin de chaque cycle de la presse, que la surcourse éventuelle d'arrêt du vilebrequin n'excède pas 15° par rapport à la position d'arrêt prédéterminée. Ce test permet également de contrôler l'usure du frein lorsque l'arrêt fin de cycle est assuré par un « arrêt sûr type 0 »,
- pour toutes les presses mécaniques (à excentrique ou à vis) : à contrôler à chaque sollicitation du moyen de protection, que le temps d'arrêt du coulisseau n'excède pas le temps pris en compte pour le calcul de la distance de sécurité.

Un dépassement des limites fixées doit empêcher un nouveau cycle de la presse.

10.11.3. Synthèse des contrôles de performances à prévoir

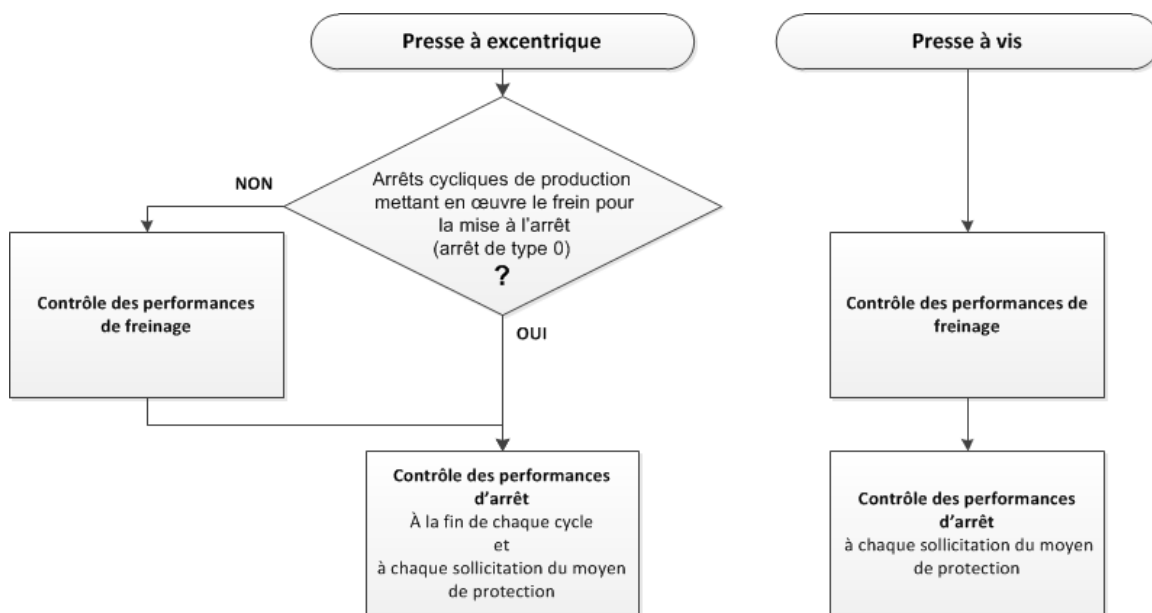


Figure 34 : Contrôles de performances à prévoir sur les presses à servomoteur à excentrique et à vis

11. Analyse de la validité des moyens de protection conventionnels sur les presses à servomoteur

Lors de la phase de conception d'une presse, le constructeur est souvent amené à choisir un moyen de protection (protecteur, dispositif de protection) pour couvrir les risques identifiés lors de l'évaluation. **La mise en œuvre de servomoteurs sur les presses ne modifie pas l'appréciation des risques vis-à-vis des opérateurs.** Les moyens de protection qui sont listés dans les référentiels normatifs relatifs à la conception des presses « traditionnelles » restent valables sous certaines conditions.

Les critères de choix du moyen de protection le mieux adapté à une situation donnée dépendent en grande partie :

- de la nature des risques mécaniques à couvrir (uniquement liés aux outils ou risques de projections supplémentaires),
- de l'utilisation prévisible de la presse (travail de reprise avec chargement et/ou déchargement manuel des pièces ou fonctionnement continu sans intervention de l'opérateur pour la production),
- de la fréquence d'intervention dans la zone potentiellement dangereuse (coulisseau, outils),
- des caractéristiques et des performances d'arrêt des éléments mobiles de ces presses.

Si les trois premiers critères sont indépendants des presses à servomoteur, le dernier peut être fortement influencé par cette technologie, compte tenu :

- des particularités des fonctions d'arrêt spécifiques aux presses à servomoteur,
- du comportement, en présence de défaillance, des composants électroniques utilisés pour gérer ces fonctions d'arrêt,
- des performances des freins mécaniques mis en œuvre,
- des conditions d'évaluation, calcul et/ou mesure des temps d'arrêt maximaux.

L'analyse des caractéristiques d'arrêt doit permettre d'orienter le choix des moyens de protection les mieux adaptés.

Un autre critère, non lié directement à l'analyse des risques, peut être pris en compte afin de minimiser l'impact technologique et financier que peut représenter la conception d'une presse mécanique à servomoteur.

Comme cela a été démontré précédemment, lorsque la protection de l'opérateur est assurée par des protecteurs verrouillés sans dispositif de blocage ou des dispositifs de protection, le concepteur doit prévoir un système de freinage capable d'arrêter le coulisseau dans les pires conditions et ce quel que soit le type d'arrêt prévu pour la production. En d'autres termes, même si les arrêts de production en fin de cycle sont assurés exclusivement par le servomoteur via un arrêt sûr type 2 (§ 9.3.3.5), le concepteur doit prévoir un frein supplémentaire correctement dimensionné pour assurer ou participer à la fonction d'arrêt de protection (§ 9.3.3.6) et assurer l'arrêt du coulisseau en cas de défaillance du PDS/SR. Cela peut représenter un investissement technique et financier important pour une probabilité d'utilisation très faible.

Lorsque la presse est utilisée en fonctionnement continu et que le moyen de protection n'est jamais inhibé, le concepteur peut mettre en place des protecteurs verrouillés avec dispositif de blocage (protecteurs interverrouillés) pour assurer la protection des opérateurs. Avec ce moyen de protection, le temps d'arrêt de l'élément mobile n'a plus d'influence sur la sécurité. Seule une fonction de maintien à l'arrêt sûr hors énergie (§ 9.3.3.1) est nécessaire lorsque le protecteur est débloqué ou non-fermé, afin de garantir l'arrêt de l'élément mobile et empêcher son démarrage intempestif lors des interventions de l'opérateur dans la zone de travail. Cette fonction peut être assurée par un dispositif de maintien à l'arrêt sans capacité de freinage.

Lorsque cela est envisageable, le choix de ce moyen de protection peut donc permettre de profiter des fonctionnalités des servomoteurs, en s'affranchissant des contraintes techniques liées à la maîtrise du temps d'arrêt.

12. Discussion et conclusions

Contrairement aux presses « traditionnelles », sur les presses ou presses plieuses à servomoteur le système d'entraînement de puissance ne se contente plus de fournir l'énergie mécanique ou hydraulique nécessaire aux mouvements du coulisseau. Il participe aussi pleinement à la réalisation des fonctions de sécurité mises en œuvre pour couvrir les risques identifiés.

Le PDS/SR devient le cœur du système de commande permettant la mise en œuvre de nouveaux modes de fonctionnement et assurant, pour partie, un grand nombre des fonctions de sécurité nécessaires à la protection des opérateurs (arrêts de différents types, régulation et limitation de vitesse et de position, contrôle du sens de rotation, etc.).

De par sa conception (composant électronique) et son mode de gestion de nombreuses fonctions de sécurité (par apport d'énergie), le PDS/SR peut être affecté par des défaillances menant à une dégradation des performances de sécurité des fonctions à accomplir.

Cette dégradation peut conduire d'une part, à un allongement de temps de réponse et d'autre part, à une impossibilité d'accomplir seule la fonction attendue en cas de défaillance interne ou d'absence d'énergie au niveau du PDS/SR.

Les différents systèmes présents sur le marché prévoient tous une position de repli de sécurité consistant en une absence de couple sur le servomoteur. Si pour certaines machines cette position de repli est suffisante, pour les presses à métaux où les éléments mobiles potentiellement dangereux travaillent verticalement et sont soumis à la gravité, elle ne peut suffire à assurer les fonctions attendues et notamment celles d'arrêt et de maintien à l'arrêt.

Lorsque l'accès à la zone dangereuse est possible en cours de mouvement du coulisseau (lorsque des protecteurs sans dispositif de blocage mécanique ou des dispositifs de protection sont utilisés), un frein, capable d'arrêter le coulisseau en cas d'arrêt sûr type 0, de défaillance du PDS/SR ou de perte de l'alimentation électrique doit être fourni. Ce frein doit être dimensionné pour la capacité maximale de la machine. Le temps d'arrêt nécessaire pour le positionnement des moyens de protection doit être déterminé dans les conditions les plus défavorables de la machine (vitesse, masse entraînée). Il faut considérer la défaillance la plus pénalisante, en termes de temps de réponse, du circuit de commande global y compris le PDS/SR.

Lorsque l'accès à la zone dangereuse est impossible en cours de mouvement du coulisseau (cas des protecteurs avec dispositif de blocage mécanique sans inhibition), la mise en œuvre d'un système de maintien à l'arrêt peut être suffisante.

Concernant les éléments mécaniques « nouveaux » pour les presses à servomoteur, on peut citer les transmissions par vis/écrou (vérin électrique) utilisées sur les presses et presses plieuses à vis. Les caractéristiques de ces vis et notamment leur réversibilité n'affranchissent pas les constructeurs de la mise en œuvre d'un système de retenue pour pallier une descente intempestive liée à la gravité.

Certaines transmissions sont désormais assurées par des courroies qui contrairement aux presses traditionnelles peuvent contribuer à certaines fonctions de sécurité. De ce fait, ce système de transmission doit être conçu pour garantir ces fonctions (ex : redondance et auto-surveillance).

Les autres transmissions mécaniques rigides qui étaient déjà utilisées précédemment pour contribuer aux fonctions de sécurité restent acceptables si elles sont conçues suivant l'état de l'art et en respectant les référentiels concernés.

Pour ce qui est du choix d'un moyen de protection adapté aux presses à servomoteur, tous ceux qui étaient préconisés pour les presses traditionnelles le sont également pour ces nouvelles presses. Une attention toute particulière doit être portée à la détermination du temps d'arrêt nécessaire au calcul de la distance de sécurité pour le positionnement de certains protecteurs et des dispositifs de protection.

Lorsqu'une inhibition pendant la phase de montée du coulisseau n'est pas indispensable, Il est conseillé d'étudier l'opportunité d'utiliser un protecteur interverrouillé, même si l'analyse des risques offre la possibilité d'utiliser d'autres moyens de protection. Avec un protecteur

interverrouillé, la maîtrise du temps d'arrêt du coulisseau n'étant pas nécessaire, les contraintes techniques pour la conception et la fabrication de la presse seront moins importantes (pas de système de freinage mais uniquement un système de retenue, limitation du nombre de fonctions de sécurité gérées par le PDS/SR,...).

Un point important concernant les arrêts sûr type 2 dont les conséquences ont été clairement identifiées, a été mis en évidence dans ce document. Il restera à définir lors des travaux de normalisation si ce principe est acceptable sur les presses et dans quelles limites un mouvement intempestif ne crée pas de risque.

Annexe A : Exemples de configurations de PDS/SR en fonction du niveau d'intégration des « modules » de sécurité dans le variateur de vitesse

Les principales fonctions (modules) de sécurité évoquées sont symbolisées par les abréviations issues de la norme CEI 61800-5-2 :

- STO : Safe Torque Off (Absence sûre de couple),
- SS1 : Safe Stop 1 (Arrêt sûr 1),
- SS2 : Safe Stop 2 (Arrêt sûr 2),
- SOS : Safe Operating Stop (Maintien à l'arrêt sûr),
- SBC : Safe Brake Control (Commande sûre de frein).

Les autres abréviations utilisées sont les suivantes :

- OSSD : Output Signal Switching Device : Dispositif de commutation du signal de sortie,
- Fm : Frein moteur, solidaire de l'arbre moteur,
- Fex : Frein extérieur, positionné généralement au niveau de la transmission entre le moteur et le coulisseau,
- Cm : Codeur moteur. Solidaire de l'arbre moteur, il indique la position, le sens de rotation ou la vitesse du moteur,
- Cex : Codeur extérieur (rotatif ou linéaire) qui indique la position, le sens de déplacement ou la vitesse du coulisseau.

Le premier exemple, Figure 35, présente la réalisation d'un PDS/SR avec un **variateur de vitesse standard** (ne disposant d'aucune fonction de sécurité) et un système de contrôle-commande assurant la gestion des fonctions de sécurité liées à l'élément mobile de travail à charge entraînée.

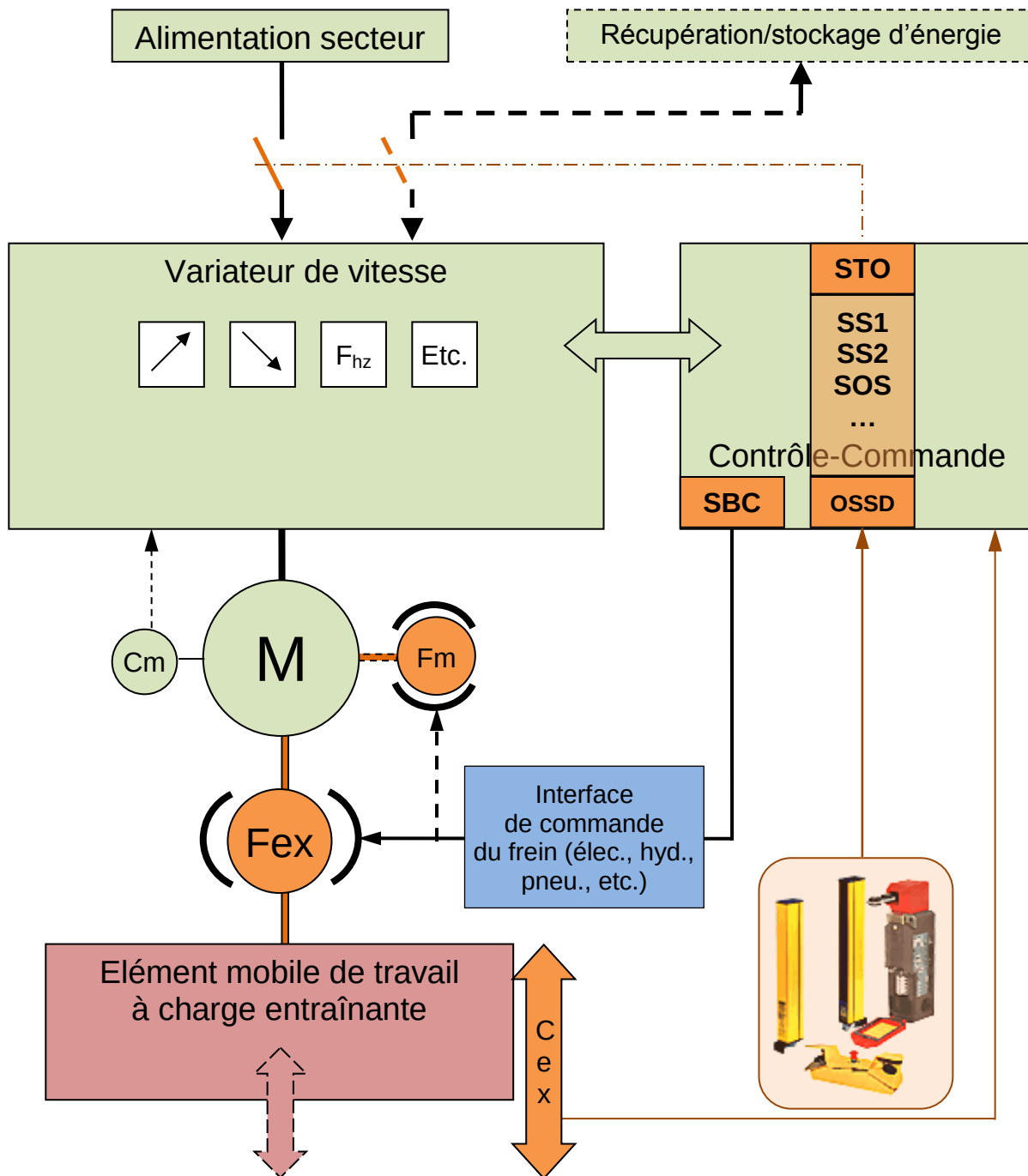


Figure 35 : Intégration d'un PDS/SR dans le circuit de commande d'une presse à servomoteur -
Exemple 1 : Variateur standard

Le deuxième exemple, Figure 36, présente la réalisation d'un PDS/SR avec un **variateur de vitesse** disposant uniquement de la fonction de sécurité **STO** et d'un système de contrôle-commande assurant la gestion des fonctions de sécurité liées à l'élément mobile de travail à charge entraînée.

Note : La fonction STO lorsqu'elle est intégrée au variateur, évite d'avoir recours à un organe de coupure en sécurité extérieure (ex : contacteur).
Des échanges d'informations de sécurité sont nécessaires entre la partie contrôle-commande et le variateur ou sa carte de sécurité.

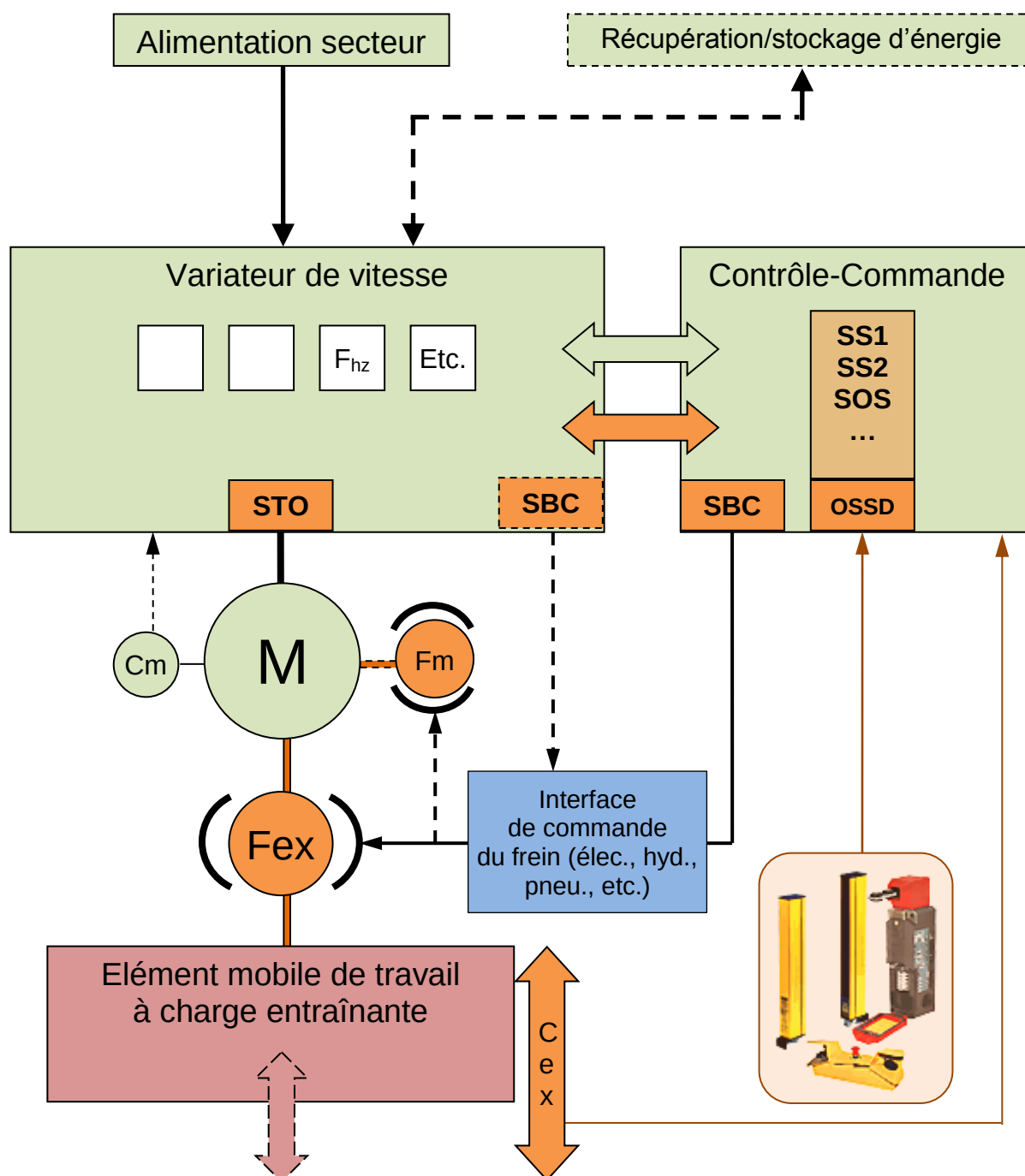


Figure 36 : Intégration d'un PDS/SR dans le circuit de commande d'une presse à servomoteur -
Exemple 2 : Variateur avec fonction STO uniquement

Le troisième exemple, Figure 37, présente la réalisation d'un PDS/SR avec un variateur de vitesse disposant d'un ensemble de fonctions de sécurité (SS1, SS2, SOS,...) dont la fonction de sécurité **STO**.

Note : Des échanges d'informations de sécurité sont nécessaires entre la partie contrôle-commande et le variateur ou sa carte de sécurité.

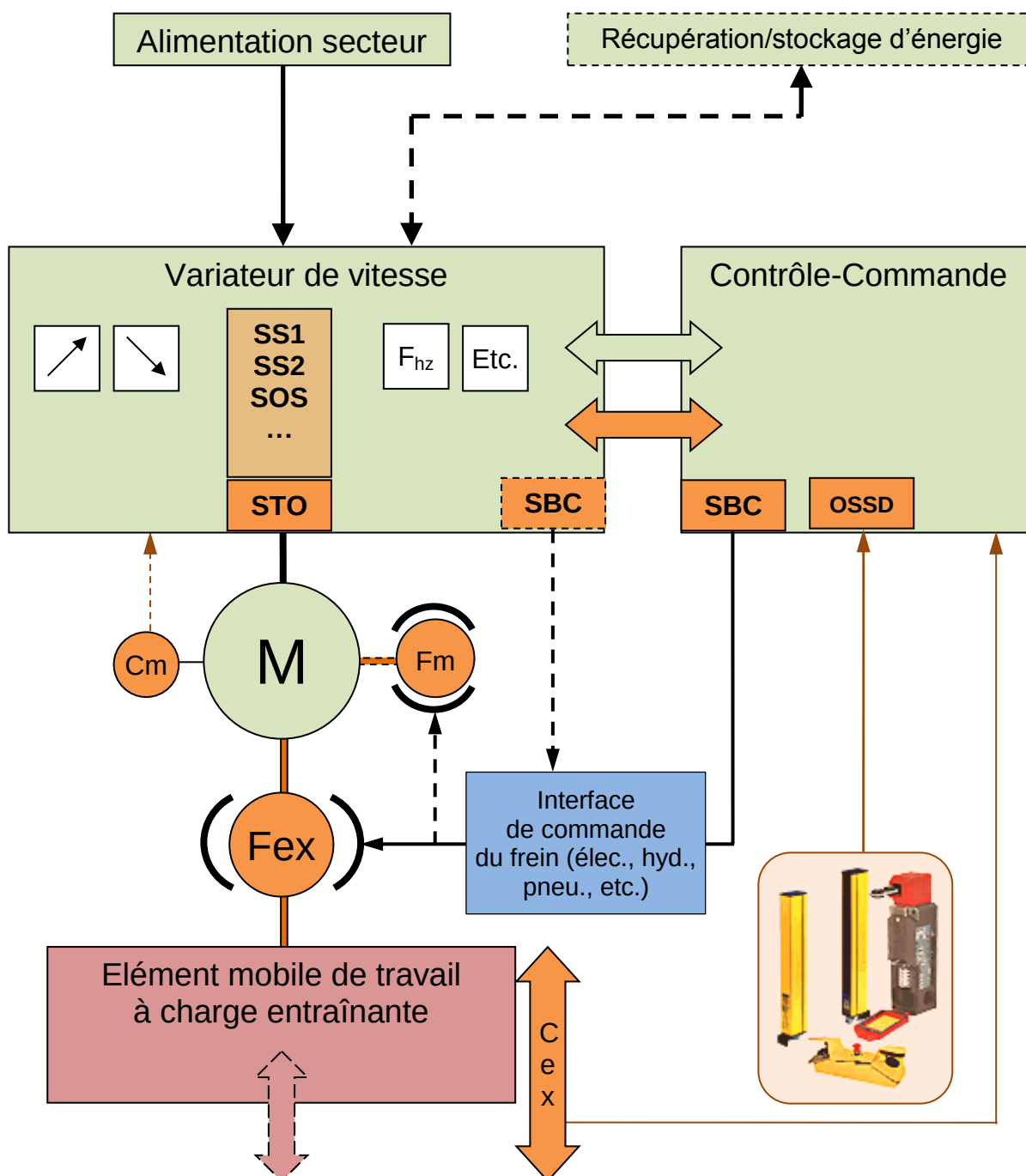


Figure 37 : Intégration d'un PDS/SR dans le circuit de commande d'une presse à servomoteur -
Exemple 3 : Variateur assurant toutes les fonctions de sécurité du PDS/SR

Annexe B : Exemples de spécifications d'exigences fonctionnelles de fonctions de sécurité

Cette annexe présente des exemples de **spécifications d'exigences fonctionnelles** pour des fonctions de sécurité d'une **presse mécanique à excentrique à servomoteur**. Dans le cas présent, il s'agit d'une presse prévue pour des opérations de chargement et/ou déchargement manuel de la zone de travail. Ces fonctions de sécurité font suite à l'analyse des risques et à la mise en place de moyens de protection, faisant intervenir le circuit de commande de la machine, pour couvrir les risques liés aux mouvements du coulisseau (principal élément mobile de travail). Ces spécifications sont utilisées afin d'analyser le comportement en présence de défaillances des différents éléments constitutifs de la chaîne de transmission depuis le servomoteur jusqu'au coulisseau.

La détermination des exigences d'intégrité de sécurité des fonctions (niveau de performance requis) n'est pas abordée dans cette annexe. Ces données sont disponibles au niveau de la norme actuelle de conception des presses mécaniques (NF EN 692) et figurent dans les projets de normes ISO relatives à la conception des presses, dont les presses à servomoteur.

Les fonctions de sécurité suivantes, qui sont représentatives de ce que l'on peut trouver sur une presse, ont été prises en exemple :

1. **Arrêt par dispositif de protection** - Cette fonction permet d'assurer la mise à l'arrêt et le maintien à l'arrêt du coulisseau en production lorsque le dispositif de protection (ex : barrière immatérielle) est déclenché.
2. **Inhibition** - Cette fonction permet d'inhiber le moyen de protection en place pour les phases où le mouvement du coulisseau ne présente pas de danger pour l'opérateur.
3. **Anti-redoublement** - Cette fonction est nécessaire sur les presses à excentrique, lorsqu'une fonction d'inhibition est utilisée, afin d'empêcher un redoublement de cycle alors que l'opérateur se trouve dans la zone dangereuse.

Tableau 2 : Spécifications de la fonction « arrêt par dispositif de protection » dans le cadre de la mise en œuvre d'un « arrêt de protection » par un dispositif de protection sous forme de barrière immatérielle

Spécification des exigences fonctionnelles de la fonction de sécurité	
FS1	Nom de la fonction Arrêt par dispositif de protection
Niveau de performance requis (suite à l'estimation des risques)	Non abordé dans cette annexe.
Conditions d'activation de la fonction	Cette fonction est active en coup par coup.
Interfaces de la fonction	<u>Déclencheur de la fonction</u> : - moyen de protection : dispositif de protection (barrière immatérielle). <u>Sortie de la fonction</u> : - élément mobile potentiellement dangereux : coulisseau.
Description de la fonction	Un « arrêt de protection » doit : - empêcher que les mouvements du coulisseau s'accomplissent tant que la barrière immatérielle est occultée, - arrêter les mouvements du coulisseau « couverts » par la barrière immatérielle lors de son occultation. Quand la barrière immatérielle est désoccultée, les mouvements du coulisseau « couverts » par le dispositif de protection peuvent s'accomplir (la désoccultation de la barrière immatérielle ne déclenche pas par elle-même les mouvements dangereux du coulisseau). Lorsque certains mouvements du coulisseau ne sont pas dangereux, une fonction « inhibition » de la fonction « arrêt par dispositif de protection » peut être mise en œuvre. Note : les éventuelles conditions de réarmement du moyen de protection ne sont pas traitées.
Autres fonctions simultanées	Fonction d'inhibition (FS2).
Temps de réaction maximal de la fonction	Le temps de réaction maximal doit être pris en compte pour le positionnement du moyen de protection par rapport à la zone dangereuse (voir § 10.11.2.1).
Réaction aux fautes	En cas de défaillance (d'un composant ou de l'alimentation en énergie), la fonction doit rester assurée, le cas échéant durant la détection de la défaillance. La réaction à la défaillance doit continuer à maintenir la fonction jusqu'à suppression de cette défaillance ou conduire à une position de repli correspondant à un « arrêt sûr type 0 ». Le temps d'arrêt du coulisseau en présence de défaillance ne doit pas excéder le temps pris en référence pour le positionnement du moyen de protection.

Tableau 3 : Spécifications de la fonction « inhibition » dans le cadre de la mise en œuvre d'un « arrêt de protection » par un dispositif de protection

Spécification des exigences fonctionnelles de la fonction de sécurité	
FS2	Nom de la fonction Inhibition
Niveau de performance requis (suite à l'estimation des risques)	Non abordé dans cette annexe.
Conditions d'activation de la fonction	Cette fonction est active en coup par coup.
Interfaces de la fonction	<u>Déclencheur de la fonction</u> : - moyens d'inhibition : sens de déplacement du coulisseau et position/course du coulisseau déterminée par le process. <u>Sortie de la fonction</u> : - fonction à inhiber : FS1.
Description de la fonction	Lorsque la fonction inhibition est en service, la fonction « arrêt par dispositif de protection » est suspendue. L'inhibition de cette fonction peut s'accomplir lorsque le coulisseau : - descend (fermeture des outils) et que la course restante ne présente plus de danger, - monte (ouverture des outils), - est à l'arrêt automatique au point haut programmé. L'inhibition doit cesser au plus tard avant le mouvement de descente du coulisseau. Lorsque la fonction d'inhibition est active sur une presse mécanique à excentrique, une fonction « anti-redoublement » doit être mise en œuvre.
Autres fonctions simultanées	Fonction « anti-redoublement » (FS3).
Temps de réaction maximal de la fonction	S.O.
Réaction aux fautes	En cas de défaillance (d'un composant ou de l'alimentation en énergie), la fonction doit rester assurée, le cas échéant durant la détection de la défaillance. La réaction à la défaillance doit continuer à maintenir la fonction jusqu'à suppression de cette défaillance ou conduire à une position de repli correspondant à un « arrêt sûr type 0 ». L'éventuelle course de descente intempestive du coulisseau ne doit pas générer de danger pour l'opérateur conformément à l'analyse des risques propres à cette machine.

Tableau 4 : Spécifications de la fonction « anti-redoublement » dans le cadre de la mise en œuvre d'une fonction « inhibition »

Spécification des exigences fonctionnelles de la fonction de sécurité	
FS3	Nom de la fonction Anti-redoublement
Niveau de performance requis (suite à l'estimation des risques)	Non abordé dans cette annexe.
Conditions d'activation de la fonction	Cette fonction est active en mode de fonctionnement coup par coup, lorsque l'inhibition de la fonction « arrêt par dispositif de protection » est active.
Interfaces de la fonction	<u>Déclencheur de la fonction</u> : - information de commande pour obtenir un arrêt automatique au point haut programmé du coulisseau. <u>Sortie de la fonction</u> : - élément mobile : coulisseau.
Description de la fonction	Lorsque la fonction « anti-redoublement » est en service, le système de commande doit commander un arrêt automatique de la montée du coulisseau de sorte qu'il soit arrêté et maintenu à l'arrêt à la position programmée, en commandant un « arrêt sûr type 0, 1 ou 2 ». La position d'arrêt programmée ne doit pas dépasser le point mort haut (PMH).
Autres fonctions simultanées	Inhibition (FS2).
Temps de réaction maximal de la fonction	S.O.
Réaction aux fautes	En cas de défaillance (d'un composant ou de l'alimentation en énergie), la fonction doit rester assurée, le cas échéant durant la détection de la défaillance. La réaction à la défaillance doit continuer à maintenir la fonction jusqu'à suppression de cette défaillance ou conduire à une position de repli correspondant à un « arrêt sûr type 0 ». L'éventuelle surcourse de descente du coulisseau ne doit pas générer de danger pour l'opérateur conformément à l'analyse des risques propre à cette machine.

Annexe C : Exemple de détermination du temps de réponse global d'une fonction d'arrêt de protection sur une presse mécanique à servomoteur

1. Préambule

La fonction d'arrêt de protection traitée dans cet exemple met en œuvre un **arrêt sûr type 1**. Cette fonction est initiée suite à la sollicitation d'un dispositif de protection (ex : franchissement d'une barrière immatérielle) en vue d'arrêter le coulisseau d'une presse mécanique.

Les deux choix de mise en œuvre d'un arrêt sûr type 1 au niveau du PDS/SR sont abordés : SS1 b) et SS1 c).

La chaîne matérielle participant à la fonction propose deux exemples de configurations, l'une mettant en œuvre des liaisons câblées entre les différents composants électriques et l'autre mettant en œuvre un réseau de terrain dédié à la sécurité (RTdS).

2. Chaîne matérielle de commande d'un arrêt sûr type 1 (§ 10.4)

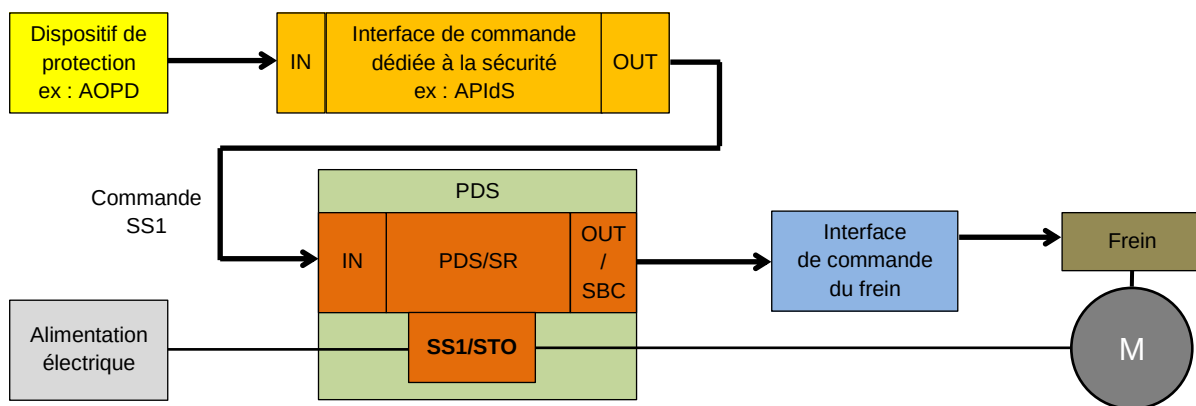


Figure 38 : Chaîne matérielle avec servomoteur et commande du frein par le PDS/SR avec liaisons électriques câblées

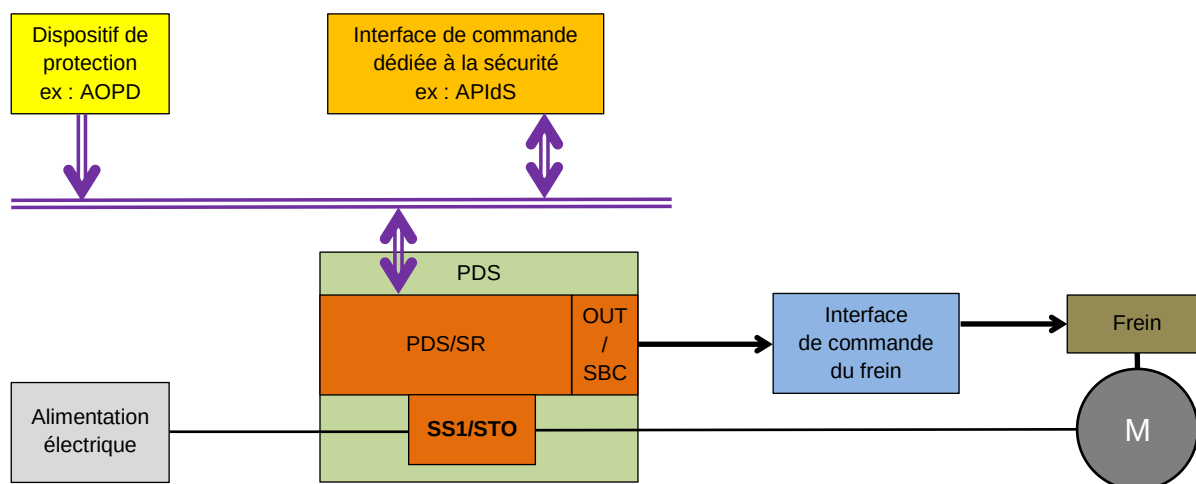


Figure 39 : Chaîne matérielle avec servomoteur et commande du frein par le PDS/SR dont certaines liaisons électriques sont assurées par un RTdS

Analyse :

En fonctionnement normal, le frein est nécessairement commandé par le PDS/SR puisqu'il intervient après la phase de décélération du moteur (SS1).

En cas de défaillance ou en cas d'absence d'alimentation de l'APIdS, la sortie OUT de l'APIdS retombe et commande un SS1. Il n'y a pas d'allongement du temps d'arrêt par rapport à une commande normale de la fonction.

En cas de défaillance ou en cas d'absence d'alimentation du variateur, la fonction de repli du PDS/SR assure une absence de couple du moteur (STO) et fait retomber les sorties (OUT ou SBC) de commande du frein.

3. Analyse du temps de réponse de la chaîne d'arrêt

Pour certains éléments constituant la chaîne d'arrêt, on peut déterminer, ou trouver auprès des fabricants, des temps de réponse en fonctionnement normal ou en présence de défaillance. **Lors de la prise en compte des différents éléments constitutifs de la chaîne d'arrêt, on ne doit considérer qu'une seule défaillance à la fois. Il est donc nécessaire d'appliquer, dans le calcul, la défaillance de l'élément le plus pénalisant.**

Note : Dans le cas d'utilisation de composants ou de partie de fonction (ex : SS1) dont le temps de réponse augmente en cas de défaillance. Il faut calculer le temps d'arrêt global avec la défaillance du composant ou de la partie de fonction dont le différentiel entre le temps hors défaillance et celui avec défaillance est le plus important.

3.1. Dispositif de protection

T_p : Temps de réponse du dispositif de protection

Généralement, sur ces composants, une seule valeur de temps de réponse maximale est donnée par le fabricant du dispositif de protection (ex : barrière immatérielle).

Note : Lorsque le dispositif de protection est composé d'un dispositif de détection et d'un module de sécurité associé, ce temps comprend le temps de réponse du dispositif de détection + le temps de réponse de l'unité de traitement (module).

Exemple de temps de réponse d'une barrière immatérielle

Exemple T_p	Temps hors défaillance	Temps en présence de défaillance	Différentiel
Barrière immatérielle	15 ms	15 ms	0
Module associé	Sans	/	/

3.2. Liaison entre les composants de la chaîne d'arrêt

T_c : Temps de communication

Lorsqu'une liaison est réalisée de manière filaire, ce temps est nul.

Lorsque certaines liaisons (ex : Liaison entre le dispositif de protection et l'interface de commande électrique dédiée à la sécurité) sont réalisées par un RTdS, le temps de réponse est déterminé d'après les données du fabricant.

Le temps de réponse en cas de défaillance doit tenir compte du temps maximal de détection en cas d'absence ou de perte de communication (Time OUT).

Exemple de temps de communication

Exemple T_C	Temps hors défaillance	Temps en présence de défaillance	Différentiel
Liaison filaire	0	0	0

3.3. Interface de commande électrique dédiée à la sécurité

T_T : Temps de réponse de l'interface électrique

En fonction du type de matériel mis en œuvre, ce temps peut être divisé en trois parties :

- T_{TI} : Temps d'acquisition des signaux d'entrée (Input),
- T_{TL} : Temps de traitement de la logique de commande,
- T_{TO} : Temps de restitution des signaux de sortie (Output).

Le temps d'acquisition des signaux d'entrée doit tenir compte du temps de réponse du matériel (données fabricant) et des éventuels temps de filtrage des entrées paramétrées par le concepteur.

Le temps de traitement de la logique de commande est basé sur le temps de cycle de l'unité centrale du dispositif. La méthode de calcul est déterminée par le fabricant. Plusieurs valeurs peuvent être proposées, précisant le temps de réponse avec ou sans défaillance interne du système.

Le temps de restitution des signaux de sortie doit tenir compte du temps de réponse du matériel (données fabricant).

Exemple d'interface électrique constituée d'un automate programmable industriel dédié à la sécurité (APIdS)

Exemple T_T	Temps hors défaillance	Temps en présence de défaillance	Différentiel
Carte d'entrée APIdS T_{TI}	2 ms	2 ms	0
Temps de cycle APIdS T_{TL}	1 ms	4 ms	3 ms
Carte de sortie APIdS T_{TO}	0	0	0

3.4. Système d'entraînement de puissance dédié sécurité PDS/SR

T_V : Temps de réponse du variateur pour la commande de ses sorties (STO, SS1, OUT/SBC)

En fonction du type de matériel mis en œuvre, ce temps peut être divisé en trois parties :

- T_{VI} : Temps d'acquisition des signaux d'entrée,
- T_{VL} : Temps de traitement de la logique de commande (hors fonctions ex : SS1),
- T_{VO} : Temps de restitution des signaux de sortie.

Le temps d'acquisition des signaux d'entrée doit tenir compte du temps de réponse du matériel (données fabricant) et des éventuels temps de filtrage des entrées paramétrées par le concepteur.

Le temps de traitement de la logique de commande est basé sur le temps de cycle de l'unité centrale du dispositif. La méthode de calcul est déterminée par le fabricant. Plusieurs valeurs peuvent être proposées, précisant le temps de réponse avec ou sans défaillance interne du système (ex : "valeur typique" ou "cas le plus défavorable"). De même, les valeurs proposées peuvent varier suivant les fonctions de sécurité mises en œuvre.

Le temps de restitution des signaux de sortie doit tenir compte du temps de réponse du matériel (données fabricant).

Note : Dans notre exemple, le temps de réponse T_V ne tient pas compte des paramètres spécifiques liés aux fonctions de régulation mises en œuvre par le PDS/SR (ex : SS1,...) qui sont traités indépendamment.

Exemple de temps de réponse de la partie sécurité du variateur

Exemple T_V	Temps hors défaillance	Temps en présence de défaillance	Différentiel
Carte d'entrée variateur T_{VI}	2 ms	2 ms	0
Temps de cycle variateur T_{VL}	8 ms	16 ms	8 ms
Carte de sortie variateur T_{VO}	0	0	0

3.5. Temps d'arrêt sûr type 1

Ce temps est compris entre l'initiation de la fonction SS1 au niveau du PDS/SR (début de la décélération) et l'obtention de l'arrêt complet du coulisseau après application du frein.

Ce temps peut être décomposé en quatre phases :

- le temps de réalisation de la fonction SS1,
- le temps de réponse de l'interface du frein (le cas échéant),
- le temps de réponse du frein (hors glissement),
- le temps de glissement (freinage mécanique).

Le temps d'arrêt sûr type 1 doit être considéré globalement sur ces quatre aspects aussi bien en fonctionnement normal qu'en présence de défaillance puisque dans le cas présent, le frein qui est peu utilisé en fonctionnement normal participe pleinement à l'arrêt en cas de défaillance au niveau de la fonction SS1.

3.5.1. Fonction SS1

T_{SS1} : Temps de réalisation de la fonction SS1

Temps compris entre l'initiation de la fonction SS1 au niveau du PDS/SR (début de la décélération) et la commande d'absence de couple STO qui intervient :

- en fonctionnement normal :
 - o lorsque le moteur d'entraînement atteint la « vitesse nulle » paramétrée si SS1 b) (Figure 40),
 - o ou à la fin de la temporisation paramétrée si SS1 c) (Figure 42).
- en cas de défaillance au niveau de la régulation :
 - o lorsque le système détecte la défaillance via la rampe de surveillance paramétrée si SS1 b) (Figure 41),
 - o ou à la fin de la temporisation paramétrée si SS1 c) (Figure 43).

Si le contrôle de la fonction est effectué par une temporisation (SS1 c), le temps de réponse à prendre en compte pour T_{SS1} est celui de la temporisation paramétrée. Il est identique en fonctionnement normal et en présence de défaillance.

Si le contrôle de la fonction est effectué par une surveillance de rampe (SS1 b) :

- en fonctionnement normal, le temps de réponse sera fonction de la rampe de décélération, de la valeur maximale de vitesse et de la valeur de vitesse nulle, paramétrées pour l'application.
- en cas de défaillance au niveau de la régulation, le temps de réponse sera lié au temps de détection de cette défaillance. Il devra être déterminé en considérant les hypothèses suivantes :
 - o la défaillance survient dès l'initiation de la fonction SS1,
 - o la vitesse du servomoteur est égale à la vitesse maximale,

- la défaillance consiste en une accélération suivant la rampe maximale admissible,
- le cas échéant, la temporisation avant contrôle, paramétrée pour l'application doit être également prise en compte.

3.5.2. Pré-actionneur (le cas échéant)

T_E : Temps de réponse de l'interface de commande du frein

Temps compris entre la commande et la commutation du pré-actionneur.

Si l'interface est assurée par des composants électromécaniques (ex : relais) le temps de réponse à prendre en compte est le temps maximal de commutation du composant (ouverture des contacts) fourni par le fabricant. L'architecture mise en œuvre ne doit pas provoquer d'allongement du temps de réponse en cas de défaillance.

3.5.3. Actionneur (frein)

T_A : Temps de réponse de l'actionneur

Temps compris entre la commutation du pré-actionneur et la mise en contact des disques de freinage.

S'agissant d'un composant correctement dimensionné (nombre et capacité des ressorts), il ne devrait pas y avoir d'allongement du temps de réponse en cas de défaillance interne du frein.

3.5.4. Freinage mécanique

T_G : Temps de glissement

Analyse :

En fonctionnement normal, le frein n'aura qu'un rôle secondaire pour la phase de décélération (arrêt final du mouvement après la phase de décélération assurée par SS1) et un rôle de maintien à l'arrêt qui n'influe pas sur le temps d'arrêt. Le temps de glissement sera très faible (Figure 40, Figure 42) puisque le frein intervient uniquement lorsque le mouvement est arrêté ou quasiment arrêté.

En cas de défaillance de la fonction SS1 pendant la phase de décélération, c'est le frein seul qui assurera l'arrêt du mouvement de l'élément mobile (Figure 41, Figure 43).

Le temps de glissement de l'élément mobile est fonction de son inertie qui dépend de la vitesse de l'élément mobile au moment de la commande de freinage, de sa masse et d'éléments extérieurs liés à la conception et à la cinématique du système d'entraînement (ex : frottement, masse entraînée, dispositif d'équilibrage,...).

Sa valeur doit être déterminée par mesurage dans les conditions les plus défavorables (masse et vitesse maximales, cinématique particulière). Si un dispositif d'équilibrage est présent et que son fonctionnement ne peut pas être garanti (ex : contrôle pression pneumatique), la mesure doit être effectuée sans le dispositif d'équilibrage.

Note : Le freinage est considéré avec un couple nul sur le moteur d'entraînement de l'élément mobile.

En cas de défaillance, le temps de glissement est équivalent à celui obtenu lors d'un arrêt sûr type 0 qui peut être consécutif à une commande d'arrêt ou à une position de repli du PDS/SR.

Exemple de temps de réalisation d'un arrêt sûr type 1 avec mise en œuvre d'une fonction SS1 b)

Exemple T_{AT1}	Temps hors défaillance	Temps en présence de défaillance	Différentiel
Fonction SS1 b) T_{SS1}	60 ms	20 ms	/
Préactionneur T_E	12 ms	12 ms	/
Actionneur T_A	14 ms	14 ms	/
Freinage mécanique T_G	10 ms	70 ms	/
Temps global T_{AT1}	96 ms	116 ms	20 ms

3.6. Détermination du temps de réponse de la chaîne d'arrêt : T_R

T_R : Temps de réponse de la chaîne d'arrêt

$$T_R = T_P + T_C + T_T + T_V + T_{AT1}$$

Exemple de détermination du temps de réponse global de la chaîne d'arrêt

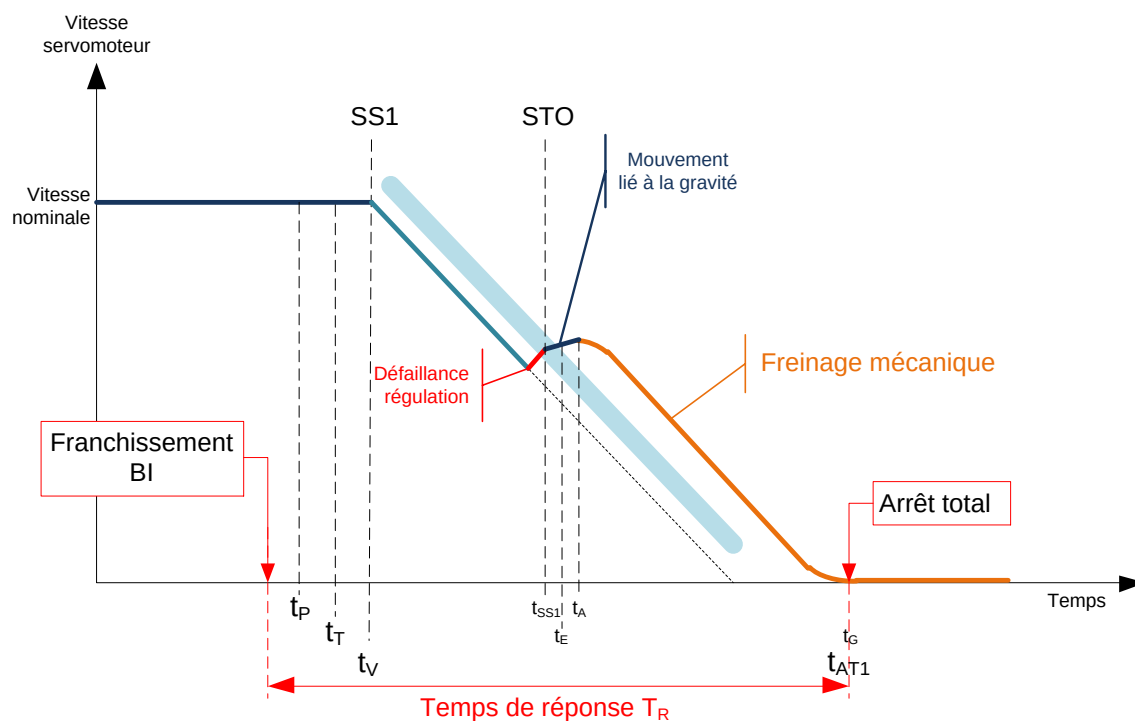
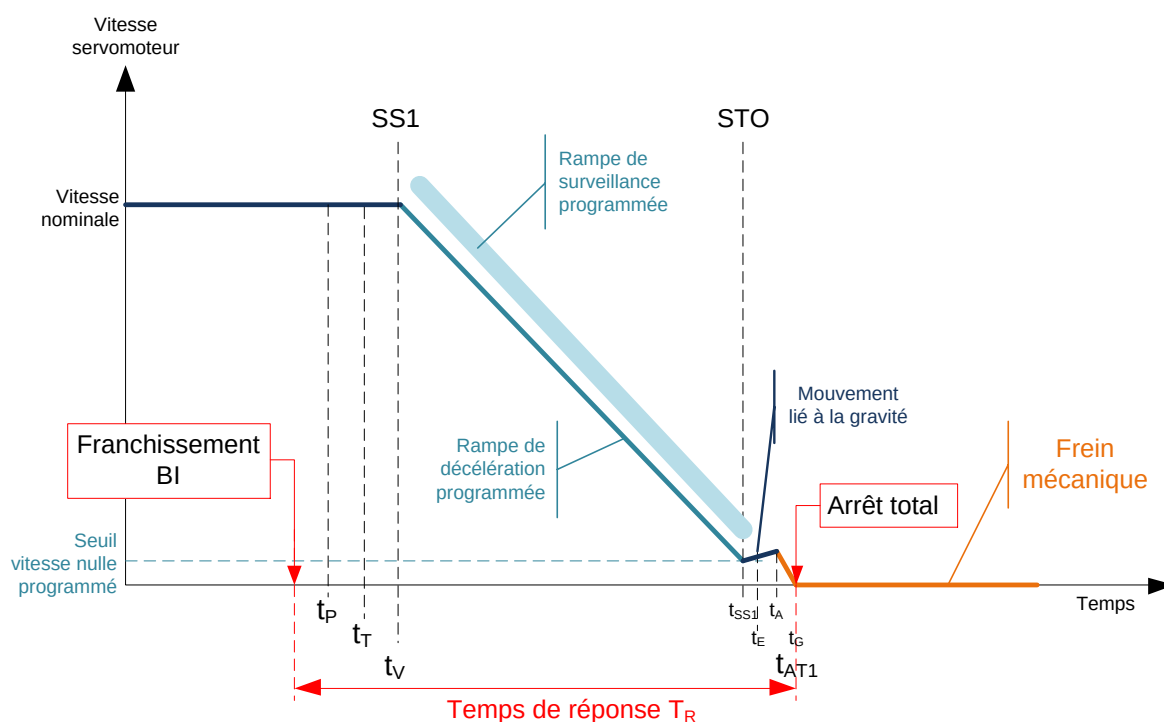
Exemple	Temps hors défaillance	Différentiel maximal	T_R
T_P	15 ms	0	/
T_C	0 ms	0	/
T_T	3 ms	3 ms	/
T_V	10 ms	8 ms	/
T_{AT1}	96 ms	20 ms	/
Temps global	124 ms	20 ms	144 ms

Dans cet exemple, le temps de réponse de 144 ms sera utilisé pour le calcul de la distance de sécurité nécessaire au positionnement de la barrière immatérielle. Il servira également de référence lors du contrôle dynamique du frein (§ 10.11.1.2) ou du contrôle des performances d'arrêt (§ 10.11.2.4).

3.6.1. Schématisation des différentes configurations

Note : Les chronogrammes suivants ont pour but d'illustrer la détermination du temps de réponse T_R sans respect des proportions du temps propre à chaque partie de la fonction de sécurité.

3.6.1.1. Arrêt de protection avec mise en œuvre d'une fonction SS1 b)



3.6.1.2. Arrêt de protection avec mise en œuvre d'une fonction SS1 c)

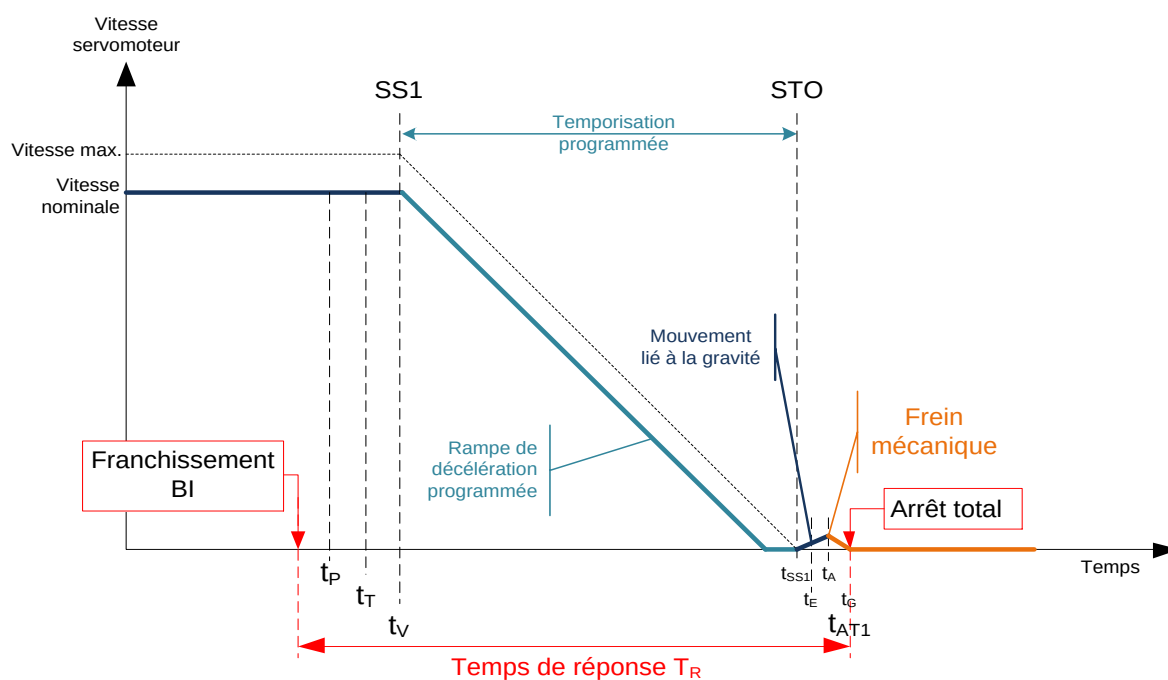


Figure 42 : Chronogramme d'un arrêt de protection avec mise en œuvre d'une fonction SS1, c) : Fonctionnement normal

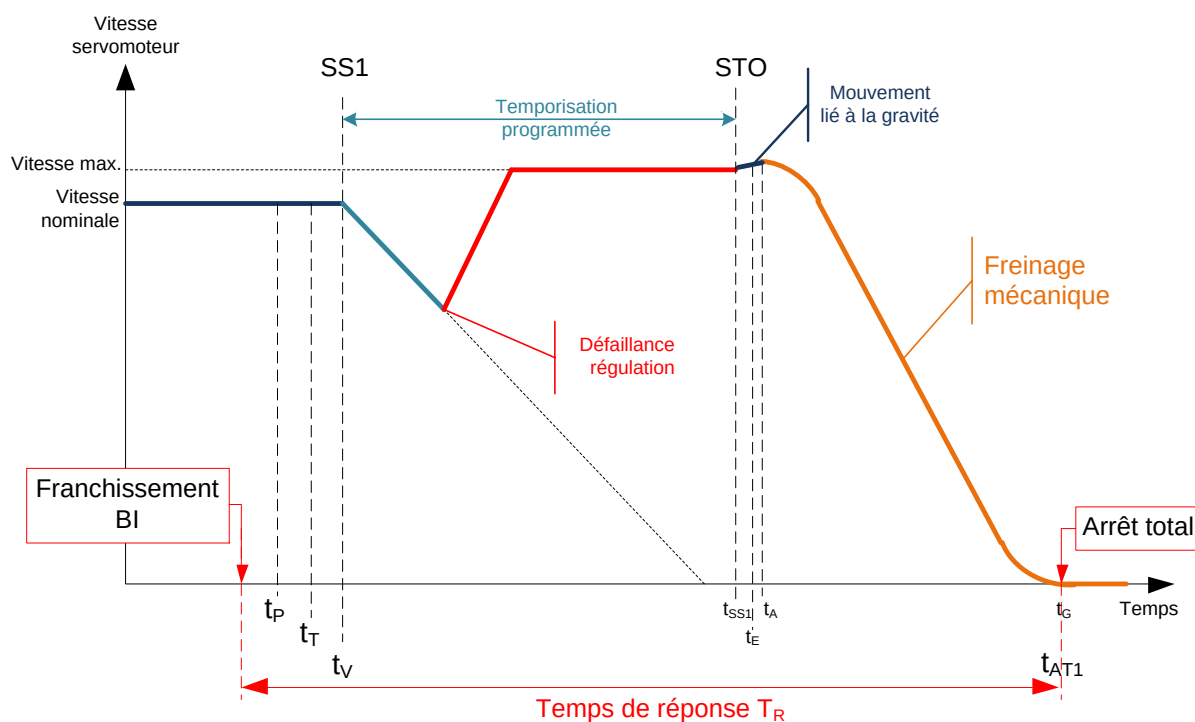


Figure 43 : Chronogramme d'un arrêt de protection avec mise en œuvre d'une fonction SS1, c) : Réaction en présence d'une défaillance de régulation du PDS/SR

Annexe D : Fonctions d'arrêts de la norme CEI 61800-5-2

Les définitions des fonctions d'arrêt de la norme CEI 61800-5-2, traduites par l'INRS, sont les suivantes :

Extrait 5 : Traduction du § 4.2.2.2 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction STO

4.2.2.2 Absence sûre de couple (STO)

L'alimentation de puissance, qui peut provoquer la rotation (ou le mouvement dans le cas d'un moteur linéaire), n'est pas appliquée au moteur. Le PDS (SR) ne fournit pas d'énergie au moteur qui pourrait générer un couple (ou de la force dans le cas d'un moteur linéaire).

Note 1 : Cette fonction de sécurité correspond à un arrêt non contrôlé conformément à la catégorie d'arrêt 0 de la CEI 60204-1.

Note 2 : Cette fonction de sécurité peut être utilisée lorsque la coupure d'alimentation est nécessaire pour éviter une mise en marche intempestive.

Note 3 : Dans les cas où des influences extérieures (par exemple, la chute de charges suspendues) sont présentes, des mesures supplémentaires (par exemple, des freins mécaniques) peuvent être nécessaires pour prévenir tout danger.

Note 4 : Les moyens de coupure électroniques et les contacteurs ne sont pas adaptés pour la protection contre les chocs électriques, et des mesures supplémentaires d'isolement peuvent être nécessaires.

Extrait 6 : Traduction du § 4.2.2.3 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SS1

4.2.2.3 Arrêt sûr 1 (SS1)

Le PDS(SR) soit :

- a) initie et commande la rampe de décélération du moteur dans les limites fixées pour arrêter le moteur et déclenche la fonction STO (voir 4.2.2.2) lorsque la vitesse du moteur est inférieure à un seuil donné, ou*
- b) initie et surveille la rampe de décélération du moteur dans les limites fixées pour arrêter le moteur et déclenche la fonction STO lorsque la vitesse du moteur est inférieure à un seuil donné, ou*
- c) initie la décélération du moteur et déclenche la fonction STO après une temporisation spécifique à l'application.*

Note : Cette fonction de sécurité correspond à un arrêt contrôlé conformément à la catégorie d'arrêt 1 de la CEI 60204-1.

Extrait 7 : Traduction du § 4.2.2.4 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SS2

4.2.2.4 Arrêt sûr 2 (SS2)

Le PDS(SR) soit :

- a) *initie et commande la rampe de décélération du moteur dans les limites fixées pour arrêter le moteur et déclenche la fonction de maintien à l'arrêt sûr (voir 4.2.3.1) lorsque la vitesse du moteur est inférieure à un seuil donné ; ou*
- b) *initie et surveille la rampe de décélération du moteur dans les limites fixées pour arrêter le moteur et déclenche la fonction de maintien à l'arrêt sûr lorsque la vitesse du moteur est inférieure à un seuil donné ; ou*
- c) *déclenche la décélération du moteur et déclenche la fonction de maintien à l'arrêt sûr après une temporisation spécifique à l'application.*

Note : Cette fonction de sécurité correspond à un arrêt contrôlé conformément à la catégorie d'arrêt 2 de la CEI 60204-1.

Extrait 8 : Traduction du § 4.2.3.1 de la norme CEI 61800-5-2, définissant la fonction SOS

4.2.3.1 Maintien à l'arrêt sûr (SOS)

La fonction SOS empêche le moteur de s'écarter de plus d'une quantité définie de la position d'arrêt. Le PDS(SR) fournit de l'énergie au moteur pour lui permettre de résister à des forces externes.

Note : Cette description d'une fonction de maintien à l'arrêt sûr est basée sur la mise en œuvre d'un PDS(SR) sans freins externes (par exemple mécanique).