Document de support de la présentation :

**Étude de cas:
Conversion en aluminium d’un système de blocage de roue pour camion poids lourd**

Contenu développé par :

Mehdi Khlifate, ing.

# Diapositive 1

Le système de blocage de roue est une solution de sécurité développée par la société GMR Safety pour les quais de chargement qui empêche les accidents causés par le déplacement intempestif des véhicules pendant les opérations de chargement et de déchargement. Elle consiste en une cale de roue et une plaque de retenue qui bloquent la roue et immobilisent le véhicule au quai de chargement. Le système est conçu pour résister à une force frontale de 50 000 livres grâce à son acier haute résistance et à ses nombreux points de contact. La solution comprend également un boîtier de contrôle qui assure une communication simple et efficace avec la porte et le niveleur du quai de chargement, ainsi qu'un contrôle programmable sur mesure avec vérification automatique des composantes électriques. La solution vise à réduire les risques d'accidents pour les opérateurs de quai et les chariots élévateurs, ainsi qu’à protéger la vie des travailleurs et le bon état de la marchandise dans les entrepôts.

# Diapositive 3

Le projet de conversion en aluminium d'un système de blocage de roue pour camion poids lourd vise à améliorer les performances de cet équipement en réduisant son poids et en augmentant sa durée de vie. L'aluminium est le matériau idéal pour atteindre ces objectifs, grâce à sa légèreté, sa résistance à la corrosion et son caractère 100% recyclable.

Avant de débuter ce projet, il est essentiel de définir un cahier des charges précis comprenant les critères et les contraintes à respecter. Ce cahier des charges doit inclure des informations sur les performances attendues du système, les coûts et les délais de livraison, ainsi que les conditions d'utilisation et d'entretien prévues.

Une fois le cahier des charges établi, il convient de décrire la solution actuelle du système de blocage de roue en acier. Cette description doit inclure les détails techniques et les différents éléments qui le composent. Ensuite, on expliquera la solution proposée en aluminium en précisant les modifications apportées par rapport à la solution en acier.

Pour des raisons de confidentialité, certaines données sensibles ne seront pas publiées, telles que les dessins d'assemblage, la quincaillerie et toute donnée relative aux prix d'achat et aux fournisseurs. Cependant, nous partagerons l'étude par éléments finis.

# Diapositive 4

Le système mis en place dans les entrepôts vise à assurer la sécurité des opérations de chargement et de déchargement en bloquant les roues des camions pendant ces manœuvres. Ce dispositif permet d'éviter tout risque d'accident si le véhicule se déplace de manière impromptue pendant l'utilisation d'un chariot élévateur. Il est constitué de trois éléments clés : la cale de blocage, placée entre les deux roues (visible sur la photo du centre), le bras servant à la manipulation (manipulé par un utilisateur, comme le montre la photo de droite) et la plaque de blocage de la cale, fixée au sol.

# Diapositive 5

Il a été déterminé que le poids de la cale en acier, qui s'élève à 60 livres, constitue un facteur de diminution de l'efficacité du mécanisme de retour de la cale au mur de l'entrepôt, qui est actionné par un ressort. Dans le but d'améliorer cette efficacité, il a été proposé de convertir toutes ou la majorité des pièces en aluminium, matériau connu pour sa légèreté. Cette conversion permettrait de réduire le poids global de l'ensemble et, par conséquent, d'accroître l'efficacité du mécanisme de retour de la cale.

# Diapositive 6

Le choix de l'utilisation de l'aluminium comme matériau pour les bras d'un système mécanique peut être justifié par plusieurs raisons. Tout d'abord, l'aluminium offre une grande résistance mécanique tout en étant léger, ce qui en fait un choix avantageux pour la manipulation et le transport. De plus, l'aluminium est un matériau 100% recyclable, ce qui en fait un choix écologique pour toute application où la durabilité est un facteur important.

En outre, l'utilisation de l'aluminium permet d'éviter les contraintes liées au traitement de galvanisation, telles que les coûts de transport entre les usines de galvanisation et les pertes de temps associées. En utilisant l'aluminium, il est possible de réduire les coûts liés à ces processus, tout en offrant une performance mécanique supérieure.

En résumé, l'utilisation de l'aluminium pour les bras d'un système mécanique peut être justifiée par sa résistance mécanique, sa légèreté, sa durabilité environnementale et sa facilité de manipulation et de transport.

# Diapositive 7

La solution actuelle de l'appareil consiste en un pivot fixé au mur par l'intermédiaire d'un support mural, permettant une rotation de 90 degrés. Un levier pivot est utilisé pour relier le ressort au levier ressort et au tendeur à pré-tension du ressort. Un joint supérieur permet d’assembler l'arrière-bras avec l'avant-bras, permettant ainsi l'allongement de celui-ci. L'avant-bras est équipé de deux poignées, pour faciliter la manipulation, et d'un connecteur pour la calle. Un boulon de pression limite l'angle de pivotement. Le pivot comprend également un mécanisme d'inclinaison de l'arrière-bras en plan vertical (1,5 degrés). Les pièces de l'appareil sont en acier, certaines sont soudées et toutes sont galvanisées. La quincaillerie est également en acier et est protégée par une couche de zinc. Les bras sont des tubes pesant au total 21 kg, tandis que le poids total de l'appareil est estimé à 60 kg.

# Diapositive 8

Le cahier des charges établi par l'entreprise pour la conception de la cale de soutènement est décrit de manière détaillée dans cette diapositive. Selon ce document, la cale doit être capable de supporter un poids maximal de 60 livres, tout en ne demandant qu'une force maximale de 30 livres pour être manipulée. De plus, elle doit être capable de maintenir une inclinaison de 0,5 à 1,5 degrés vers l'extérieur du mur, tout en conservant les mêmes dimensions extérieures du tube que l'ancienne version en acier.

En outre, la cale doit être conçue de manière à réduire son poids actuel, à éviter la protection par galvanisation afin de minimiser les coûts de production, et à utiliser le même ressort que l'ancienne version. Elle doit également avoir une résistance et une rigidité similaires à celles de l'ancienne version en acier, tout en réduisant les frottements dans les joints.

Pour atteindre ces objectifs, il est recommandé de choisir des procédés de fabrication à coût réduit, tel que l'assemblage en usine, et de respecter les paramètres fonctionnels tels que les degrés de liberté, l'extension maximale et l'inclinaison du bras en plan vertical. Il est également recommandé de trouver la position optimale de l'attache du ressort avec le joint supérieur, afin de garantir la robustesse de la cale et sa résistance à la corrosion, ainsi que sa facilité de réparation en cas de besoin.

Enfin, il est important de vérifier l'efficacité des boulons de sécurité en cas d'accident, comme un accrochage du bras par un camion, afin de garantir la sécurité de l'utilisateur. En résumé, le cahier des charges de l'entreprise prévoit la conception d'une cale de soutènement légère, robuste, facile à manipuler et économique, tout en respectant les exigences fonctionnelles et de sécurité requises.

# Diapositives 9 et 10

Le mécanisme de levage de la plaque de construction présentée sur la diapositive 9 nécessite une prise en compte importante de la distance entre la plaque et le mur à partir duquel elle doit être fixée. Il est recommandé de laisser un espace de 6 pouces entre le bas de la cale de soutien et le sol lors de la mise en place initiale du bras de levage. Cette mesure permet de garantir une stabilité adéquate de l'ensemble du dispositif et de minimiser les risques de dommages pendant l'opération de levage.

La diapositive 10 présente les caractéristiques techniques du ressort utilisé dans le mécanisme de levage. Ces informations sont détaillées dans un tableau qui indique notamment la force de traction maximale du ressort, sa longueur et son diamètre. Ces données sont essentielles pour évaluer la performance du mécanisme et s'assurer qu'il est adapté à la charge à soulever. Elles permettent également de déterminer les conditions d'utilisation optimales du dispositif et de prévenir tout dysfonctionnement ou accident lié à un mauvais choix ou à une utilisation abusive du ressort.

# Diapositive 11

Les deux images présentées sont des vues de l'assemblage du bras en position fermée et en position ouverte maximale. Il convient de souligner que le ressort et le dispositif permettant son installation ne sont pas modélisés dans ces images.

# Diapositive 12

Le système en question est composé de plusieurs éléments principalement en aluminium, à l'exception de la quincaillerie, du levier-ressort et du joint supérieur. Ces composantes sont reliées entre elles de manière à permettre le mouvement rotatif du mécanisme sur un plan horizontal, grâce à un pivot fixé sur une plaque murale, qui est lui-même relié à un levier-pivot. L'arrière-bras est quant à lui assemblé au pivot à l'aide de plaques d'ajustement d'angle sur un plan vertical. L'avant-bras, quant à lui, est relié à l'arrière-bras par l'intermédiaire de deux plaques comprenant chacune des plaques de frottement en plastique, ce qui permet une rotation relative entre ces deux éléments. Le joint supérieur est fixé sur l'avant-bras et connecté au levier-ressort, qui assure lui-même la liaison avec le ressort. Une attache cale est également fixée sur l'avant-bras et reliée au joint de la cale. Enfin, des bagues, ou « bushings », en plastique sont utilisées comme joints pour éviter l'usure des pièces en aluminium en contact avec les axes en acier. En ce qui concerne les alliages d’aluminium utilisés dans ce système, il s'agit de l'alliage 6061-T6 pour les tubes et de l'alliage 5052-H32 pour les plaques.

# Diapositive 13

Le support mural du mécanisme a été fabriqué en aluminium afin de faciliter sa manipulation grâce à une réduction de son poids lors de l'installation. Il a été conçu de manière robuste avec deux angles en forme de L standard, soudés avec une plaque de liaison standard. Des trous ont été prévus pour les pivots dans les ailes des L. L'épaisseur de 1/2 pouce des profilés et de la plaque garantit une rigidité adéquate et une bonne résistance mécanique. Les pièces en aluminium ont une résistance élevée à la corrosion sans aucun traitement de surface, ce qui réduit le coût de fabrication par rapport à la version en plaque galvanisée. L'usinage des pièces est minimal, consistant simplement en découpage et perçage, ce qui réduit également les coûts.

# Diapositive 14

L'assemblage du pivot est principalement constitué de deux plaques en aluminium d'une épaisseur de 1/4 pouce reliées par des rivets afin d'éviter la soudure, plus coûteuse et moins précise en termes de dimensions en raison des déformations post-soudure. De plus, il comprend deux tubes carrés en aluminium standard de 2,5 pouces et d'une épaisseur de 3/16 pouces. Le levier-pivot est composé d'une plaque et d'un cornier en aluminium soudés ensemble. Le support « pogo » est en acier. D'autres éléments incluent des patins et des plaques d'ajustement. La quincaillerie utilisée comprend des rivets, des vis-épaulées pour l'axe de rotation, des boulons, des écrous, des écrous-rivets et des bagues de frottement

# Diapositive 15

L'assemblage de l'arrière-bras est constitué de deux plaques en aluminium d'une épaisseur de 1/4 pouce, reliées par des rivets au tube carré en aluminium de 2 pouces et d'une épaisseur de 3/16 pouces, d'une longueur standard de 108,5 pouces. Deux plaques de frottement en plastique d'une épaisseur de 1/4 pouce sont également reliées au tube par des rivets. Un support de limiteur de course en aluminium plié, d'une épaisseur de 1/4 pouce, est également fixé au tube par des rivets. Enfin, l'assemblage comprend également divers éléments de quincaillerie tels que des rivets, des boulons, des écrous, des écrous-rivets et des bagues de frottement.

# Diapositive 16

Le montage de l'avant-bras est constitué de deux tubes carrés en aluminium de dimensions respectives 1,5 pouces et 2 pouces de côté et d'une épaisseur de 3/16 pouces. Le premier tube mesure 100,875 pouces de longueur standard, tandis que le second est de dimension standard. L'ensemble comprend également un joint en acier et une plaque pliée en acier d'une épaisseur de 3/16 pouces. D'autres éléments tels que des plaques et des espaceurs peuvent également être inclus dans l'assemblage. Enfin, la quincaillerie nécessaire à l'installation de cet avant-bras comprend des rivets, des boulons, des écrous et des bagues de frottement

# Diapositive 17

Dans le but de déterminer l'emplacement optimal du U qui maintient le haut du support du Hockey Stick, une analyse statique du système est effectuée à huit positions différentes, qui comprennent quatre positions d'ouverture de l'arrière-bras et de l'avant-bras (à 15, 30, 45 et 60 degrés) et deux positions du U (initiale et arrière). Cette étude vise à déterminer les points de contrainte et de déformation maximaux.

# Diapositive 18

Le maillage du modèle utilisé dans cette étude est caractérisé par une taille des éléments de 4mm, une curvature normal angle de 60°, un nombre de nœuds de 101 031, un nombre d'éléments de 97 882 et un nombre de degrés de liberté de 602059. Une pré-tension a été appliquée au ressort, correspondant à une force de 366Lbf, la raideur du ressort étant de 4,2435 N/mm. Le centre de masse de la cale est situé à une distance de -100mm en Y et de +50mm en Z par rapport au centroïde du support. Le système d'axe est déterminé de la façon indiquée sur la photographie en bas à gauche. Par ailleurs, la butée est fixée selon l'axe X, tandis que les 8 trous du support sont ancrés au mur.

# Diapositive 19

Pour déterminer la force de réaction de l'opérateur au niveau de la poignée inférieure de l'avant-bras, nous avons fixé l'avant-bras dans les trois directions (X, Y, Z). En position arrière, nous avons observé que la réaction produite principalement par le ressort (Rx) était pratiquement nulle à des angles de 30 et 45 degrés, mais qu'elle présentait une différence de la moitié à 60 degrés. Cela signifie qu’entre 30 et 45 degrés, le système reste pratiquement figé. Nous n'avons pas observé de changement significatif dans la perception du poids de la cale (Ry) entre les positions arrière et initiale pour un même angle.

# Diapositive 20

Lors de l'analyse des contraintes sur les bras en aluminium, il a été constaté que celles-ci étaient inférieures à la limite d'élasticité de l'alliage utilisé. Cependant, une contrainte équivalente de 230 Mpa a été détectée au niveau de la région située autour des boulons de sécurité.

# Diapositive 21

En cas de position arrière du U, la réaction du ressort sera minimale et l'opérateur devra fournir moins d'effort pour tirer le système, atteignant un maximum de 7Lbf à 60 degrés et étant presque nul entre 30 et 45 degrés. Cependant, il faudra plus de temps pour que le système revienne à sa position de 0 degré. Il convient de prendre en compte l'aspect du retour de la cale par rapport à l'assistance à l'utilisateur. En conséquence, il serait judicieux de revisiter le design du levier-ressort (Hockey Stick) à cet égard et de vérifier la préparation de la soudure, car le maximum calculé à cet endroit dépasse largement la limite d'élasticité du matériau utilisé, atteignant 630 Mpa.

# Diapositive 22

Dans cette étude, nous avons cherché à identifier les points de fragilité du système en considérant un déplacement vers l'avant généré par la roue du camion. Pour ce faire, nous avons maintenu la géométrie de l'avant-bras à un angle d'ouverture de 60 degrés en position initiale de U, tout en conservant le maillage inchangé. Nous avons également appliqué les mêmes conditions aux limites, à l'exception de la réaction des efforts de l'opérateur, avec un blocage entre les deux bras. Le chargement a été simulé par un déplacement de 20 cm (7 ⁷/₈ pouces) au niveau du support de la cale dans la direction de l'axe X. Lors de l'application de ce déplacement sur les poignées, nous avons observé une contrainte maximale de 240 Mpa sur les boulons de sécurité. Nous avons conçu le système de manière à ce que les boulons de sécurité cassent en premier en cas d'effort important.

# Diapositive 23

En résumé, la nouvelle conception du mécanisme présente plusieurs avantages notables. Tout d'abord, elle permet de réduire significativement le poids du système, estimé à environ 60 kg dans sa version précédente, à 29 kg sans ressort. Cela est principalement dû à l'utilisation majoritaire de composantes en aluminium, qui remplace l'acier et permet d'éliminer l'opération de traitement de surface par galvanisation. Cette modification de matériau entraîne également une réduction des coûts de fabrication et une empreinte environnementale réduite. En outre, la nouvelle conception garantit que les performances du produit respectent le cahier des charges, avec un comportement similaire à celui de la version précédente en acier. Enfin, elle présente un design simplifié, avec une réduction du temps d'assemblage et une utilisation du procédé de soudage limité un seul sous-assemblage. L'utilisation de rivets est également préconisée, ce qui facilite l’assemblage.