

Joints de cardan

Une solution polyvalente, adaptable et économique

Les joints de cardan sont un type d'accouplement d'arbres extrêmement modulables. Ils constituent ainsi une solution intéressante et souvent économique pour de multiples applications.

► Les joints de cardan, accouplements flexibles également appelés cardans ou joints universels, sont fondés sur le principe de la suspension à la Cardan (figure 1), connu depuis l'antiquité. Les premières suspensions de ce type étaient utilisées comme supports d'encriers. Léonard de Vinci employa la suspension pour isoler un compas des mouvements environnants.

Le mathématicien italien Gerolamo Cardano fut le premier à utiliser, vers 1545, ce principe pour la transmission des couples et des déplacements, d'où

le nom de « joint de cardan ». L'inventeur suédois, scientifique et industriel, Christopher Polhem, réinventa plus tard le cardan qui fut connu sous le nom de *Polhemknut* (nœud de Polhem). Robert Hooke, scientifique anglais, conçut et développa au 17^{ème} siècle un joint opérationnel, encore souvent appelé en Angleterre *Hooke's Joint (joint de Hooke)*.

Ce fut enfin Henri Ford qui donna au joint de cardan le nom d'*« Universal Joint »* (joint universel), généralement employé aujourd'hui dans les pays anglophones. Dans les pays germanophones, le joint est souvent appelé « joint à croisillon » (Kreuzgelenk) ou « joint d'arbre » (Wellengelenk). Ce joint est communément appelé dans les pays francophones « joint de cardan » ou « cardan ».

COMPENSER LES DÉSALIGNEMENTS

Les joints de cardan sont utilisés pour compenser les désalignements ou les déplacements

relatifs entre deux arbres, ils doivent assurer la transmission de la rotation et du couple malgré le désalignement. Dans le cas idéal, les arbres moteur et récepteur ne présentent aucun désalignement, qu'il soit radial, axial ou angulaire. En réalité, de tels désalignements existent toutefois pendant le fonctionnement, soit en raison

de limitations techniques, soit en raison de vibrations et de déplacements.

Les arbres moteur et récepteur peuvent présenter un désalignement radial, axial ou angulaire (figure 2). Les accouplements normaux, à soufflet, Oldham ou à lamelettes peuvent en général compenser des désalignements angulaires de 1 à 7 degrés et



Joint de cardan doubles de Belden

Belden

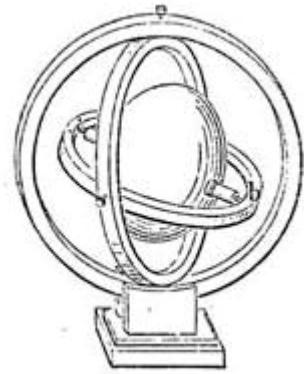


figure 1 : Suspension à la Cardan

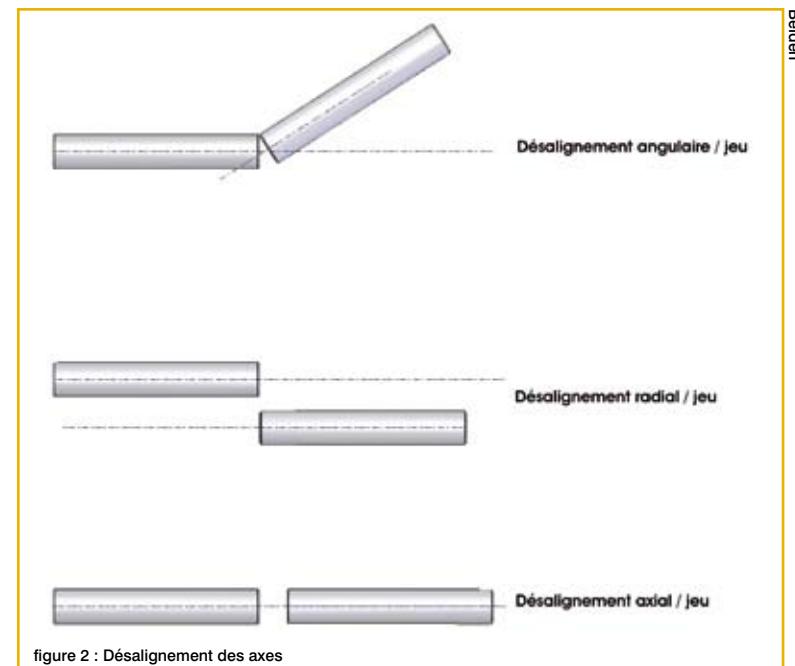


figure 2 : Désalignement des axes

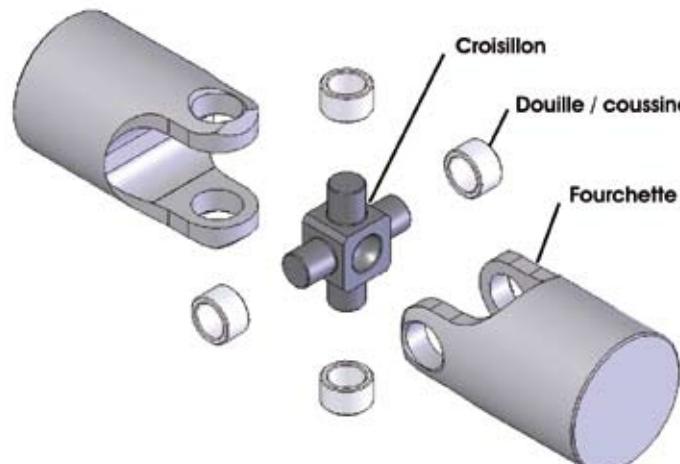


Figure 3: Joint de cardan avec croisillon

en fonction de leur taille, des désalignements radiaux de quelques dixièmes de millimètre à quelques millimètres. Les joints de cardan se distinguent des autres accouplements par leur capacité à compenser des désalignements radiaux et angulaires nettement plus importants.

Les désalignements axiaux ne sont en général compensés ni par les accouplements, ni par les joints de cardan, des éléments additionnels ou des raccords possédant une flexibilité axiale sont donc nécessaires. Il existe néanmoins des modèles d'accouplements qui peuvent compenser dans une certaine mesure, même dans les versions standard, des désalignements axiaux, notamment les accouplements en élastomère et les accouplements à hélicoïdes.

L'ART ET LA MANIÈRE

Les cardans sont en général constitués de deux fourchettes et d'un élément central, habituellement le croisillon. L'art et la manière de fabriquer le cro-

sillon ne sont ni réglementés, ni définis. Les croisillons peuvent être soit d'une conception monobloc, soit d'une conception assemblée (figures 3 et 4).

Les croisillons monoblocs sont des pièces forgées avec tourillons usinés, réalisés en grandes séries. Le diamètre des tourillons du croisillon est nettement inférieur à celui des oeillets des fourchettes. Le croisillon peut être ainsi facilement monté. Des coussinets ou des roulements à rouleaux ou à aiguilles sont montés entre l'axe et le joint afin d'assurer un bon contact entre les surfaces de roulement.

Les blocs et les tourillons des croisillons assemblés sont en général réalisés en acier sur des machines CNC. Le croisillon assemblé peut être constitué de trois éléments ou plus, en général d'un bloc et de deux à trois tourillons dont le diamètre et la longueur peuvent être plus ou moins importants.

Une des principales différences dans la conception des joints de cardan avec tourillons et bloc est le type de fixation des tou-

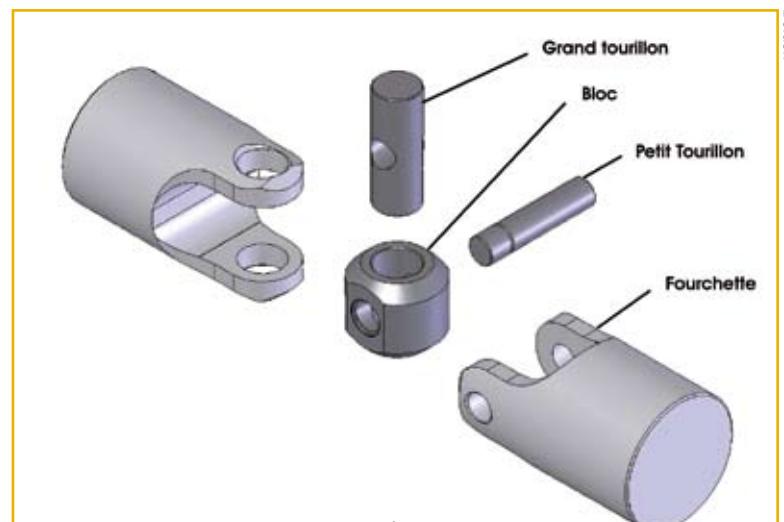


Figure 4: Joint de cardan avec croisillon assemblé

rillons dans le bloc ou dans les fourchettes du joint et la position des surfaces de roulement. En général, des circlips insérés dans des gorges maintiennent les tourillons en position.

Une autre possibilité est l'usinage d'un des tourillons traversant à son extrémité ou en son milieu pour éviter tout glissement. Une troisième variante est l'assemblage ou la fixation de tous les tourillons au milieu du bloc, par usinage ou par ajustage en force. La quatrième possibilité est de fixer les tourillons dans les fourchettes du joint de cardan, les surfaces de roulement sont alors dans le bloc et non dans les oeillets des fourchettes. Les roulements à aiguilles ou les coussinets, s'ils sont montés, sont souvent fixés à la place des tourillons, par des circlips ou des boulons additionnels, afin d'éviter toute chute ou glissement des tourillons du croisillon.

Un critère important dans le choix du modèle est, outre de bonnes propriétés de roulement et de transmission, un montage aussi simple que possible.

PARTIES ESSENTIELLES

Les joints de cardan sont donc munis soit de paliers lisses, soit de roulements à aiguilles (figure 5 et 6). Les paliers lisses sont les plus simples. Les tourillons du croisillon tournent dans les oeillets des fourchettes si celles-ci ne sont pas munies de coussinets supplémentaires.

Certaines parties essentielles des fourchettes peuvent être trempées ou les surfaces de contact traitées en fonction de l'application, afin d'améliorer les propriétés de roulement et de réduire le frottement entre les tourillons, le bloc et les fourchettes. Les tourillons et le bloc, ou le croisillon sont

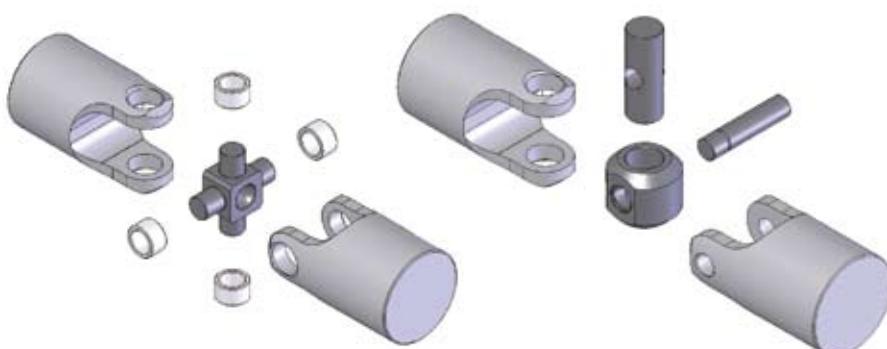


Figure 5 : Joint de cardan avec paliers lisses

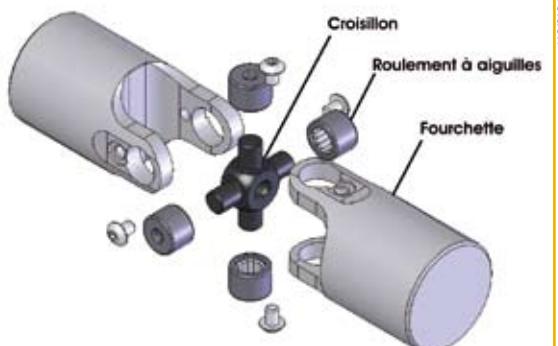


Figure 6 : Joint de cardan avec roulements à aiguilles

Belden

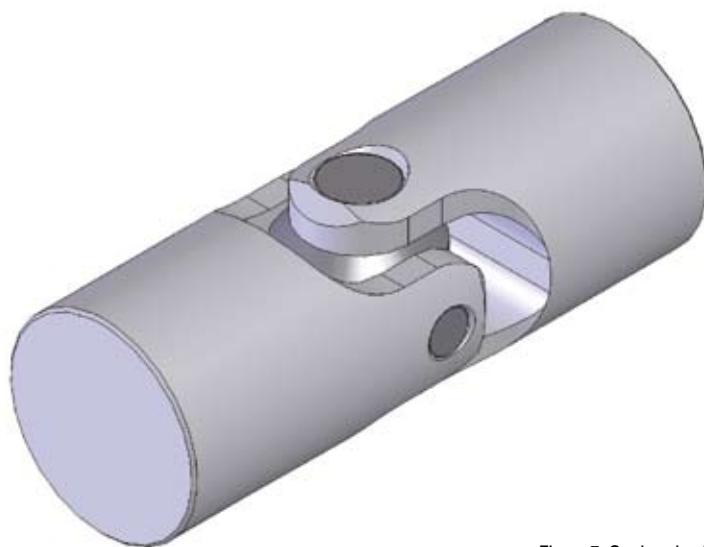


Figure 7: Cardan simple

Belden

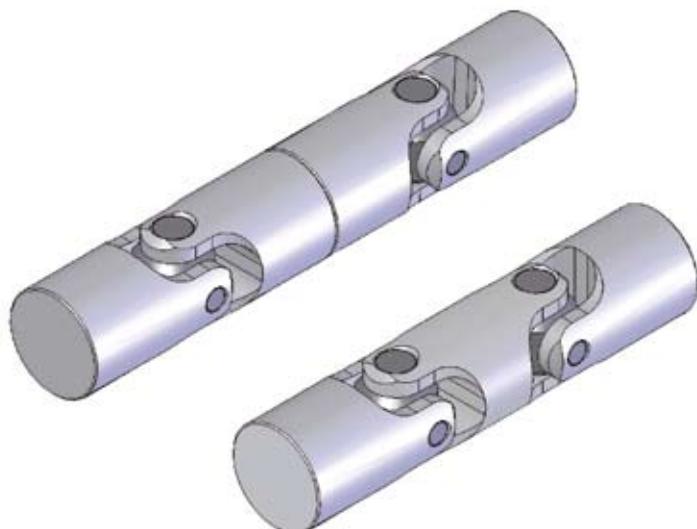


Figure 8: Cardan double et cardan double assemblé

souvent trempés et les surfaces de roulement rectifiées et rodées afin que la durée de vie des cardans soit aussi longue que possible, avec une lubrification appropriée. La durée de vie d'un joint de cardan dépend fortement du couple transmis et de la vitesse de rotation des arbres qu'il relie. L'angle de brisure du cardan joue également un rôle important. Plus l'angle, la vitesse de rotation et le couple sont élevés, plus la sollicitation sur le joint de cardan est élevée. Un couple trop important entraîne en général une rupture des tourillons ou des fourchettes. Un couple acceptable pour des vitesses de rotation élevées entraîne une

défaillance de la lubrification et par suite un échauffement important par frottement, ce qui provoque une usure importante, voire dans le pire des cas une rupture ou un soudage des tourillons, bloc ou fourchettes. Dans tous les cas, le joint n'est plus utilisable.

Des vitesses de rotation élevées posent souvent des problèmes lorsque le joint de cardan est muni de paliers lisses, même si le couple n'est pas très important. Un fréquent graissage des surfaces de roulement est également souvent difficile. Si les cardans ne peuvent pas « baigner » dans la graisse ni être munis d'un graisseur, la température élevée générée

lors d'un fonctionnement continu entraîne rapidement la défaillance du cardan.

FONCTIONNEMENT

L'emploi d'un roulement à aiguilles à la place de coussinets ou de surfaces de contact traitées réduit le couple maximal transmissible d'un cardan, mais ces roulements permettent un fonctionnement sans graissage continu nettement plus long que celui d'un cardan simple avec palier lisse, c'est-à-dire avec coussinets ou oeillets de fourchettes trempés.

Il est en outre possible d'estimer la durée de vie des roulements pour une sollicitation et une vitesse de rotation données, à partir des données et des méthodes de calcul disponibles pour les roulements à rouleaux et à aiguilles.

Cette possibilité, si elle existe, n'est que très limitée pour les paliers lisses en raison du grand nombre de facteurs d'influence. Il faut en principe employer de préférence les roulements à rouleaux ou à aiguilles pour les applications mettant en jeu des vitesses de rotation supérieures à 1000 t/min en régime continu ou pour un fonctionnement fréquent. Les paliers lisses peuvent fonctionner à de telles vitesses de rotation pendant de courtes périodes. La durée de fonctionnement en régime continu du cardan dépend toutefois des matériaux, de la mise en œuvre et bien sûr du graissage.

Outre la génération de chaleur par frottement, l'usure par abrasion est un incon-

vénient majeur des paliers lisses. Même en l'absence de surchauffe et de ses conséquences, un fonctionnement de longue durée entraîne souvent une abrasion des surfaces de roulement d'un palier lisse. Il s'ensuit un jeu hors des tolérances pour certaines applications, notamment lorsque les joints de cardan sont employés pour un positionnement précis et une commande angulaire exacte.

De telles applications impliquent un jeu pratiquement nul du cardan, dans les tolérances définies, sur une très longue période. L'usure des roulements à aiguilles est très faible, ceux-ci sont donc employés de préférence dans les cardans, même si les vitesses de rotation ne sont pas très élevées.

PERFORMANCES

Le principal avantage des joints de cardan par rapport aux accouplements est l'importante compensation du désalignement angulaire pour une transmission élevée du couple, performances que sont loin d'atteindre les autres accouplements pour les grands angles. Les joints de cardan simples peuvent compenser des désalignements angulaires allant jusqu'à 45 degrés, ce qui permet un angle de brisure de même valeur entre les arbres (figure 7). L'association de plusieurs de ces joints de cardan permet des angles de brisure nettement plus importants.

Outre les cardans simples, il existe des cardans doubles (figure 8), en principe composés de deux joints de cardan simples. Faciles et rapides à assembler, ils sont également plus courts : l'élément central est constitué d'une seule pièce et non de l'assemblage des deux extrémités de fourchettes.

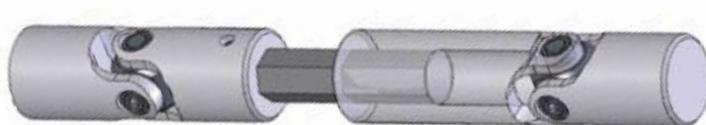


Figure 9: Arbre articulé avec élément télescopique pour la compensation de longueur

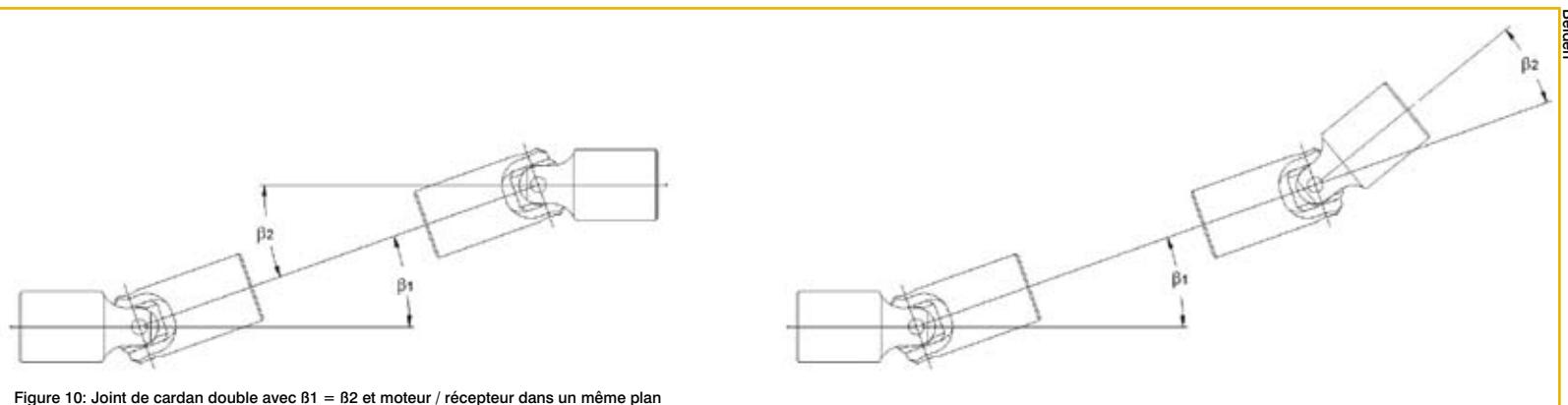


Figure 10: Joint de cardan double avec $\beta_1 = \beta_2$ et moteur / récepteur dans un même plan

EXTENSION

Les arbres articulés sont une extension des joints de cardan doubles. Considérés littéralement, un arbre articulé n'est en principe rien d'autre qu'un arbre avec des joints de cardan, c'est-à-dire, dans le plus simple des cas, un arbre avec un joint de cardan à chaque extrémité – un joint de cardan double allongé. Les arbres articulés sont généralement constitués d'une pièce intermédiaire télescopique (figure 9). La longueur de l'arbre peut être ainsi adaptée pour le montage ou le jeu axial compensé.

Les applications de ce type d'arbre sont multiples. Les arbres moteurs, dont les positions radiale, angulaire et axiale varient par rapport à l'arbre récepteur, peuvent être raccordés à un récepteur par un arbre articulé. Si le moteur (entraînement) ou le récepteur (sortie) sont souvent déplacés, un arbre articulé à longueur variable peut être plus facilement et rapidement adapté aux nouvelles conditions qu'un arbre rigide munis de deux joints de cardan. En effet, celui-ci devrait être éventuellement raccourci ou prolongé, ce qui nécessite du temps.

ANGLE DE BRISURE

Des joints de cardan ont été essentiellement développés pour

l'industrie automobile afin de compenser une propriété médiocre des arbres articulés. Un joint de cardan simple entraîne en présence d'un angle de brisure pendant le fonctionnement une rotation irrégulière côté récepteur. L'arbre récepteur est en avance de phase par rapport au moteur pendant une partie de la rotation et en retard de phase dans une autre partie. Cette irrégularité augmente avec l'angle de brisure. L'effet peu être compensé par l'emploi d'un joint de cardan double dans la mesure où les angles d'entrée et de sortie, β_1 et β_2 , sont identiques et sont sur un même plan (figure 10). Cette condition n'est toutefois pas toujours assurée, notamment pour les véhicules à traction avant, avec roues avant directrices. En effet, il faut également prendre en compte non seulement l'angle de brisure de l' entraînement par les amortisseurs mais aussi le braquage des roues. La liaison de l'arbre moteur à l'arbre récepteur peut être alors assurée par le joint Rzeppa, modèle largement répandu de joints homocinétiques, dans lequel les tourillons sont remplacés par des galets sphériques (figure 11).

Ces galets se déplacent dans le chemin de roulement autour du point d'articulation, dans

les fourchettes qui forment une cage. La fourchette d'origine est remplacée d'un côté par une cage qui supporte le chemin de roulement des galets sphériques. De l'autre côté, une partie du croisillon d'origine est conservée, celle-ci dispose également de logements ou de chemins pour les galets. On parle alors d'une couronne extérieure et d'une couronne intérieure reliées par les galets sphériques.

RELIER LES ARBRES

Il existe de multiples possibilités de relier les arbres moteur et récepteur par des arbres articulés. La manière la plus simple consiste en un alésage dans le joint de cardan dans lequel l'arbre moteur ou récepteur est inséré et fixé à l'aide d'une gouille ou autre axe de fixation. Une extension est l'emploi de clavettes. Des profilés carrés, hexagonaux ou polygonaux ou cannelés ou encore des axes filetés peuvent être choisis en fonction de l'application. Le choix du mode de fixation est essentiellement déterminé par l'application ainsi que par les possibilités techniques de fabrication des arbres – et du fabricant. Dans de nombreux cas, les joints sont soudés sur l'arbre.

Le choix des matériaux des fourchettes, axes, blocs et croisillons est en principe illimité. Les joints d'arbres peuvent être réalisés en matériau synthétique, en acier ou en acier inoxydable de différentes qualités. Notamment, les industries alimentaire et chimique de même que les applications techniques dans le domaine médical requièrent l'emploi de joints en acier inoxydable. Les joints de cardan utilisés dans la construction navale et pour des applications maritimes doivent être résistants à la corrosion dans le milieu marin.

Il faut également que les paliers lisses soient toujours lubrifiés, même dans les cas où un graissage fréquent n'est que difficilement possible, voire impossible. Les joints sont alors munis de soufflets qui constituent un réservoir de graisse pour les pièces mobiles et confinent le lubrifiant (figure 12). Un soufflet en parfait état et adapté à l'application évite, ou du moins réduit, la perte de graisse et une éventuelle contamination. Le soufflet protège les pièces mobiles du cardan de la poussière et de la pénétration d'éléments qui peuvent provoquer des blocages.

Ainsi, une bonne résistance à la corrosion et des propriétés appropriées de fonctionnement peuvent être obtenues par le choix du matériau des pièces mais aussi par un revêtement ou autre traitement de surface de certaines zones ou de la totalité du joint de cardan, comme la galvanisation.



Figure 12: Joints de cardan avec soufflet



Figure 11: Joint homocinétique selon le principe de Rzeppa

Ralf Gabriel,
Ingénieur Produits et Vente,
Belden Tools Inc.,
filiale européenne