

## Joint de transmission de Cardan : loi entrée sortie

### Objectifs

Déterminer la loi entrée-sortie du joint de transmission de Cardan

- expérimentalement par mesures sur le mécanisme réel
- par le calcul avec la théorie de la cinématique du solide indéformable (loi es fournie)
- par simulation sur Solidworks/Méca3D

Mettre en évidence les effets négatifs de la dérivation temporelle d'un signal  
S'initier à l'atténuation du bruitage d'un signal.

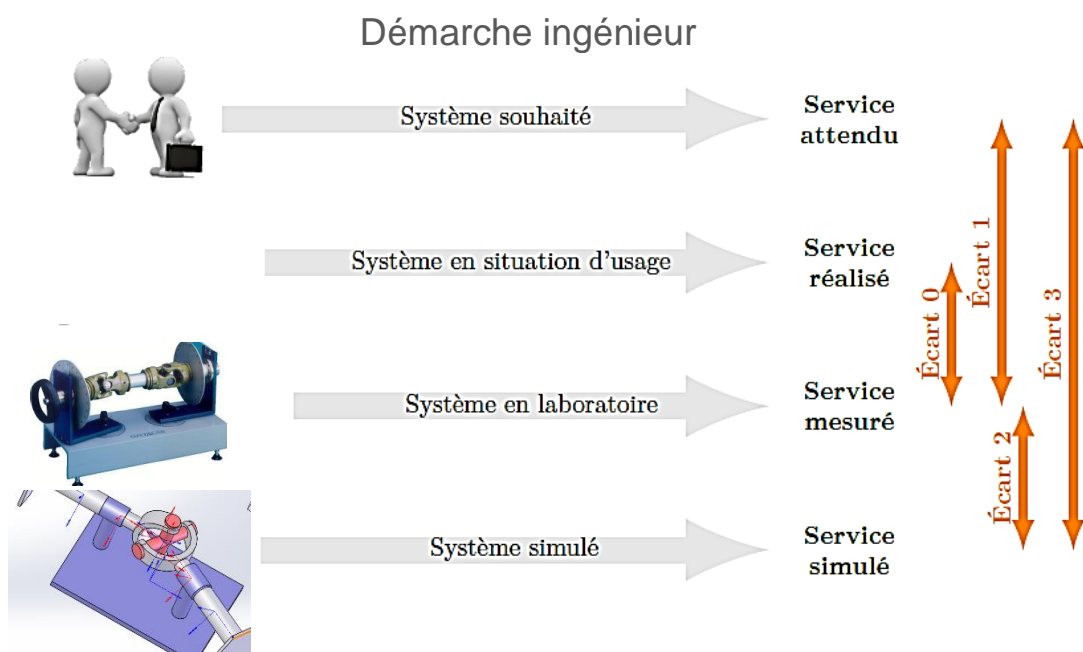


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

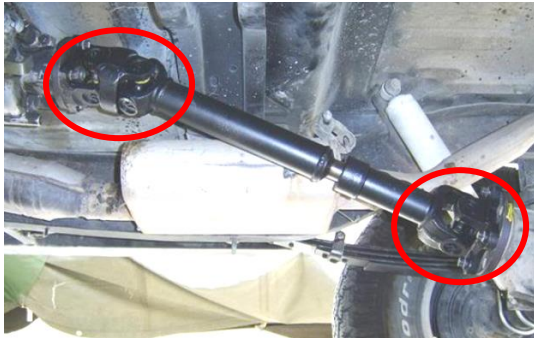
**Objectif : minimiser les écarts**

### AVERTISSEMENT

**VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION. IL SAGIT ICI DU TABLEAU DE CALCUL ET DE LA DAO 3D SOLIWORKS.**

## 1. Introduction

Le joint de Cardan est un mécanisme qui assure la transmission de mouvement de rotation entre deux arbres concourants. Il est utilisé dans toutes gammes de puissance : d'une simple tige pour manœuvrer des stores ou volets roulants, jusqu'aux grosses machines industrielles (broyeurs, 100kW), en passant par les véhicules automobiles (20kW).



Visionner la vidéo, à partir de 3min15s , « Comparaison-applications Cardan et tripode » pour découvrir la mise en contexte de la transmission et des exemples d'application. Ne pas tout visionner car elle est longue et vous manqueriez de temps pour la suite...

## 2. Description

Le joint de Cardan simple se compose de deux arbres munis de fourches et d'un croisillon. Le croisillon est liaison pivot avec chacun des arbres : entrée et sortie. Cette liaison pivot est souvent assurée par les roulements à billes.

La transmission peut s'effectuer jusqu'à un angle entre axes des arbres de sortie et entrée (appelé angle de brisure) allant jusqu'à 40°.

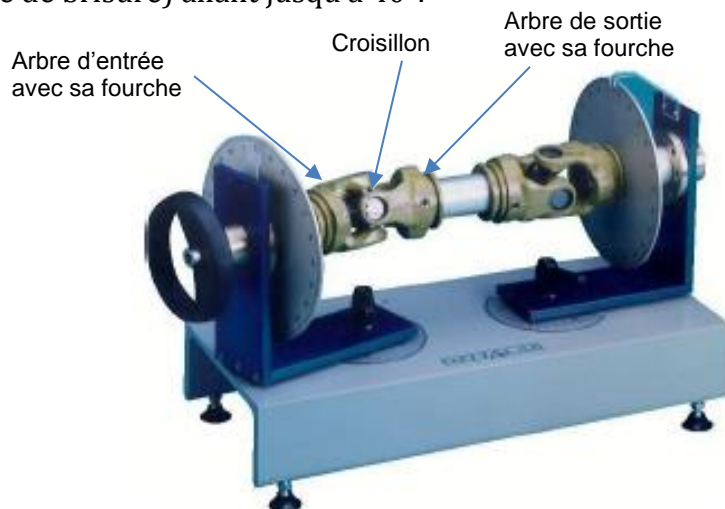


Figure : transmission à joint de Cardan de laboratoire (deux joints ici)

## Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire le sujet

Revoir les notions suivantes

- TD de cinématique sur la transmission par Cardan
- Homocinétisme d'une transmission mécanique
- Calcul de la vitesse angulaire par dérivation de la position angulaire instantanée
- Approximation d'une vitesse angulaire instantanée par calcul de la vitesse moyenne des deux points les plus proches.
- Répondre aux questions ci-après



## Vous disposez

- Du sujet
- Un document réponse
- Deux fichiers tableau numérique type Excel



## Vous devez rendre

- Copie personnelle soignée répondant à toutes les questions posées. Les questions doivent être **CLAIREMENT** séparées (sauter au moins deux lignes et tracer un trait horizontal). Les résultats finaux doivent être encadrés.
- Le document réponse soigneusement rempli.



### 1<sup>ère</sup> PARTIE : PRELIMINAIRE THEORIQUE

**Cette partie se fait individuellement. Elle ne nécessite pas de matériel. Elle a été préparée avant la séance de TP... chez vous. Elle ne peut pas être abordée pendant la séance de TP au labo.**

**Cette partie doit être rendue rédigée sur votre compte rendu avant la séance de TP.**

- Rappeler ce qu'est, pour un mécanisme quelconque donné, la loi entrée sortie géométrique et la loi es cinématique.
- Rappelez la loi es géométrique d'une transmission par Cardan : vous l'énoncerez et donnerez la signification de chaque variable ainsi que son unité.
- Rappelez la loi es cinématique déduite de la précédente. Donnez la signification des nouvelles grandeurs apparaissant.
- Rappelez la définition d'une transmission homocinétique
- Discutez de l'homocinétisme du Cardan en fonction de l'angle de brisure.

## 2<sup>ème</sup> PARTIE : EXPERIMENTATION – TRAVAIL AU LABO - 2 heures

### 3. DETERMINATION DE LA LOI ENTREE SORTIE GEOMETRIQUE EXPERIMENTALE (20 min)

**Objectif : Il s'agit de tracer la loi  $\theta_s = f(\theta_e)$  à partir du mécanisme réel**

La prise de mesure est assez longue. Vous ne ferez donc Les mesures que pour un angle d'entrée variant de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ . Cela devrait vous prendre 20 minutes maxi avec la saisie.

L'expérience doit être réalisée avec beaucoup de soin.

La lecture des angles grâce au rapporteur fixé sur chaque arbre, doit être réalisée au tiers ou quart de degré près (si-si c'est possible !).

Vous procéderez par pas de  $3^\circ$  de l'angle d'entrée. Cela fait 30 mesures.

#### Déroulement de la manipulation

- Régler la transmission par Cardan avec l'angle de brisure  $\alpha$  maximal permis par la maquette du TP. Les croisillons ne doivent pas buter l'un contre l'autre lors de la rotation !! =>  $\alpha = 40^\circ$  doit passer...
- Repérer et noter l'angle de rotation de l'arbre de sortie  $\theta_s$  en fonction de l'angle de l'entrée  $\theta_e$  : ouvrir le tableau numérique fourni « 1-Cardan-mesures-etudiants ». Saisir les valeurs dans les colonnes prévues.

- Insérer une colonne permettant le calcul  $\theta_s - \theta_e$
- Tirez les conclusions de cette première mesure :
  - Homocinétisme
  - Allure
  - Correspondance avec la théorie.

theta entrée (°)	theta sortie mesuré (°)	thetaS-ThetaE
0		= B6-A6
3		

### 4. DETERMINATION DE LA LOI ENTREE SORTIE CINEMATIQUE « EXPERIMENTALE »

Rappel : la loi e-s cinématique est la loi entre vitesses d'entrée et sortie, alors que la loi géométrique est entre les positions.

La loi e-s cinématique est donc  $\dot{\theta}_s = f(\dot{\theta}_e)$ .

#### Objectif

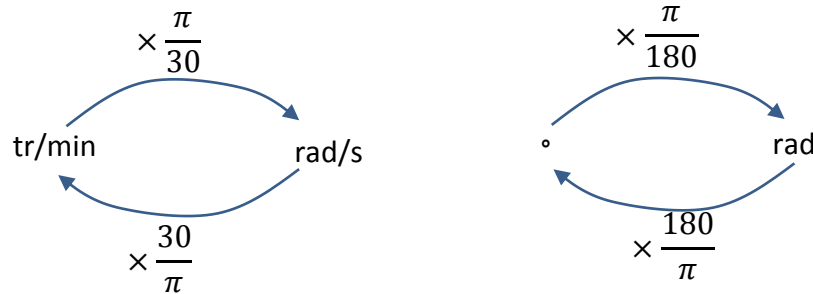
**Tracer la loi  $\dot{\theta}_s = f(\dot{\theta}_e)$ , à partir des données expérimentales. La vitesse d'entrée  $\dot{\theta}_e$  est imposée constante.**

Il ne s'agit pas d'une vraie loi es cinématique expérimentale car le mécanisme n'est pas équipé de capteurs de vitesse. Nous allons simplement dériver la loi

géométrique par interpolation par le calcul du taux d'accroissement entre deux valeurs : la vitesse à la mesure  $M_n$  sera calculée avec le taux de variation des points les plus proches entourant  $M_n$  :  $M_{n-1}$  et  $M_{n+1}$ .

Nous prendrons une vitesse d'entrée  $\dot{\theta}_e = 1000 \text{ tr. min}^{-1} = 105 \text{ rad. s}^{-1}$ .

On rappelle :



Ouvrez la feuille de calcul : « 2 - Cardan - cinématique »

Pour vous faire gagner du temps les mesures expérimentales sont saisies de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ . Ce ne sont pas vos mesures mais elles ont été réalisées sur le même matériel par votre professeur de SI.

- Commencer par afficher sur le même graphique les lois es géométriques expérimentale et théorique :  $\theta_s - \theta_e$  en fonction de l'angle d'entrée. Menu « insérer » / « graphique »...
- Vous pouvez ainsi comparer réalité et théorie.
- Faites varier l'angle de brisure :  $30^\circ$ ,  $20^\circ$ ... La courbe théorique varie : vous constatez ainsi l'effet de la brisure sur l'amplitude de la sortie.

Pour déterminer la valeur de la vitesse instantanée approchée pour un relevé expérimental, vous allez procéder comme ci-dessous.

$$\omega_{\text{sortie}} = \frac{d\theta_s}{dt} = \frac{d\theta_s}{d\theta_e} \times \frac{d\theta_e}{dt} = \omega_{\text{entrée}} \times \frac{d\theta_s}{d\theta_e}$$

Entre deux instants discrets mais suffisamment proches, on peut approximer la vitesse de sortie :

$$\omega_{\text{sortie}} = \omega_{\text{entrée}} \times \frac{\Delta\theta_s}{\Delta\theta_e}$$

Donc, pour une mesure  $M_n$  :  $\omega_{\text{sortie}}(n) = \omega_{\text{entrée}} \times \frac{\theta_s(n+1) - \theta_s(n-1)}{\theta_e(n+1) - \theta_e(n-1)}$

- Dans le tableau numérique : saisir dans la colonne prévue la formule permettant d'avoir la vitesse de sortie pour chaque mesure. Utiliser le symbole \$ pour figer la valeur d'une cellule ne devant pas être dupliquée.

Theorie	Experim
vit theoriq tr/min	vit exp tr/min
766,0	= \$D\$2*(B8-B6)/(A8-A6)
766,9	750,0

- Sur le même graphique : tracer la courbe de la vitesse de sortie  $\omega_s = \dot{\theta}_s$  expérimentale et théorique.

- Conclure sur l'allure de la loi es cinématique expérimentale : que remarquez-vous qui s'est dégradé par rapport à la loi géométrique ?
- On dit que la courbe, le signal, la mesure (etc) est bruitée. Prenez du recul, analysez bien la méthode par dérivation proposée et déterminer la cause de ce bruitage excessif.

## 5. ATTENUATION DU BRUITAGE PAR MOYENNE GLISSANTE

Le bruitage est un signal de plus haute fréquence que le signal utile » étudié.

Pour atténuer le bruitage deux méthodes usuelles (entre autre) sont possibles :

- Utilisation d'un filtre passe bas
- Moyenne glissante

Nous allons utiliser la moyenne glissante.



- Créer une colonne dans laquelle la vitesse à la mesure  $M_n$  est la moyenne des vitesses expérimentales des trois mesures « précédentes » :  $\omega_s(n), \omega_s(n - 1), \omega_s(n - 2)$ .
- Tracer les trois courbes en fonction de l'angle d'entrée sur l même graphique :  $\omega_s$  théorique, expérimentale, filtrée avec moyenne glissante.
- Ajouter une colonne avec, une fois de plus la moyenne glissante, mais avec la moyenne prise sur les 5 mesures précédentes (k=5).
- Tracer sur le même graphique la vitesse expérimentale, la vitesse « moyennée » k=3, et la vitesse « moyennée » k=5.
- Conclusion : effet de l'atténuation, avantage, inconvénient.

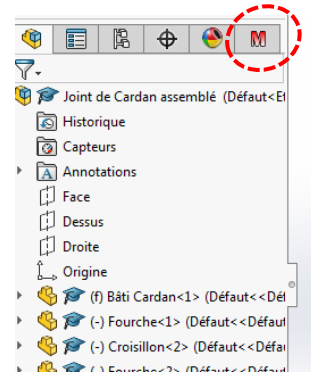
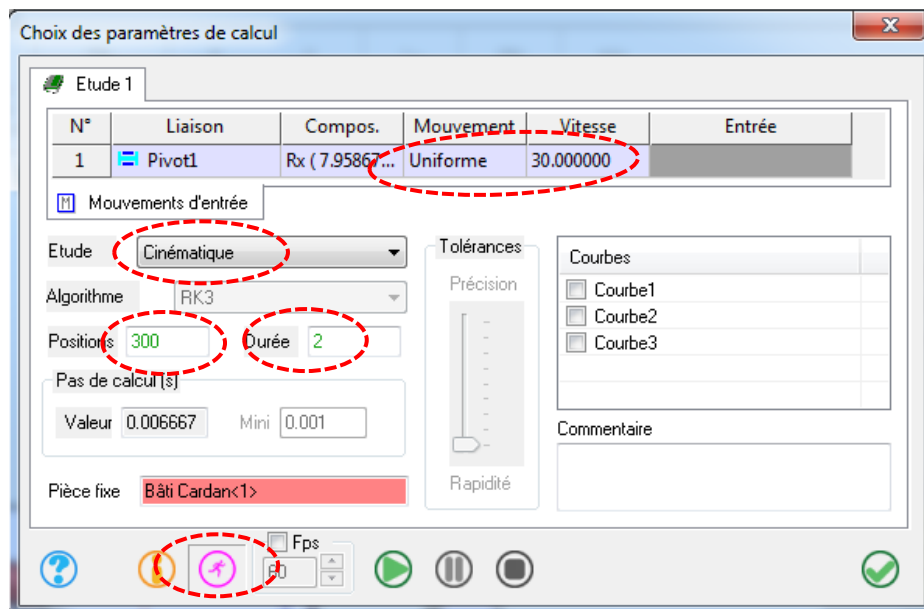
Experim		
vit exp tr/min	vit	vit
	filtrée n=3	filtrée t
833,3	moy glissante	moy gli
750,0		
666,7	=MOYENNE(G7:G9)	
750,0		777,7

## 6. DETERMINATION DE LA LOI ES CINEMATIQUE SIMULÉE

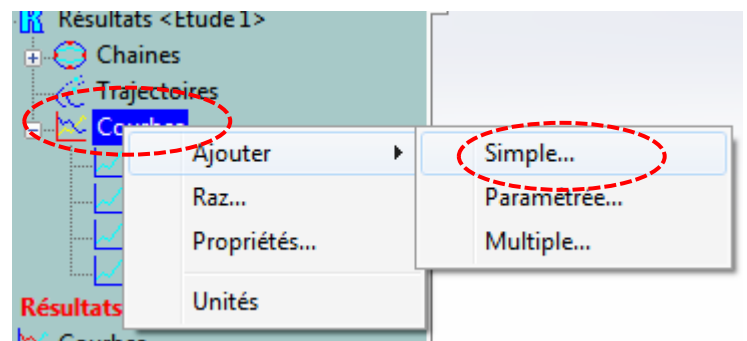
### Objectif

Déterminer la loi entrée-sortie cinématique grâce à un modèle mécanique numérique 3D. On utilise le logiciel Solidworks et son module de calcul Méca3D.

- Sur un PC « informatique » : ouvrir le logiciel Solidworks 
- Ouvrir l'assemblage « Joint de Cardan assemblé »
- Juste « pour voir », Animer « à la main » la transmission grâce à l'outil « *faire tourner le composant* ».
- Ouvrir le module *Meca3D*, onglet 
- Clic droit *analyse/calcul mécanique*.
- *Vitesse 30 tr/min, 50 points, étude cinématique* : lancer la simulation. Fermer la fenêtre.



- Clic droit sur *courbe/ajouter/simple*.
- Choisir la liaison 1 (pivot d'entrée) en abscisse, la liaison 4 (pivot de sortie) en ordonnée et ajouter la vitesse angulaire **en norme**.
- Visualiser la courbe.



## 7. COMPARAISON DES LOIS EXPERIMENTALE ET SIMULÉE

### Objectif

Comparer les lois es cinématiques expérimentale et simulée par affichage des courbes sur le même graphique. On utilise un code Python.

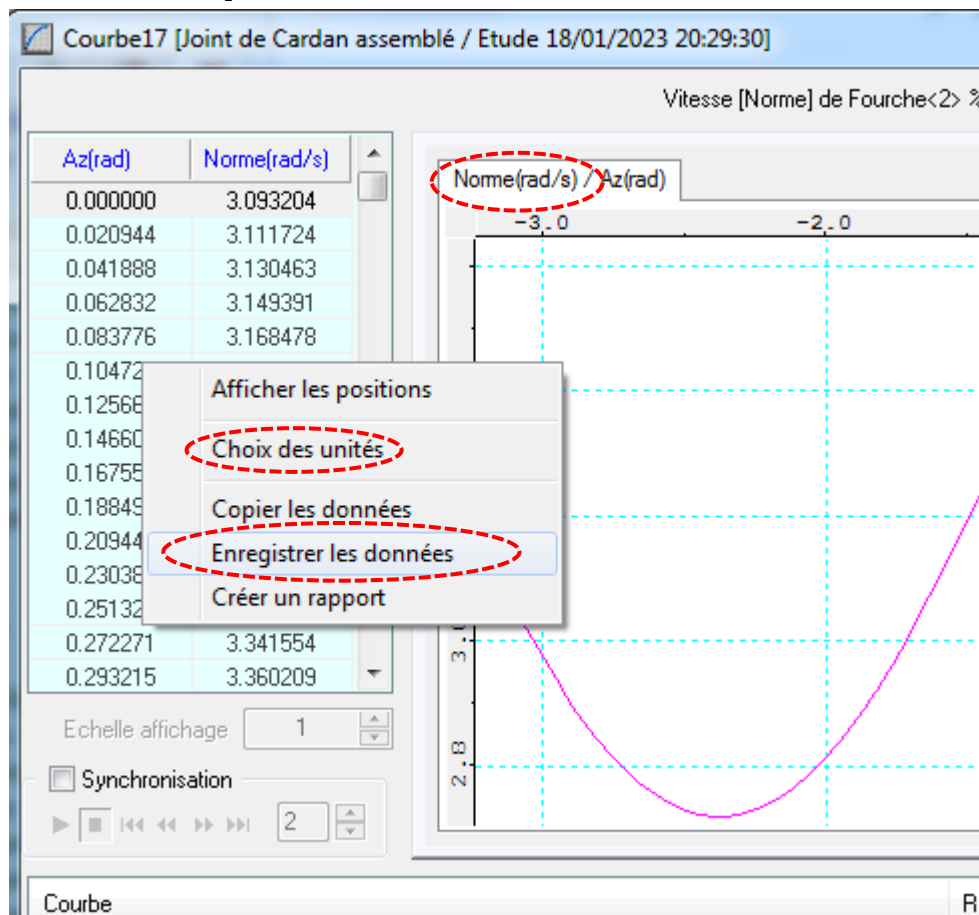
Tout d'abord, créez un tableau open calc contenant deux colonnes uniquement.

- 1<sup>ère</sup> colonne : angle d'entrée en radian
- 2<sup>ème</sup> colonne : vitesse de sortie expérimentale en tr/min

Enregistrer ce tableau au format .CSV (« enregistrer sous », choisir format csv)

Ensuite, importer les données provenant de la simulation M3D dans un tableau.

- Dans la fenêtre courbe, clic droit sur les données/enregistrer les données : un fichier texte .txt se crée dans le dossier que vous choisissez.
- Ouvrir ce fichier et « l'épurer » : supprimer les lignes d'écriture en haut et tout en bas du document. Il ne doit rester que deux colonnes de nombres. Pas d'espace en haut ni en bas de la liste de valeurs. Vérifiez bien.



Ces deux tableaux étant créés ouvrir le code Python « Loi\_es\_Cardan ».

Modifier le chemin d'accès à chacun des tableaux de donnée.

Lancer le code.

Comparer les courbes expérimentale et simulée.

FIN DE L'ACTIVITÉ PRATIQUE