

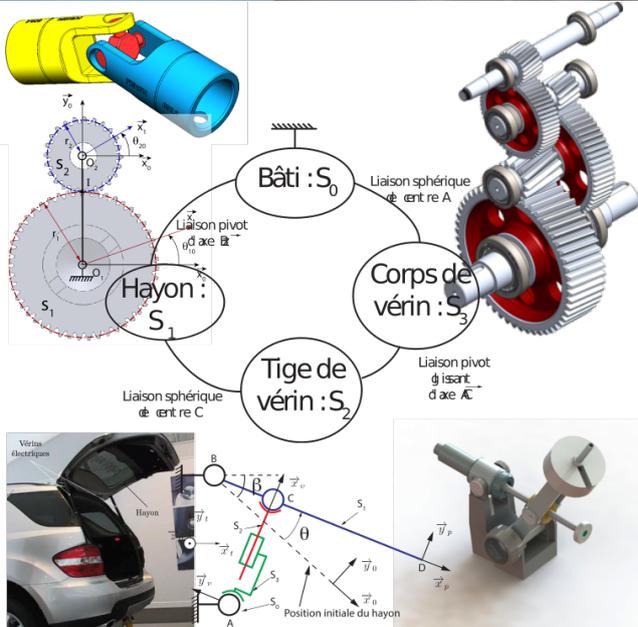


LYCÉE LA MARTINIÈRE MONPLAISIR LYON

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

CLASSE PRÉPARATOIRE M.P.S.I. ET M.P.I.I.

ANNÉE 2024 - 2025



C5 : ANALYSE ET RÉOLUTION POUR DÉTERMINER LES PERFORMANCES CINÉMATIQUES DES SYSTÈMES COMPOSÉS DE CHAINES DE SOLIDE

## C5-1 - Performances cinématiques des systèmes : détermination des lois d'entrée-sortie

4 Février 2025

### Table des matières

<b>I Introduction</b>	<b>2</b>
1 Présentation et problématique du support d'étude	2
2 Modélisation structurelle du système étudié	2
a) Chaîne fonctionnelle d'information/d'énergie	2
b) Graphe des liaisons	3
c) Paramétrage	3
<b>II Lois d'entrées-sorties d'un mécanisme</b>	<b>4</b>
1 Lois d'entrées sorties géométriques	4
2 Lois d'entrées sorties cinématiques	6
<b>III Exemples de système de transformation de mouvement</b>	<b>9</b>
1 Vis-écrou	9
2 Pignon-crémaillère	10
3 Transmission par came	10
4 Transmission par bielle-manivelle	11
5 Joints de transmission ou accouplement mécaniques	12

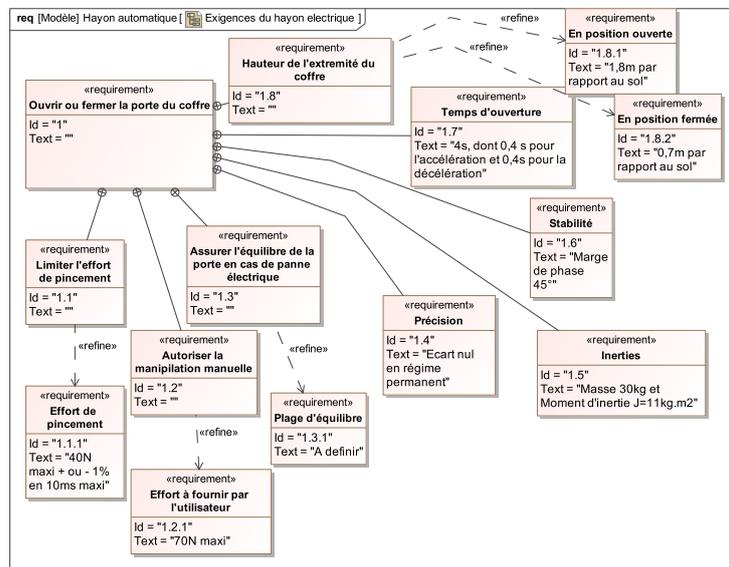
### Compétences

- **Analyser**
  - Associer les fonctions aux constituants.
- **Modéliser**
  - Vérifier la cohérence du modèle choisi en confrontant les résultats analytiques et/ou numériques aux résultats expérimentaux.
- **Résoudre**
  - Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques.
  - Mener une simulation numérique.

# I. Introduction

## 1 Présentation et problématique du support d'étude

### Exemple 1 : Hayon automatique d'un coffre

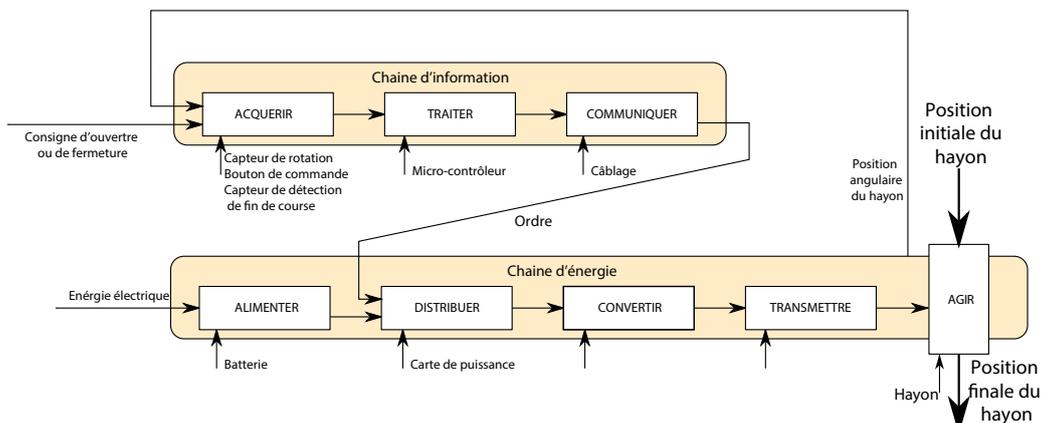


On s'intéresse dans cette étude au dimensionnement de l'actionneur (fonction convertir) d'un hayon automatique de voiture vis-à-vis de l'exigence 1.8 : "hauteur de l'extrémité du coffre".

## 2 Modélisation structurelle du système étudié

### a) Chaîne fonctionnelle d'information/d'énergie

On donne la chaîne fonctionnelle partielle du système.



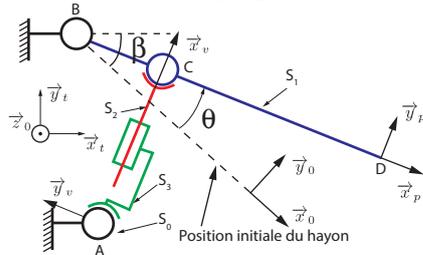
**Q 1 : Compléter les constituants associés aux blocs convertir et transmettre.**

**b) Graphe des liaisons**



**Exemple 2 : Graphe des liaisons**

**Schéma cinématique paramétré**



- $S_0$  : bâti;
- $S_1$  : hayon;
- $S_2$  : tige de vérin;
- $S_3$  : corps de vérin;

**Q 2 : Graphe des liaisons associé**

**c) Paramétrage**



**Exemple 3 : Paramétrage du système**

On donne :

- $\overrightarrow{AB} = -a \overrightarrow{x_0} + b \overrightarrow{y_0}$ ;  $\overrightarrow{AC} = \lambda(t) \overrightarrow{x_v}$ ;  $\overrightarrow{BC} = c \overrightarrow{x_p}$ ;  $\overrightarrow{BD} = d \overrightarrow{x_p}$ , avec  $a = 0,55m$ ;  $b = 0,14m$ ;  $c = 0,14m$  et  $d = 1m$ .
- $\theta = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_p})$ ;  $\beta = 42^\circ = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_t})$  et  $\alpha = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_v})$ ;
- $\overrightarrow{z_0} = \overrightarrow{z_t} = \overrightarrow{z_v} = \overrightarrow{z_p}$

**Q 3 : Représenter les figures planes de projections**

## II. Lois d'entrées-sorties d'un mécanisme

### 1 Lois d'entrées sorties géométriques



#### Définition 1 : *Fermeture géométrique*

Lorsqu'un système possède une architecture en **chaîne fermée**, on écrit une relation vectorielle de **fermeture de la boucle géométrique** qui passe par les points caractéristiques  $O_i$  des liaisons entre solides. Cette relation vectorielle traduit la relation de Chasles :

$$\overrightarrow{O_0 O_1} + \overrightarrow{O_1 O_2} + \dots + \overrightarrow{O_n O_0} = \vec{0} \quad (1)$$

On projette alors cette relation vectorielle dans une base pour obtenir des relations scalaires entre les paramètres de position ou d'orientation des solides.



#### Remarque 1 :

- Pour les **chaînes complexes** on écrit une relation vectorielle par boucle fermée indépendante.
- Cette méthode s'applique bien pour des "systèmes mécaniques articulés".

**Exemple 4 : Fermeture géométrique du hayon automatique**

**Q 4 : Déterminer les paramètres d'entrée et de sortie du problème**

**Q 5 : Écrire la fermeture géométrique associée**

**Q 6 : Projeter cette équation dans la base  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$**

**Q 7 : Trouver une combinaison entre ces deux équations pour obtenir une loi entrée-sortie entre  $\lambda(t)$  et  $\theta(t)$**

$$\lambda(t) = \sqrt{2c(b \sin \theta - a \cos \theta) + a^2 + b^2 + c^2}$$

## 2 Lois d'entrées sorties cinématiques



### Définition 2 : Fermeture cinématique

Lorsqu'un système possède une architecture en chaîne fermée, on écrit une relation "torseurielle" de fermeture de la boucle **cinématique**.

$$\left\{ \mathcal{V}_{(S_1/S_n)} \right\} = \left\{ \mathcal{V}_{(S_1/S_2)} \right\} + \left\{ \mathcal{V}_{(S_2/S_3)} \right\} + \dots + \left\{ \mathcal{V}_{(S_{n-1}/S_n)} \right\} \quad (2)$$

On obtient alors deux équations vectorielles (une en vitesse au même point et une en vitesse de rotation) que l'on peut projeter dans une base. Il en résulte un système linéaire d'équations (3 en 2D et 6 en 3D).



### Exemple 5 : Fermeture cinématique du hayon automatique

**Q 8 : Déterminer la fermeture cinématique du problème en s'appuyant du graphe des liaisons.**

**Q 9 : Justifier l'utilisation d'une modélisation plane**

**Q 10 : Exprimer chaque torseur aux "centres de liaisons".**

**Q 11 : Exprimer tous les torseurs en C**

**Exemple 6 : Fermeture cinématique du hayon automatique**

**Q 12 :** Écrire la fermeture cinématique en vitesse en projection selon  $\vec{x}_v$  et n déduire une relation entre  $\dot{\lambda}$ ,  $c$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $\alpha$  et  $\theta$ .

**Q 13 :** Utiliser les résultats de la fermetures géométriques pour exprimer  $\dot{\lambda}$  en fonction de  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$  et des paramètres géométriques du problème ( $a$ ,  $b$  et  $c$ ).

**Remarque 2 :**

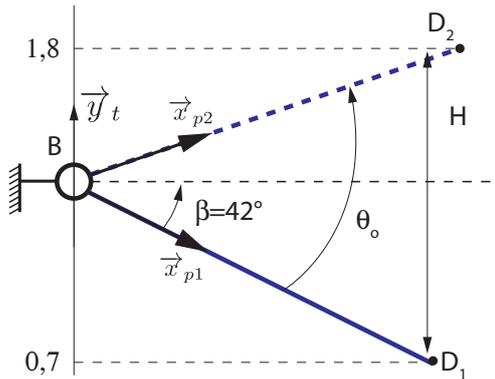
On peut obtenir cette relation en dérivant  $\lambda(t)$  obtenue avec la fermeture géométrique.

**Q 14 :** Retrouver  $\dot{\lambda}$  en dérivant  $\lambda(t)$

**Conclusion : Validation du cahier des charges et dimensionnement du vérin**

- On note  $D_1$  et  $D_2$  respectivement les positions du point  $D$  lorsque le coffre est fermé puis ouvert.
- On définit alors  $H$  la hauteur d'ouverture du coffre comme  $H = \overrightarrow{D_1 D_2} \cdot \vec{y}_t$
- On note  $\vec{x}_{p1}$  et  $\vec{x}_{p2}$  respectivement les deux vecteurs directeurs unitaires de  $\overrightarrow{BD_1}$  et  $\overrightarrow{BD_2}$ .

**Paramétrage**



**Q 15 : Dessiner la figure de projection permettant de passer de la base  $(\vec{x}_t, \vec{y}_t, \vec{z}_t)$  à  $(\vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p)$**

**Q 16 : Déterminer les valeurs de  $\theta_O$  (angle d'ouverture du coffre) pour valider l'exigence 1.8 en exprimant  $H$  en fonction de  $H$ ,  $d$  et  $\beta$ . Faire l'application numérique.**

**Q 17 : Déterminer alors la course du vérin.**

### III. Exemples de système de transformation de mouvement

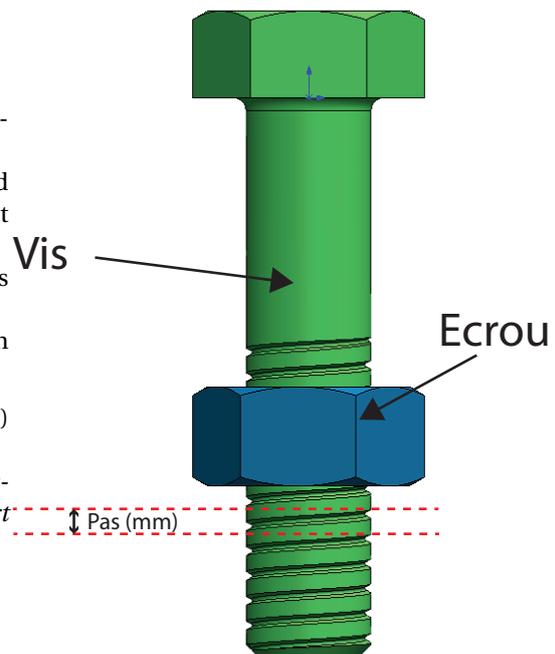
#### 1 Vis-écrou

##### Définition 3 : Vis-écrou

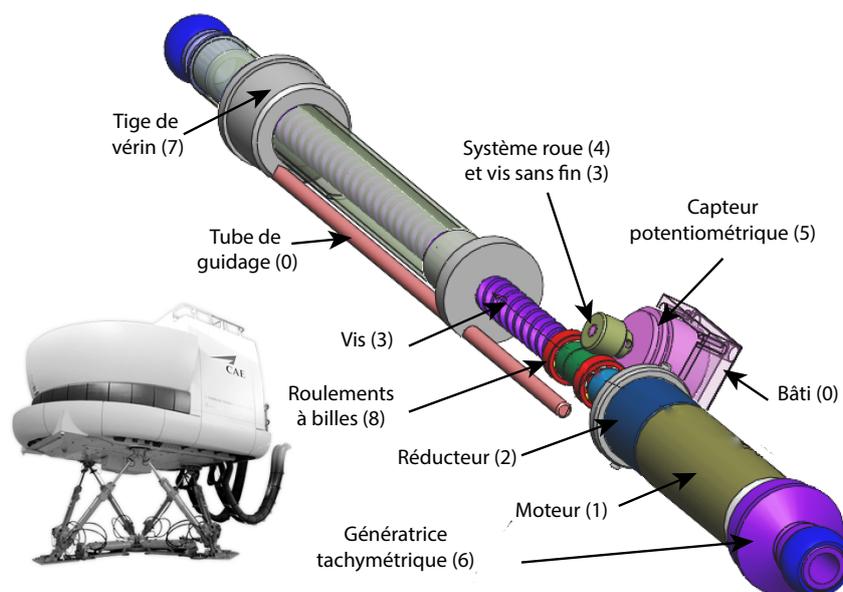
- **Type de transformation** : rotation continue en translation continue
- **Réversibilité** : généralement mais dépend du coefficient de frottement entre la vis et l'écrou
- **Applications technologiques** : Vérins électriques, chariot de machines outils
- **Caractéristiques** : pas de vis défini en  $m/tour$

$$\lambda = \frac{pas}{2\pi} \theta \quad (3)$$

Un tour de vis par rapport à l'écrou correspond à une translation du pas par rapport à l'écrou.



##### Exemple 7 : Application technologique des systèmes vis-écrou



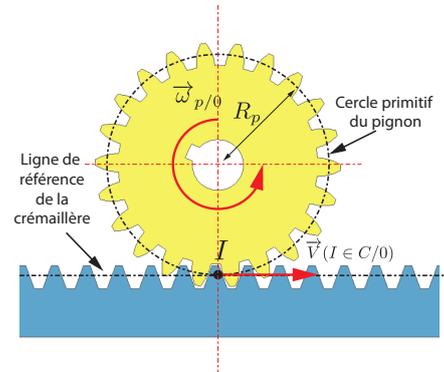
Vérin électrique de la plate-forme de simulateur 6 axes

## 2 Pignon-crémaillère

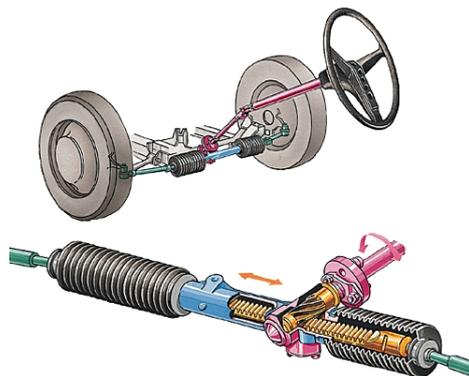
### Définition 4 : Pignon-crémaillère

- **Type de transformation** : rotation continue en translation continue
- **Réversibilité** : oui
- **Applications technologiques** : Porte de train, porte de garage, direction de voiture
- **Caractéristiques** : Rayon primitif du pignon :  $R_p$

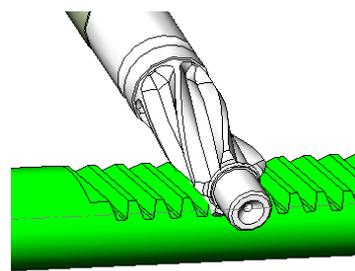
$$\|\vec{V}(I \in C/O)\| = R_p \cdot \omega_{p/O} \quad (4)$$



### Exemple 8 : Application technologique des systèmes pignons-crémaillère



d'une automobile

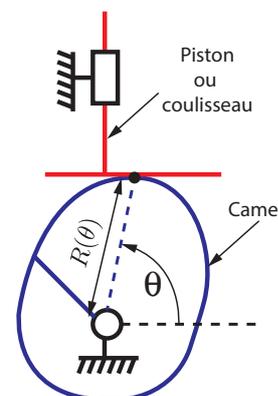


Système de direction

## 3 Transmission par came

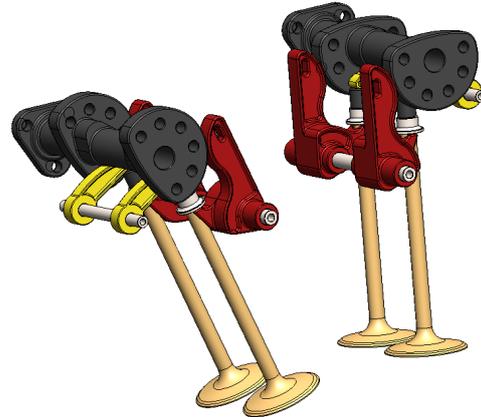
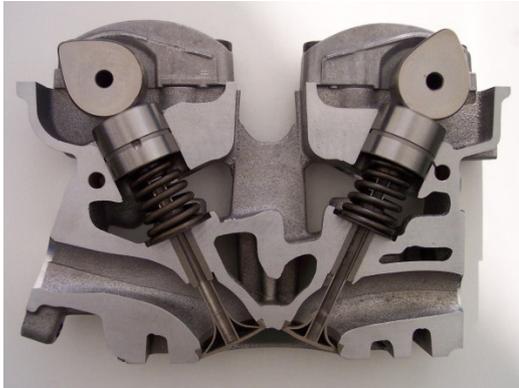
### Définition 5 : Transmission par came

- **Type de transformation** : rotation continue en translation alternative
- **Réversibilité** : non
- **Applications technologiques** : Pompe hydraulique, arbre à came
- **Caractéristiques** : La rotation continue de la came dont le rayon  $R(\theta)$  est défini en coordonnées polaires est transformée en rotation alternative





### Exemple 9 : Application technologique des systèmes de transmission par came



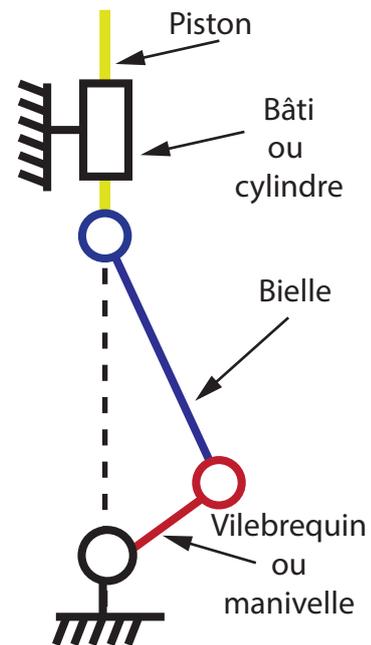
Soupapes de moteurs à explosions actionnées par des cames

## 4 Transmission par bielle-manivelle



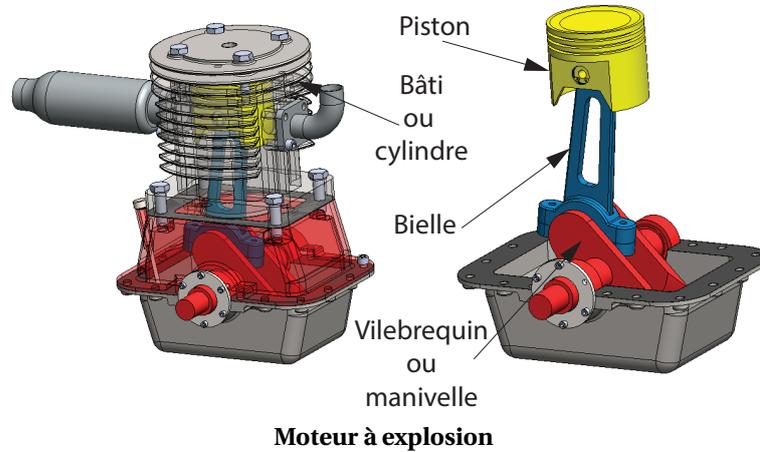
### Définition 6 : Transmission par bielle-manivelle

- **Type de transformation :** translation alternative en rotation continu
- **Réversibilité :** oui
- **Applications technologiques :** Moteurs thermiques, compresseurs, pompes et moteurs hydrauliques
- **Caractéristiques :** La relation entre la rotation de la manivelle et la translation du piston dépend de la longueur de l'excentration sur la manivelle (ou vilebrequin) et la longueur de la bielle.





### Exemple 10 : Application technologique des systèmes de transmission par bielle-manivelle

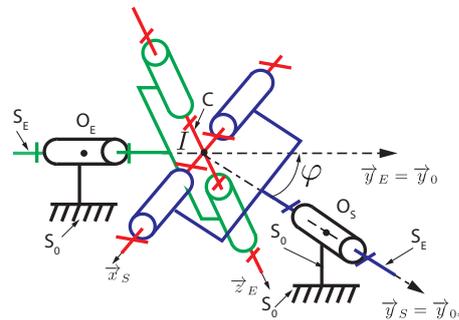


## 5 Joints de transmission ou accouplement mécaniques

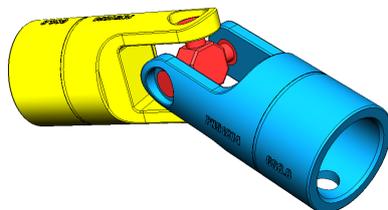


### Définition 7 : Joints de transmission ou accouplement mécaniques

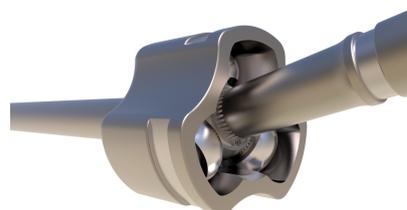
- **Type de transformation :** Rotation autour d'un axe vers une rotation autour d'un autre axe non colinéaire mais concourant.
- **Réversibilité :** oui
- **Applications technologiques :** Transmission automobile.
- **Caractéristiques :** Transmission pas systématiquement homocinétique.



### Exemple 11 : Application technologique des joints de transmission



**Joint Cardan**



**Joint tripode**