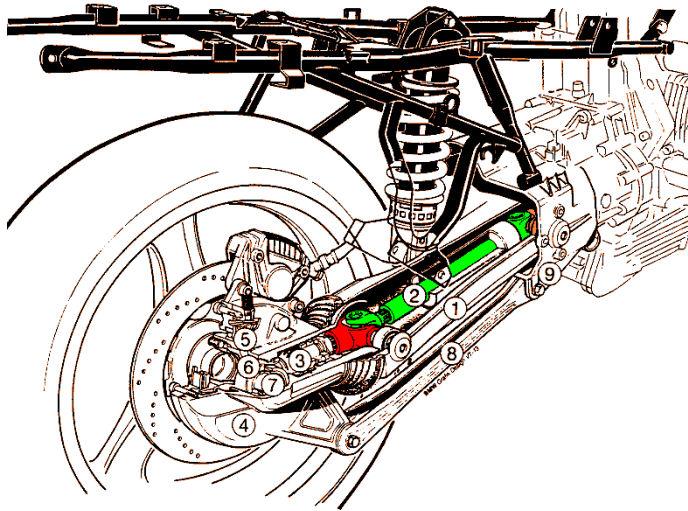


# Transmission de mouvement de rotation

L'étude proposée porte sur la transmission de la puissance mécanique d'un moteur à un récepteur. Par exemple la transmission de puissance de l'ensemble {moteur thermique, embrayage et boîte de vitesses} d'un véhicule à ses roues. D'une motorisation thermique ou électrique d'un bateau à son hélice.



Transmission de puissance de la motorisation à la roue arrière d'une moto.

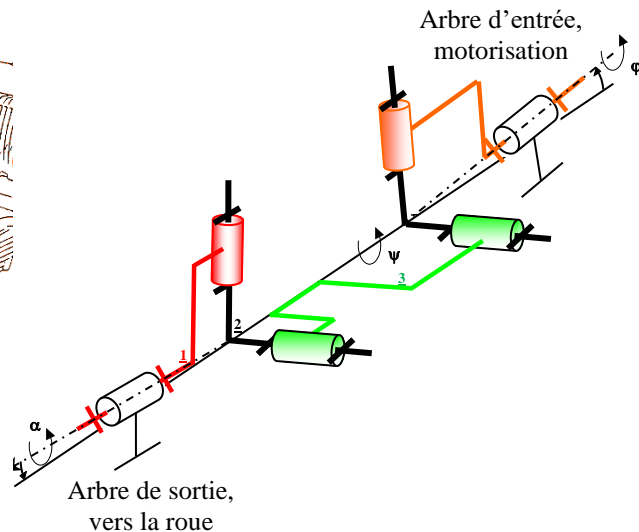


Schéma cinématique de la transmission de puissance d'une moto.

Les solides, appelés arbres, d'entrée et de sortie n'ont pas nécessairement le même axe. Ces axes peuvent être :

- parallèles
- non parallèles mais concourants
- ni parallèles ni concourants

Au cours de ce T.P. nous verrons ces trois cas.

Le mécanisme réalisant ce type de transmission est usuellement appelé joint, joint de cardan par exemple.

Si l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie ont à tout instant une vitesse angulaire égale on dira que le joint est homocinétique.

Pour éviter les vibrations et la fatigue des matériaux, on recherche généralement à réaliser des transmissions homocinétiques.

## Introduction :

Le logiciel de D.A.O. / C.A.O. / F.A.O. – dessin / conception / fabrication assistés par ordinateur Solidworks – et son module de calcul mécanique Méca 3D est du type « modelleur géométrique 3D ». D'autres logiciels équivalents sont disponibles sur le marché (AutoCad, Solid Edge, ...). Ils ont tous comme base le même noyau de calcul D<sup>3</sup>, développé par une entreprise anglaise, et travaillent donc de la même façon, depuis le dessin de chaque pièce élémentaire jusqu'à l'assemblage de celles-ci. Les méthodes que vous allez utiliser sont donc transposables sur les autres logiciels.

Les logiciels professionnels, tels que Catia (logiciel français leader mondial) ou Pro Ingeneur (logiciel américain), ont des fonctionnalités supérieures et travaillent avec des noyaux de calcul développés de manière interne mais ils nécessitent des stations de travail très puissantes dédiées pour ce logiciel et travaillant majoritairement sous un environnement Unix ou Linux. De plus, le prix n'est pas le même !!!

- Pour lancer le logiciel, cliquer deux fois sur l'icône **Solidworks** sur le bureau de Windows :

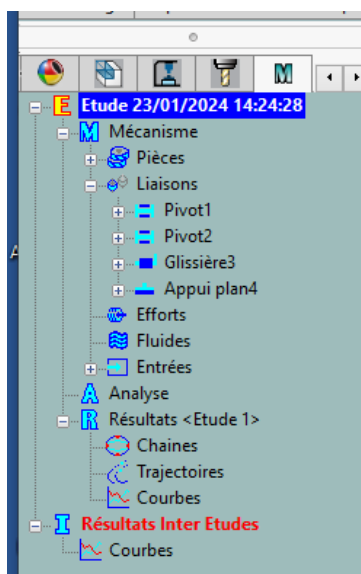
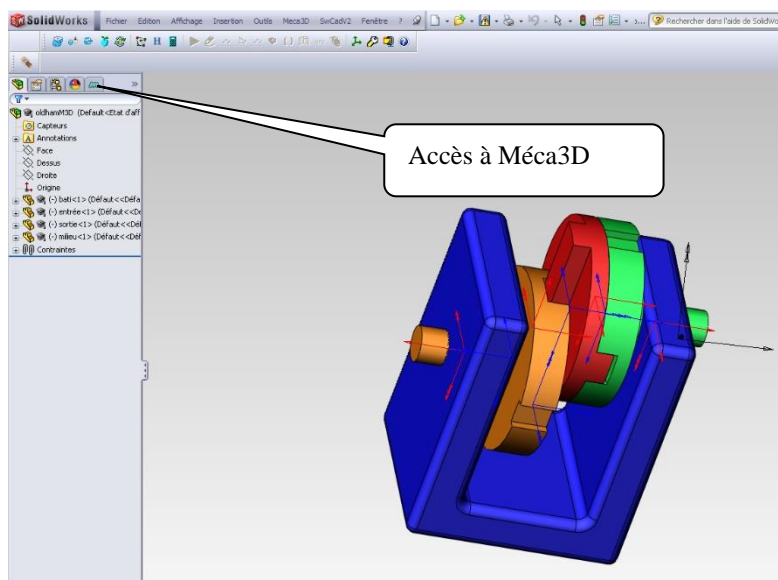


## Etude du joint de Oldham :

- Sélectionner le menu déroulant **Fichier** puis le choix **Ouvrir** : une boîte de dialogue apparaît
- Choisir, dans le répertoire  
P:Echange/faurielprepa/travail/MPSI/Tp  
modélisation cinématique/Transmission mvt  
SW M3D/fichiers SW/Oldham/ (l'ouvrir en  
cliquant deux fois dessus puis choisir de voir  
tous les types de fichiers) le fichier  
**OldhamM3D**.

Vous obtenez l'écran ci-contre (à la version du logiciel près !!!!)

- Accéder au module Méca3D comme indiqué

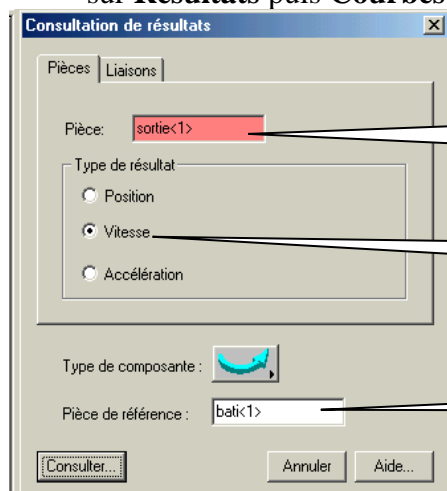


### Procédure de calcul puis d'exploitation par animation du mouvement :

- ✗ *Clic droit sur Analyse. Choisir calcul mécanique puis suivant. Paramétrer ensuite le mouvement d'entrée avec la liaison pivot 1, mouvement imposé (ou uniforme), vitesse : rentrer 60, nombre de position : 200, durée du mouvement 1s.*
- ✗ *Clic sur Calcul, le logiciel calcul les 200 positions pour chaque pièce.*
- ✗ *Clic sur Sortie du Calcul*
- ✗ *Clic droit sur Résultats, choisir simulation et mettre en marche avec le bouton d'avance.*
- ✗ *Vous pouvez tourner le mécanisme à l'écran pour mieux voir tous les mouvements relatifs, pendant le mouvement (clique droit puis sélectionner rotation vue) et en maintenant appuyé sur le bouton gauche de la souris pendant son déplacement*

→ Bien observer le mouvement de glissement de la pièce intermédiaire dans les deux rainures

- Tracer les courbes de vitesse (pour vérifier le caractère homocinétique) en choisissant le menu Clic droit sur **Résultats** puis **Courbes** puis **Simple**. La fenêtre ci-dessous s'affiche



Mettre le curseur dans la case, puis décaler la fenêtre si besoin pour sélectionner la pièce désirée dans le menu de Méca3D.

Sélectionner Vitesse en rotation et afficher sa norme

Sélectionner le solide de référence

- Consulter la courbe en demandant la norme exprimée en tr/min : pour cela aller dans courbes et régler les unités dans le menu config/UnitésI.
- Comparer celle obtenue pour la pièce entrée avec celle obtenue pour la pièce sortie.

**Questions :**

1. *Que vaut la vitesse de rotation de la sortie en tr/min et en rad/s ?*
2. *Ce joint de Oldham est-il homocinétique ?*
3. *Dans quels cas géométriques de transmission de mouvement de rotation est-il utilisé ?*
4. *Quel est son intérêt dans une transmission mécanique ?*

Ce type de joint se retrouve dans le système du labo appelé **Axe Maxpid**. Identifier-le sur le diagramme ibd fourni dans le dossier ressources du système (répertoire /Transmission mvt SW et M3D).

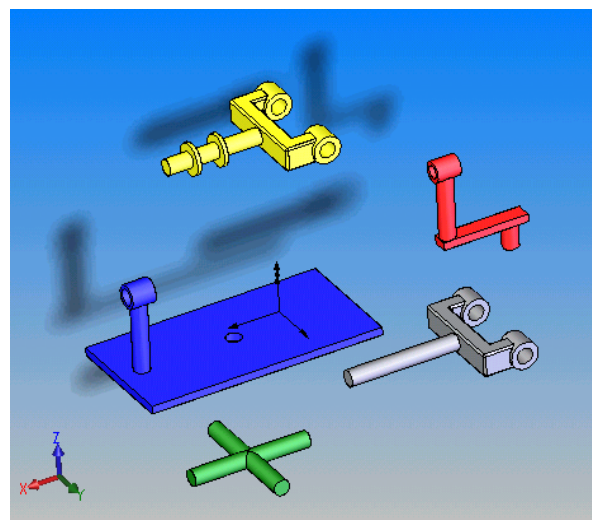
## Les joints de cardan simple et double :

Le joint de Cardan est un moyen classique de transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres non coaxiaux d'axes concourants. Ce joint est très répandu sauf dans la plupart des automobiles modernes où le joint Tripode est préféré à cause des grands débattements angulaires et linéaires possibles (on continue pourtant à parler du « Cardan de la transmission »).

Les pièces constituant le joint de cardan ont été précédemment dessinées. Votre travail va consister à les assembler pour créer le mécanisme. Il sera alors possible d'animer ce système par le logiciel de calcul mécanique Méca3D inclus dans Solidworks pour en vérifier le caractère fortement non homocinétique.

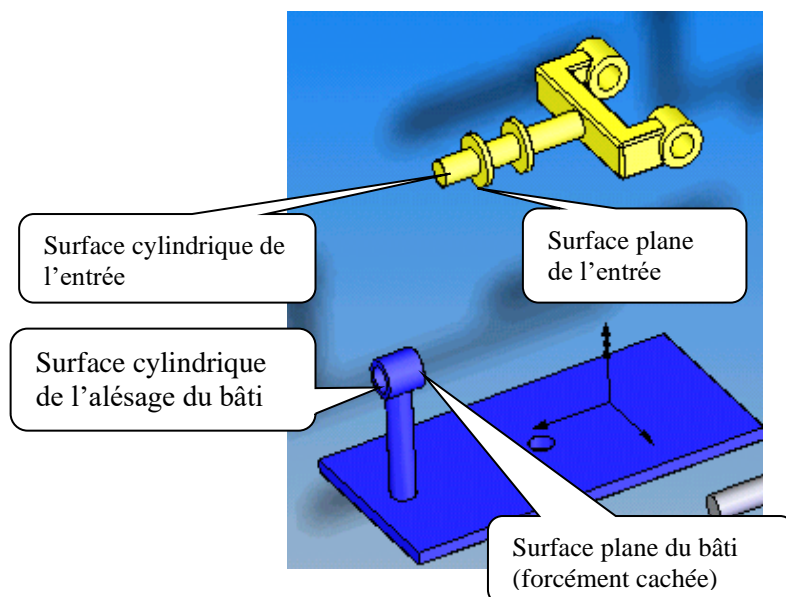
- Fermer (sans enregistrer) le fichier Oldham puis Ouvrir (menu déroulant **Fichier** puis **Ouvrir**) le fichier **cardan simple** dans le répertoire **Cardan simple**.

Vous obtenez les différentes pièces constituant un joint de cardan simple qu'il va falloir assembler, c'est à dire imposer des contraintes géométriques entre les surfaces des différentes pièces :





### 1. mise en place de l'assemblage pour le joint de Cardan simple

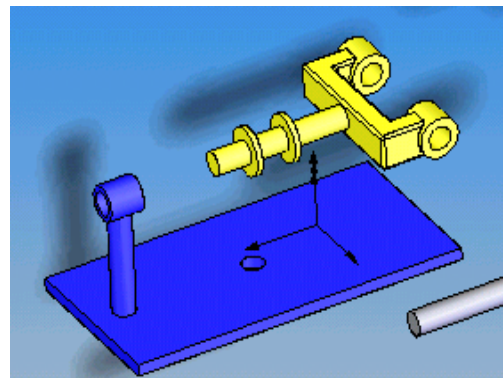
Réaliser l'assemblage consiste à placer les pièces les unes par rapport aux autres en imposant ce que l'on nomme des contraintes (menu Assemblage/**contrainte**). Ces contraintes sont d'ordre géométrique et reviennent à imposer un positionnement relatif entre deux surfaces de deux pièces distinctes. On utilisera ici, principalement la coaxialité de deux surfaces cylindriques et l'alignement de deux plans.





Veillez à bien respecter les différentes étapes ci-dessous :

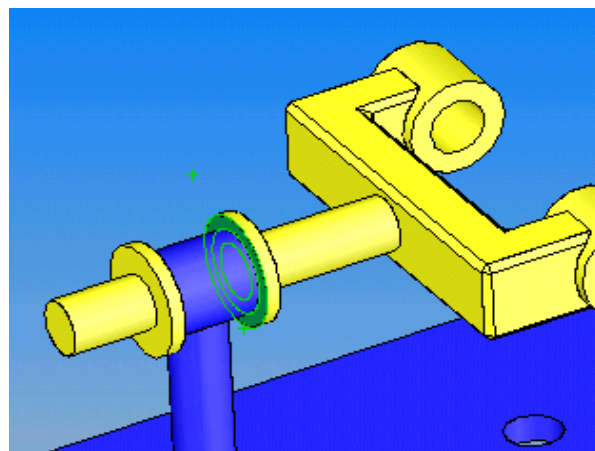
- **Imposer une coaxialité entre La surface cylindrique de l'alésage du bâti et la surface cylindrique de l'entrée :**

Pour cela aller dans le menu **contrainte**, sélectionner l'une des deux surfaces puis l'autre (quand le curseur passe sur une surface il prend cette forme :  ). Vérifier que ces surfaces soient **coaxiales** (voir menu proposé à gauche de la zone graphique). Les deux surfaces se positionnent de tel sorte qu'elles respectent la contrainte donnée et **valider** en cliquant sur  . Vous obtenez ceci :



- **Imposer une coïncidence entre La surface plane du bâti et la surface plane de l'entrée (voir figure ci-dessus):**

Pour cela aller dans **contrainte**, sélectionner l'une des deux surfaces puis l'autre (quand le curseur passe sur une surface il prend cette forme :  ). Les deux surfaces n'étant pas « sélectionnables » sur la même vue, sélectionner la première, tourner la vue (en maintenant appuyée la roulette de la souris) de façon à pouvoir sélectionner la seconde surface. La fenêtre de coïncidence apparaît à gauche, vérifier la **coïncidence**. Les deux surfaces se positionnent de telle sorte qu'elles respectent en plus la nouvelle contrainte donnée et valider en cliquant sur  . Vous obtenez la figure ci-dessus à droite.



L'entrée est désormais totalement assemblée avec le bâti.

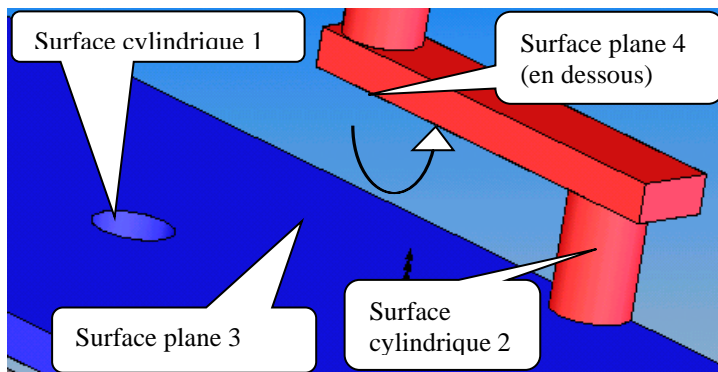
Vous pouvez le vérifier en sélectionnant le menu **Déplacer un composant**.

- **Assembler ensuite la pièce de réglage avec le bâti :**

Pour cela, et en vous inspirant fortement de la démarche ci-dessus, imposer **dans l'ordre**, les contraintes ci-dessous :

Coaxialité entre les surfaces cylindriques 1 et 2 :

Coïncidence entre les surfaces planes 3 et 4 :



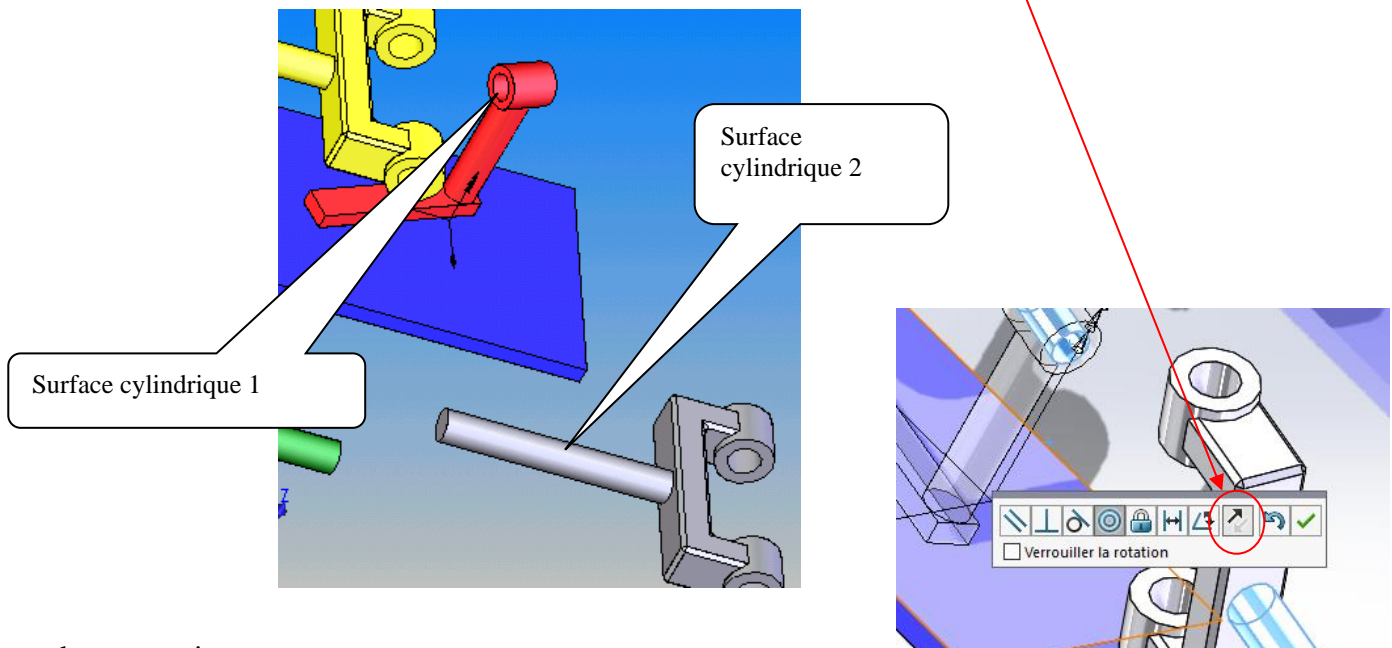
Déplacer ensuite la pièce réglage de la façon suivante (pour obtenir un positionnement relatif proche de celui ci-dessus). Menu **Déplacer un composant**.



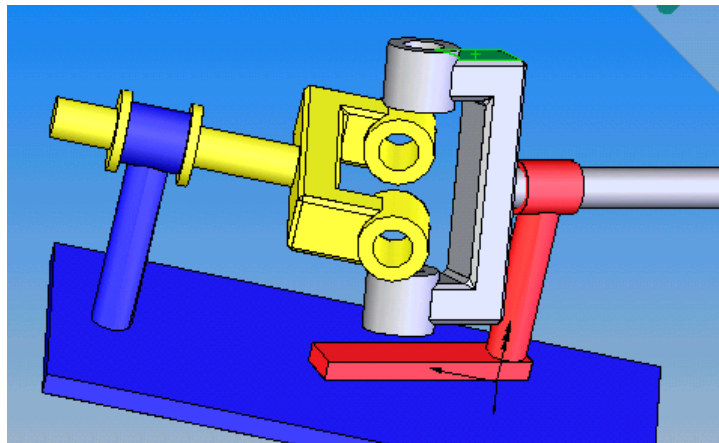
- **Assembler ensuite la pièce de réglage avec la sortie :**

Imposer les contraintes ci-dessous :

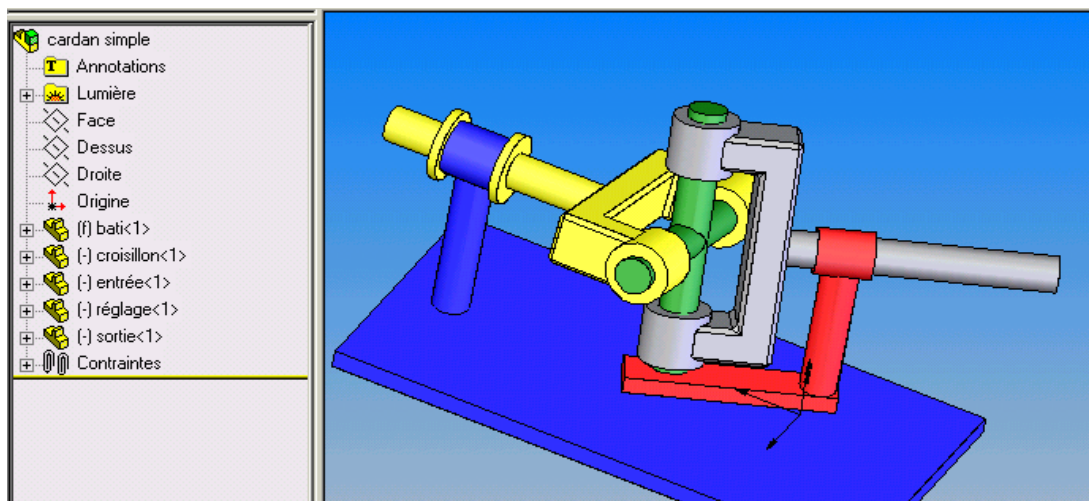
Coaxialité entre les surfaces cylindriques 1 et 2 : n'oubliez pas d'inverser l'alignement des contraintes



Vous obtenez ceci :



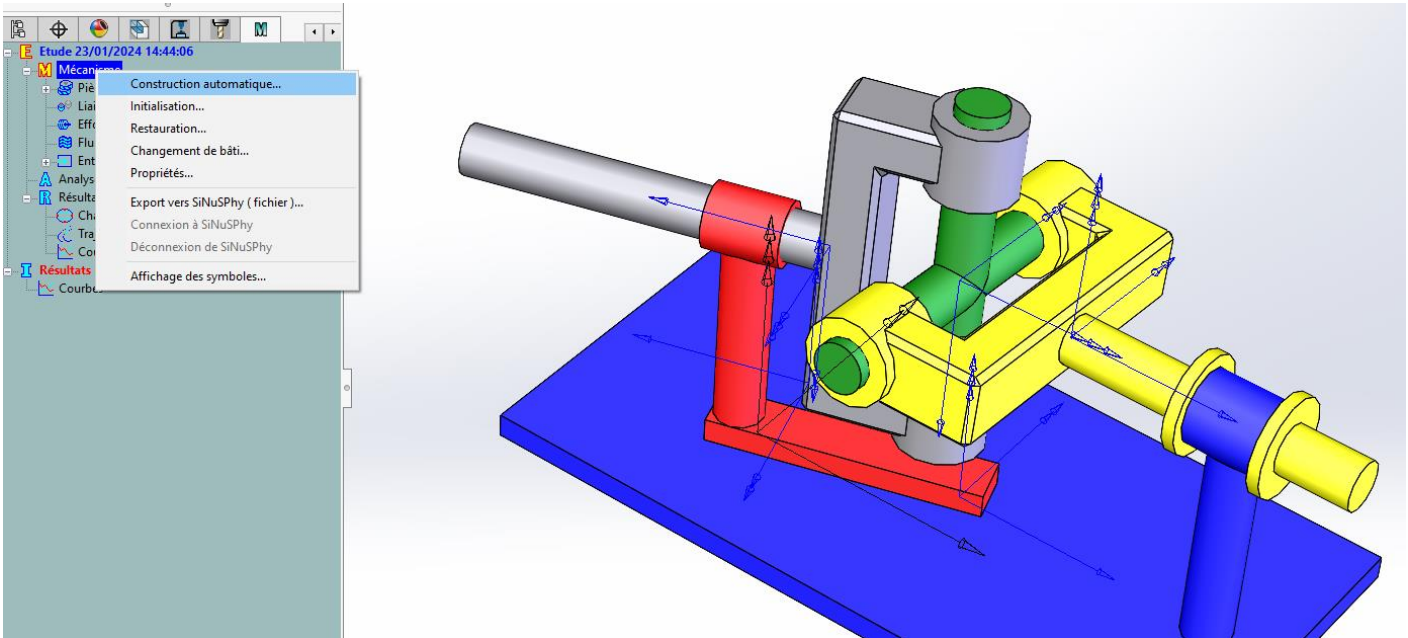
Placer enfin les deux dernières coaxialités évidentes entre le croisillon et l'entrée puis entre le croisillon et la sortie. Vous obtenez ceci (sans doute après quelques déplacements) :



Ne pas mettre plus de contraintes que celles qui vous sont données car sinon le logiciel peut ne pas trouver de solution au problème géométrique que vous lui imposez. Dans ce cas si vous voulez supprimer une contrainte, aller dans la fenêtre de gauche sélectionner la contrainte (clic droit) à supprimer et supprimer la.

## 2. calcul mécanique du joint de Cardan simple

- Cliquer (bouton droit) sur le menu **Mécanisme** du menu **Méca3D** puis choisir **Construction automatique** et, oh surprise !, le logiciel reconnaît tout seul toutes les pièces et les liaisons précédemment définies par des surfaces en contact (aller voir dans le menu **Liaison** de **Méca3D**).



- Choisir **Analyse** (bouton droit) puis **Calcul Mécanique**.

On a deux paramètres d'entrée (deux degrés de mobilités).

Les paramètres sont :

- le paramètre de mouvement angulaire dans la liaison pivot Entrée / Bâti
- le paramètre de mouvement angulaire dans la liaison pivot Réglage / Bâti

Choisir des vitesses imposées pour les deux mouvements d'entrée avec les quantités suivantes:

- Nombre de position de calcul : 200
- pour la pivot Entrée / Bâti : 60 tr/min
- pour la pivot Réglage / Bâti : 0 tr/min (pièce de réglage fixé dans sa position)
- Lancer le **calcul**, Cliquer sur **Fin** puis dans **Résultat** du menu Méca3D (clic droit), demander **Simulation**
- Animer le mécanisme.

**Travail demandé :** En utilisant le document annexe1 qui donne le paramétrage du schéma cinématique d'un joint de cardan simple,

5. Définir les paramètres d'entrée et de sortie du joint de cardan et déterminer la loi entrée/sortie géométrique (relation entre angle de rotation d'entrée et angle de rotation sortie).
6. Déterminer la loi entrée/sortie cinématique (relation entre vitesse de rotation d'entrée et vitesse de rotation sortie).
7. Conclure sur le caractère homocinétique ou non du joint de cardan simple.
8. Vérifier que le système n'est pas homocinétique dans le cas général (c'est à dire quand les deux axes de rotation ne sont pas alignés) en traçant les courbes (débrouillez -vous seul, on pourra s'inspirer des exemples précédents) de vitesse de rotation de l'entrée/bâti et de la sortie/bâti et en les comparant.
9. Evaluer le coefficient d'irrégularité du joint de cardan ( $\text{coeff} = \frac{|\omega_e - \omega_{\text{ext}}|}{\omega_e}$ ) pour un angle Réglage / Bâti de l'ordre de  $30^\circ$
10. A quelle liaison normalisée correspond un joint de cardan ?

### 3. le joint de Cardan double

- Ouvrir le fichier **Cardan double** dans le répertoire **cardan double**.

En vous inspirant des exemples étudiés préalablement, faire l'étude cinématique de ce système.

La mobilité est de trois. Les paramètres d'entrée sont :

- **angle** de la pivot « réglage 1 / bâti »
- **angle** de la pivot « réglage 2 / bâti »
- **angle** de la pivot glissant « entrée / réglage 1 ».
- Sélectionner, comme précédemment, une **Étude géométrique**. Prendre, pour la liaison entrée / réglage 1, une position initiale de  $0^\circ$  et finale de  $360^\circ$  avec 360 positions .

Faire l'étude dans les cas suivants pour les deux angles fixes de réglage 1 et 2 / bâti (position initiale = position finale). On pourra faire une simulation. En traçant les courbes adéquats (on pourra demander la courbe simple de position angulaire dans la liaison sortie/réglage2 et la comparer avec son homologue dans la liaison entrée/réglage1), indiquer quand le système est homocinétique :

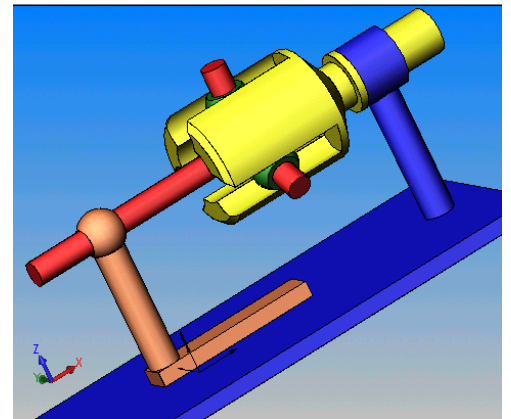
#### Questions et travail demandé:

11. Compléter le tableau du document réponse sur le caractère homocinétique ou non du double joint de cardan
12. Conclure quant à l'avantage du double cardan par rapport au cardan simple.
13. Quelles sont les conditions d'utilisation du joint de cardan double pour avoir une transmission quasi homocinétique ?

### Le joint tripode coulissant :

Les joints de Tripode (il en existe deux types) sont très utilisés à la place du Cardan dans les automobiles actuelles à roues avant motrices pour transmettre le mouvement de rotation du moteur aux roues.

Les deux joints présentent le même principe de fonctionnement, mais sont optimisés de manière différente. Le joint situé à la sortie de la boîte de vitesses est prévu pour avoir un débattement angulaire assez faible et permettre un coulisement aisé. Le joint de roues permet un grand débattement angulaire et son coulisement est empêché par un dispositif de rappel à ressort. L'association des deux joints permet un fonctionnement homocinétique et une souplesse sur les rotations des roues que ne permet pas le joint de Cardan. Même lorsque les roues sont fortement braquées, la voiture continue à avancer à vitesse régulière.



- Ouvrir le fichier **TripodeM3D** dans **Tripode** et observer son fonctionnement en lançant une simulation après avoir effectué le calcul mécanique avec une pivot entrée à 60tr/min, 200 positions pendant 1s.

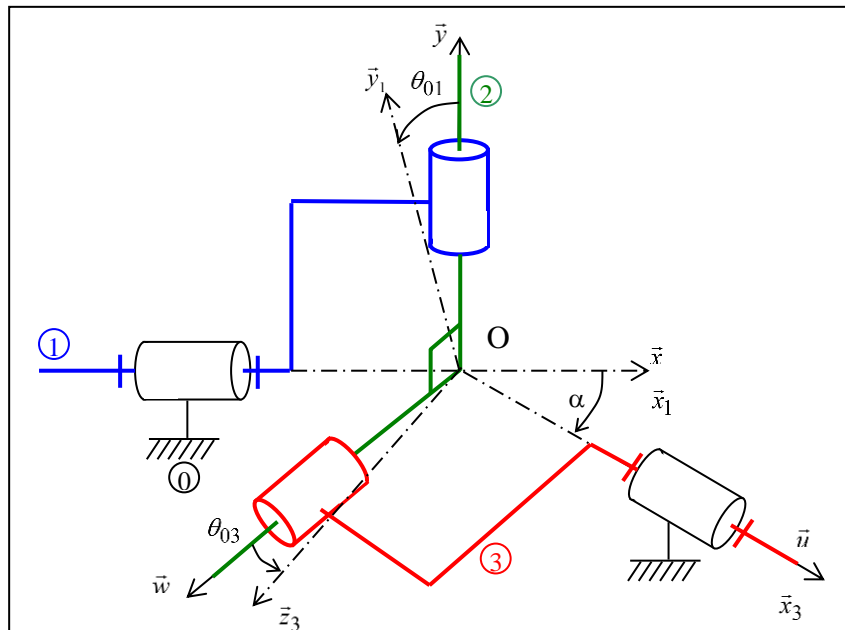
#### Travail demandé :

14. Modéliser les liaisons et donner le graphe des liaisons de ce mécanisme

## DOCUMENT ANNEXE 1

## Paramétrage du schéma cinématique :

- On définit deux repères fixes liés au bâti et déduits l'un de l'autre par une rotation d'angle **constant**  $\alpha$  autour de  $(O, \vec{y})$ . Ces deux repères sont  $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  et  $(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ .
- On définit deux repères mobiles :
  - L'un attaché à l'arbre d'entrée **1** et déduit de  $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  par une rotation d'angle  $\theta_{01}(t)$  autour de  $(O, \vec{x})$ . c'est le repère  $R_1(O, \vec{x}, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ .
  - L'autre attaché à l'arbre de sortie **3** et déduit de  $(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$  par une rotation d'angle  $\theta_{03}(t)$  autour de  $(O, \vec{u})$ . c'est le repère  $R_3(O, \vec{u}, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ .



Pour obtenir la loi entrée/sortie cinématique :

- Traduire par une relation vectorielle l'orthogonalité des deux axes qui composent le croisillon. Cette relation fera intervenir des vecteurs appartenant aux bases mobiles du paramétrage.
- En utilisant la relation vectorielle précédente, déterminer la loi entrée-sortie géométrique du mécanisme c'est-à-dire la relation entre les paramètres angulaires  $\theta_{01}(t)$  et  $\theta_{03}(t)$ .
- En dérivant par rapport au temps la relation précédente, déterminer la loi entrée-sortie cinématique du mécanisme, c'est-à-dire la relation entre la vitesse de rotation de la sortie  $\omega_{03}(t)$  et la vitesse de rotation de l'entrée  $\omega_{01}(t)$ .

La fonction précédente présente des extremum notés  $\omega_{ext}$ . L'irrégularité d'un joint de cardan peut être caractérisée par le coefficient suivant :  $coeff = \frac{|\omega_e - \omega_{ext}|}{\omega_e}$  avec  $\omega_e$  la vitesse de rotation d'entrée. Ce coefficient dépend bien évidemment de l'angle  $\alpha$



## DOCUMENT ANNEXE 2

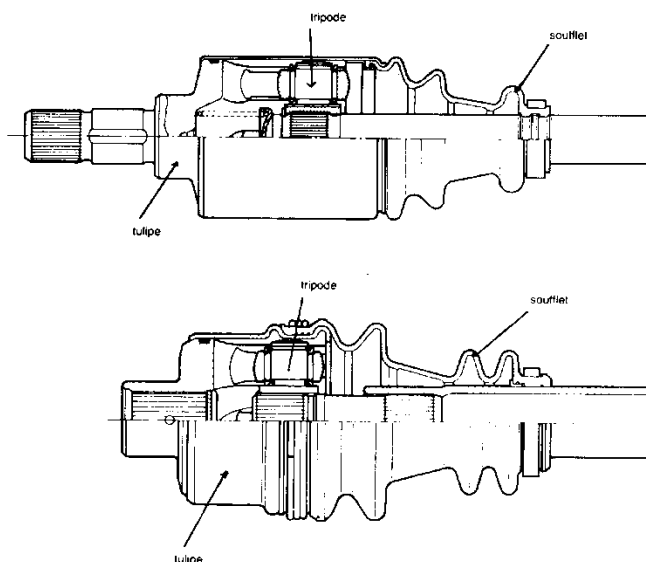
## description d'un joint homocinétique à libre coulisement "GI"

Il est composé de :

un entraîneur central ou tripode, muni de trois tourillons radiaux portant des galets sphériques tournant sur une couronne d'aiguilles; ce tripode est calé sur l'arbre de transmission par un assemblage démontable à cannelures, une pièce extérieure ou tulipe, solidaire d'un arbre cannelé, qui porte sur sa périphérie encochée des chemins de roulement à sec-

tion circulaire pour recevoir les galets sphériques du tripode et assurer ainsi la transmission du couple, la rotation sous angle, le libre coulisement et le guidage radial entre les deux arbres.

Un soufflet élastique protège le mécanisme et retient le lubrifiant à vie.



## description d'un joint homocinétique à grande angularité "GE"

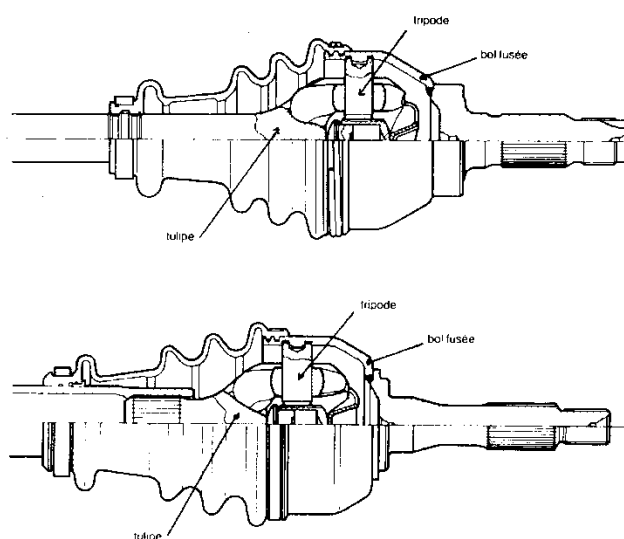
De même principe que le joint GI, le GE est composé de :

un entraîneur central ou tripode muni de trois tourillons radiaux portant des galets sphériques; ce tripode est fixé par les extrémités de ses tourillons à l'intérieur d'un boî portant la fusée d'entraînement de la roue.

une pièce encochée ou tulipe solidaire de l'arbre de transmission, qui porte sur sa périphérie des chemins de roulement à section

circulaire pour recevoir les galets sphériques du tripode et assurer ainsi la transmission du couple, la rotation sous angle et le guidage radial entre les deux arbres.

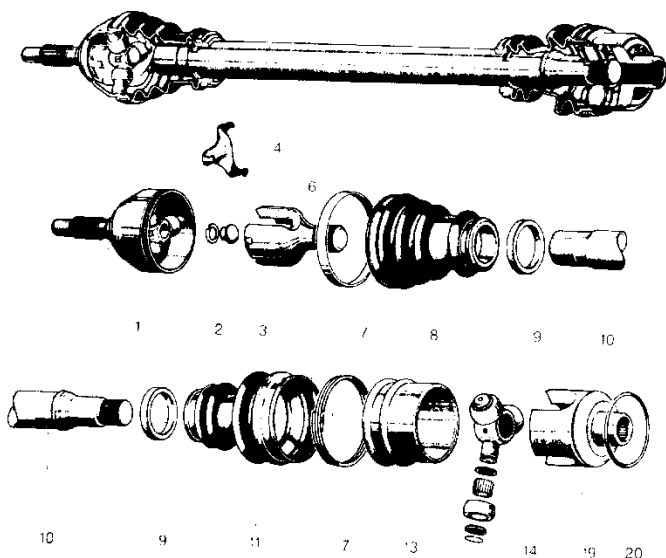
La liaison axiale de ces deux arbres résulte de l'assemblage précontraint de la sphère centrale du tripode en deux parties concaves formées dans la tulipe. Cette disposition assure un fonctionnement doux et exempt de jeu pour toute la durée du véhicule.



## transmission à joints tripodes

- |                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 - Boî fusée                     | 11 - Soufflet GI             |
| 2 - Cale                          | 12 - Entretoise              |
| 3 - Champignon                    | 13 - Capot tôle              |
| 4 - Étoile d'ancrage              | 14 - Bloc tripode            |
| 5 - Arbre plein (barre tulipe GE) | 15 - Circlips                |
| 6 - Tulipe GE                     | 16 - Coupelle                |
| 7 - Bague                         | 17 - Ressort                 |
| 8 - Soufflet GE                   | 18 - Tulipe à arbre cannelée |
| 9 - Bracelet                      | 19 - Tulipe brochée          |
| 10 - Arbre tubulaire de liaison   | 20 - Joint torique           |

## TRANSMISSION GE-GI (liaison par tube)



## exemples d'applications

