

# Etude comparative de trois Systèmes de transformation de Mouvement.

## Introduction :

Nous allons comparer trois systèmes très classiques de transformation de mouvement au moyen de deux objets industriels :

- Un micromoteur d'avion, qui va servir à étudier le système bielle manivelle.
- Un moulinet de pêche, qui va servir à étudier le système à excentrique et le système à came.

Ces trois systèmes de transformation de mouvement sont capables de transformer un mouvement de rotation continue en un mouvement de translation alternative et inversement, ce qui les qualifie de systèmes **réversibles**.

**Remarque 1 :** Pour un système donné, l'énergie d'entrée détermine le (ou les) paramètre(s) d'entrée(s). De même, l'énergie de sortie détermine le (ou les) paramètre(s) de sortie(s).

**Remarque 2 :** La vitesse linéaire du point P, lié à la pièce **2** par rapport à la pièce **1**, se note :  $\overrightarrow{V}(P \in 2/1)$  et s'exprime en  $m/s$ .

### Remarque 3 :

Une vitesse angulaire (Exemple : mouvement de rotation de la base  $b_2$  liée à la pièce **2** par rapport à la base  $b_1$  liée à la pièce **1**), se note :

- $\overrightarrow{\Omega}(b_2 / b_1)$  quand elle est exprimée en  $rad/s$ . (les projections sont notées :  $\omega$ ).
- $\overrightarrow{N}(b_2 / b_1)$  quand elle est exprimée en  $tr/mn$ . (les projections sont notées :  $N$ ).

**Remarque 4 :** Vous allez vous servir pendant cette séance du logiciel **SOLIDWORKS**. Pour créer complètement un mécanisme et exploiter sa cinématique sous ce logiciel, il est impératif de réaliser les phases suivantes :

1. **Dessins** des pièces au moyen d'**esquisses**.
2. **Assemblages** des pièces.
3. Utilisation du module de mécanique appelé : **MECA 3D** qui permet :
  - De déclarer les **liaisons** après avoir identifié les pièces.
  - De déclarer la **géométrie** ou la **cinématique attendue** pour ce mécanisme.
  - **D'exploiter les résultats**. (tracé de courbes, etc.....)

## Etude du système bielle-manivelle :

Ce système a été utilisé pour réaliser un micro-moteur d'avion décrit au moyen du plan d'ensemble (voir sur le répertoire courant). Ce dessin d'ensemble a été colorié de façon à vous simplifier sa compréhension, (les pièces solidaires entre elles (même classe d'équivalence cinématique), sont de la même couleur et les pièces qui ont un mouvement relatif, sont de couleurs différentes).

Afin de parfaire cette compréhension, une partie du mécanisme a été dessinée au moyen du logiciel **SOLIDWORKS**.

Le dessin a été limité à :

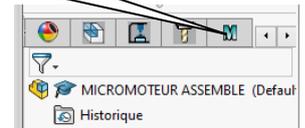
- Une partie du bâti (pièces : **1**, **2**, **3** de couleur grise).
- Une partie de l'hélice avec le vilebrequin (pièces : **4**, **19**, **20**, **21**, **22** de couleur rouge).
- Le piston (pièce : **6** de couleur bleue).
- La bielle (pièce : **5** de couleur verte).

Les pièces de ce mécanisme ont ensuite été assemblées. (les phases 1 et 2 de la remarque 4 ont donc été réalisées).

Vous allez réaliser les étapes de la phase 3 pour animer ce mécanisme :

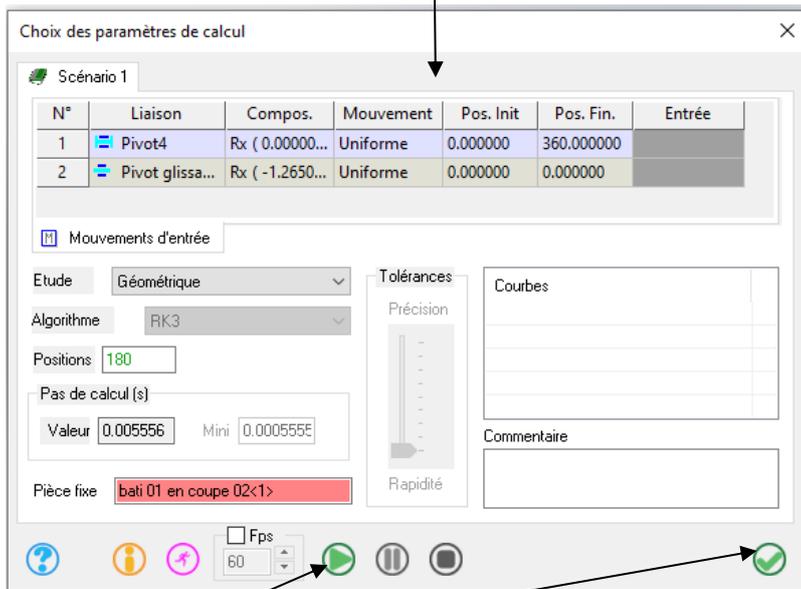
- Pour lancer le logiciel, cliquer deux fois sur l'icône **Solidworks** sur le bureau de Windows : 
- Sélectionner le menu déroulant **Fichier** puis le choix **Ouvrir** : une boîte de dialogue apparaît
- Choisir, dans le répertoire *P:\Echange\faurielprepa/travail/MPSI/Tp modélisation cinématique/Transformation mvt SW M3D/fichiers SW/micro-moteur/* (l'ouvrir en cliquant deux fois dessus puis choisir de voir tous les types de fichiers) le fichier **micro moteur assemblé** .
- Accéder au module Méca3D comme indiqué ci-contre, vous obtenez cette fenêtre sur la partie gauche de l'écran .

Accès à Méca3D



Afin de réaliser la phase 3 de la remarque 4,

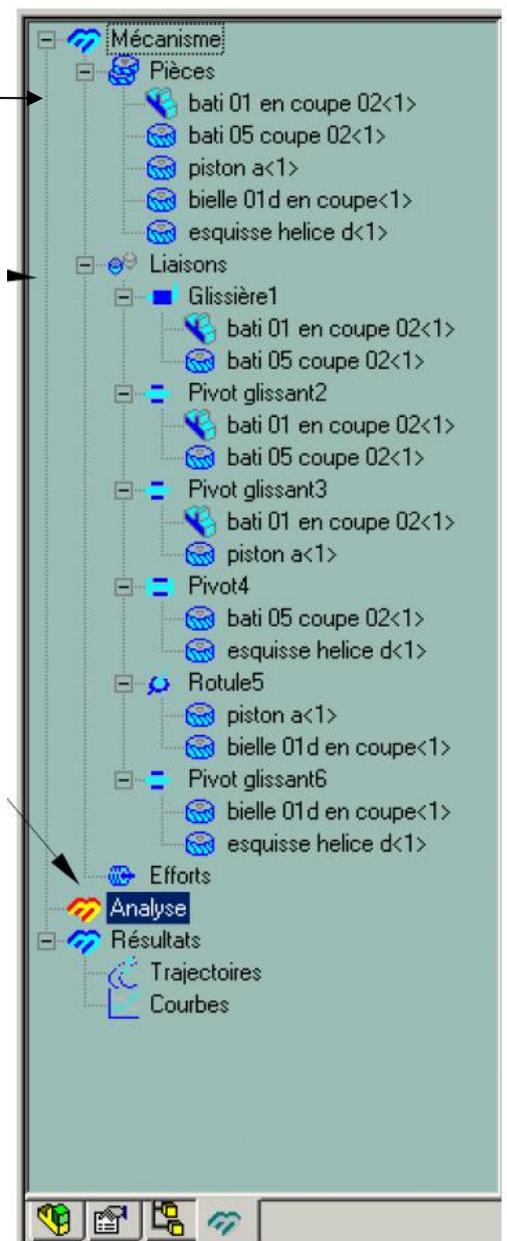
- contrôlez la structure du mécanisme
- cliquez avec le bouton droit sur **Analyse** puis sur **Calcul Mécanique**.
- puis cliquez sur **Continuez** et vérifiez les données suivantes :



- cliquez sur **Calcul** et **Fin**.

dans le menu principal de MECA 3D,

- cliquez alors avec le bouton droit sur **Résultats** puis sur **Animation**, et sur le bouton lecture.



### Questions et travail demandé :

Dans le cadre de son utilisation :

1. Définissez précisément le paramètre géométrique d'entrée ?
2. Définissez précisément le paramètre géométrique de sortie ?
3. Comment peut-on caractériser le mouvement vertical du piston ?
4. Comment peut-on caractériser le mouvement du vilebrequin ?

Nous allons maintenant nous intéresser à la cinématique de ce piston. Dans le menu principal de MECA 3D

· cliquez sur **Analyse** puis sur **Calcul mécanique**, sur **Suivant** et entrez les données suivantes pour l'analyse **cinématique** :

- vitesse de rotation du vilebrequin : 60 tr/min
- vitesse de rotation du piston : 0 tr/min
- 360 positions avec une durée de 2 secondes
- Le bâti comme référentiel fixe

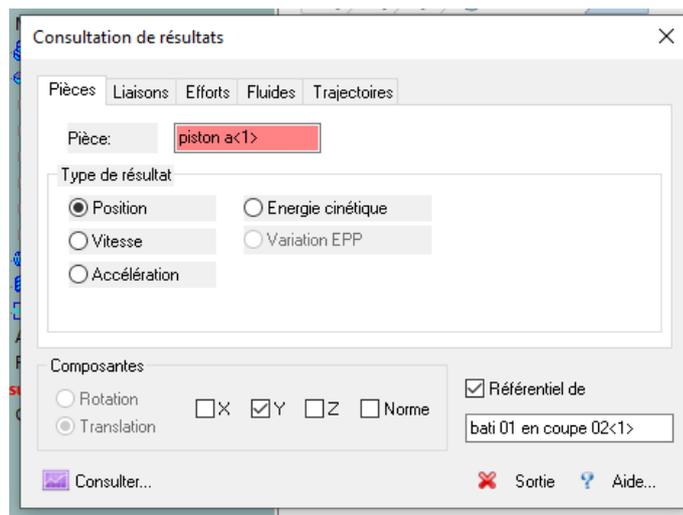
· Cliquez sur **Calcul** et **Fin**.

Vous allez maintenant tracer les courbes représentatives de ce mouvement vertical du piston par rapport au bâti, en vous aidant du logiciel.

Pour cela, dans le menu principal de MECA 3D,

· cliquez sur **Résultats** puis **Courbes** (vérifiez que les unités sont celles du système international) puis cliquez sur **Simple**.

· rentrez les données nécessaires



**Questions et travail demandé :**

5. *Imprimez les courbes de déplacement, de vitesse et d'accélération du piston*

En utilisant le document annexe qui donne le paramétrage du schéma cinématique d'un système bielle-manivelle,

6. *Exprimer les lois entrée/sortie géométrique et cinématique.*
7. *Les expressions obtenues sont-elles en accord avec les tracés sous SolidWorks ?*

On désigne par « **Course** » la distance qui sépare la position haute de la position basse du piston.

**Question :**

8. *Combien vaut la course du piston dans ce cas (servez-vous du logiciel !). Représenter en couleur la course sur le plan du micro-moteur du document réponses.*

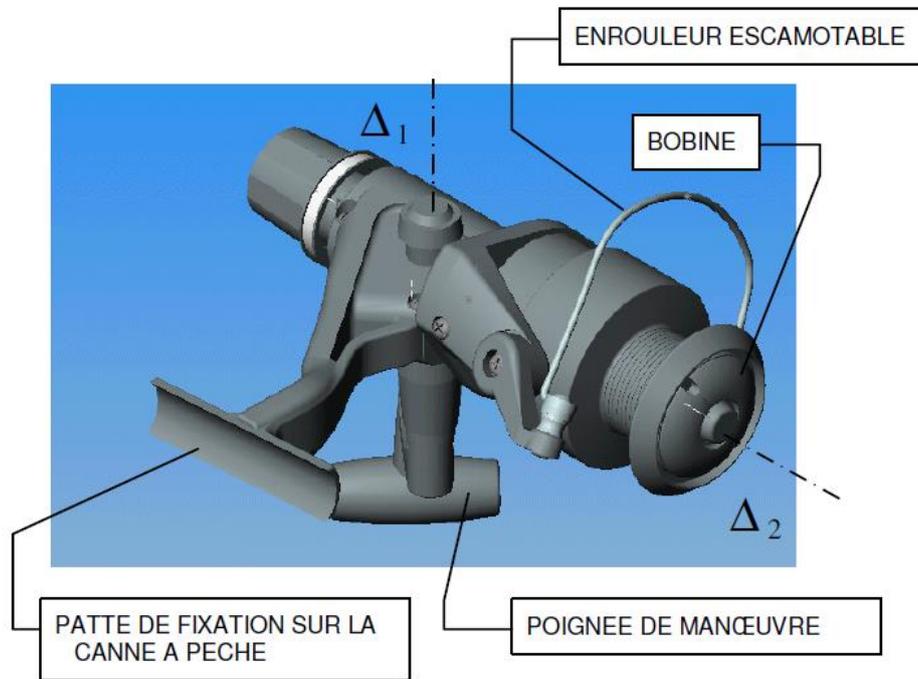
· **Fermer sans enregistrer** le fichier solidworks.

## Etude d'un système à excentrique:

Vous allez maintenant étudier un autre mécanisme, qui transforme également une rotation continue en une translation alternative.

Ce mécanisme constitue l'une des deux chaînes fermées d'un moulinet de pêche, qui sont :

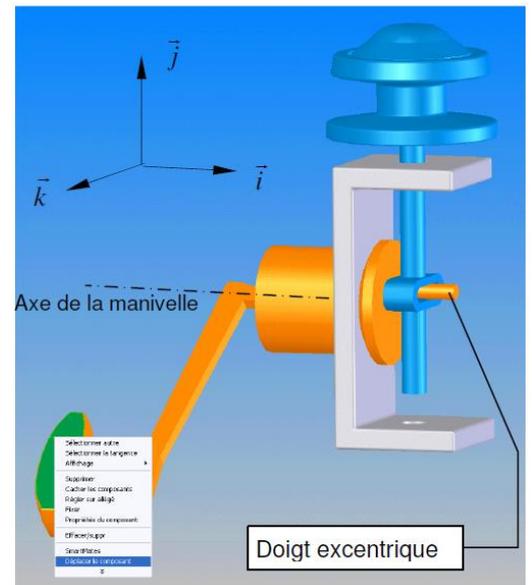
- **Première chaîne** : En tournant la poignée de manœuvre à vitesse continue autour de l'axe  $\Delta_1$ , le pêcheur peut animer l'enrouleur escamotable d'un mouvement de rotation autour de l'axe  $\Delta_2$ , perpendiculaire à l'axe  $\Delta_1$  et parallèle à l'axe de la canne à pêche.
- **Deuxième chaîne** : En tournant la poignée de manœuvre à vitesse continue autour de l'axe  $\Delta_1$ , le pêcheur peut animer la bobine d'un mouvement de translation alternatif suivant la direction  $\Delta_2$



Afin de faciliter la compréhension du fonctionnement de ces deux chaînes, lancer le clip vidéo d'un moulinet sensiblement analogue à celui que l'on va étudier, en double cliquant sur le fichier depuis le répertoire courant : **moulinet avec excentrique**

Nous allons donc nous intéresser à la chaîne qui transforme la rotation continue de la poignée en une translation alternative de la bobine du moulinet (voir plans d'ensemble où seules les pièces concernées par notre étude ont été coloriées). Afin de finaliser la compréhension de cette chaîne, ouvrez le logiciel SOLIDWORKS puis le fichier d'assemblage : **assemblage moulinet**

Placez alors le mécanisme dans une position sensiblement identique à celle de la figure ci-contre,  
 · Sélectionnez sur le menu **Assemblage/Déplacer le composant**. Il ne vous reste qu'à tourner cette poignée pour animer la chaîne.

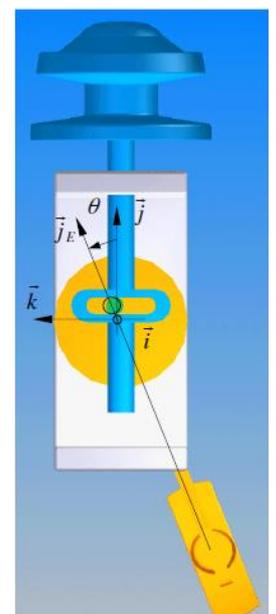
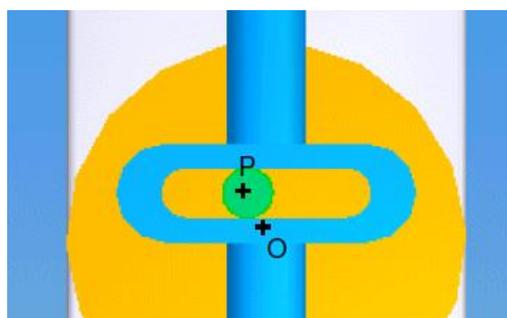


**Question :**

On appelle « excentricité » la distance **e** entre l'axe de la manivelle et l'axe du doigt excentrique. Ici **e** vaut 5 mm.

9. combien vaut la course de la bobine ? Représenter en couleur la course sur le plan du moulinet du document réponses

En se plaçant en face du vecteur unitaire  $\vec{i}$ , on obtient la figure ci-contre (en modèle plan) dans laquelle le doigt excentrique a été colorié en vert. On désigne par O un point de l'axe de rotation de la manivelle (voir ci-dessous), par P un point situé sur l'axe du doigt excentrique, et l'on appelle :  $y = \overrightarrow{OP} \cdot \vec{j}$



**Travail demandé :**

10. Ecrire la loi :  $y = f(\theta)$  en faisant intervenir  $e$

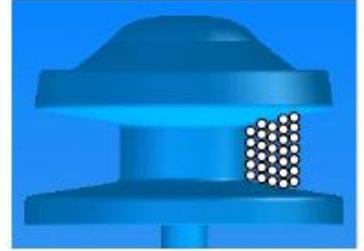
11. Donner l'expression de  $\dot{y}(t)$  en fonction de  $\theta(t)$  (sachant que  $\dot{\theta} = 60 \text{ tr/min}$ ). Tracez son allure en fonction du temps.

Si l'on suppose que le pêcheur tourne la poignée à vitesse angulaire constante, ce qui a pour effet de faire tourner l'enrouleur escamotable d'un mouvement de rotation à vitesse angulaire constante autour de l'axe  $\Delta_2$ .

**Travail demandé :**

12. Dessinez sur la bobine de la feuille réponse l'enroulement du fil. Justifiez.

Exemple : Si l'enroulement du fil est parfait, vous réaliserez le dessin :

**Questions et travail demandé :**

13. Quelle conséquence peut avoir un mauvais enroulement du fil sur la bobine ?

14. Si le moulinet était conçu à partir du système bielle-manivelle, le problème précédent se produirait-il ?

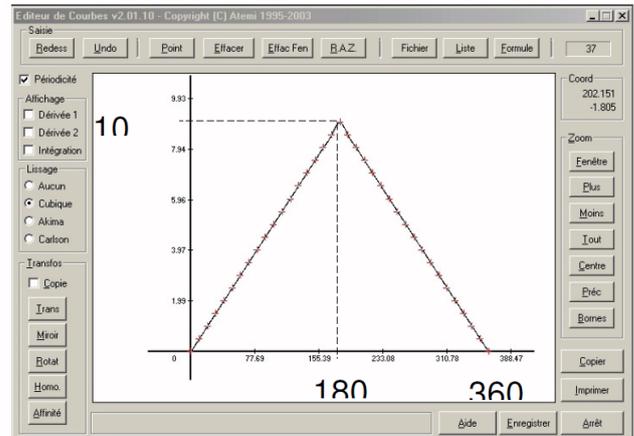
15. Quelle sorte de vitesse de translation doit avoir la bobine pour que cet inconvénient ne se produise pas ? Donner le tracé cette vitesse de translation en fonction de  $t$  (avec  $\dot{\theta} = \text{cste}$ )

· **Fermer sans enregistrer** le fichier solidworks.

**Etude d'un système à came :**

Afin de résoudre le problème posé par le système de transformation de mouvement précédent, on se propose d'utiliser un système à came, dont la fonction globale est de transformer un mouvement en acceptant une loi entrée-sortie définie par l'utilisateur.

Nous allons donc utiliser un système qui transforme une rotation continue en une translation alternative dont la courbe du déplacement (qui sera celui du mouvement vertical de la bobine en fonction du temps est la suivante : Comme on le voit sur cette courbe, la bobine va d'abord monter puis redescendre lors d'une rotation d'un tour.

**Questions et travail demandé :**

16. Quelle particularité (en montée ou en descente), la vitesse de translation de la bobine va-t-elle avoir ?

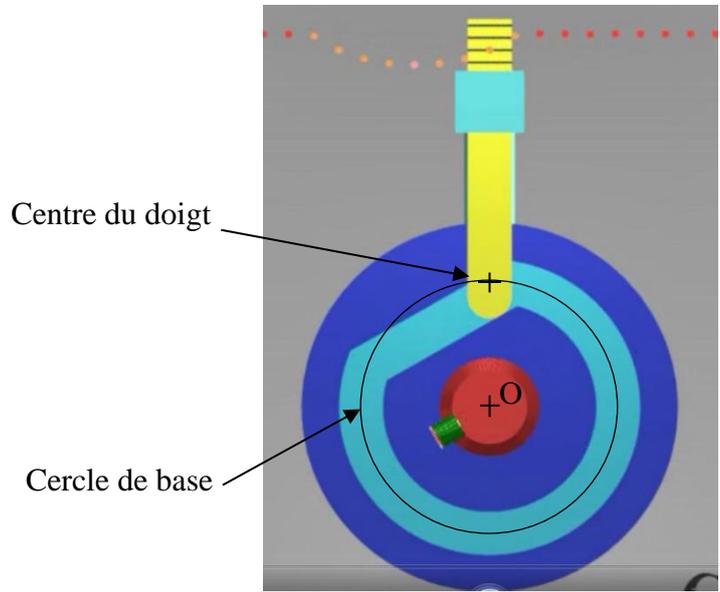
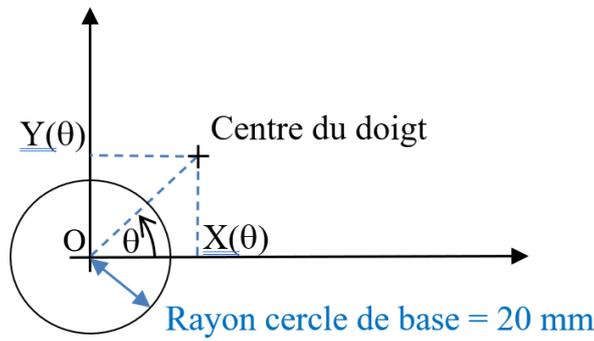
17. Tracer sur le document réponses (sachant que  $\dot{\theta} = 60 \text{ tr/min}$ )

- La courbe des déplacements  $y$  en fonction de  $t$
- La courbe des vitesses  $\dot{y}(t)$  en fonction de  $t$

Que vaut l'accélération  $\ddot{y}(t)$  ?

· **Visualiser** les vidéos cam1 et cam2.

Afin de définir le profil de la came adéquate, il est nécessaire d'exprimer les abscisse ( $X(\theta)$ ) et ordonnée ( $Y(\theta)$ ) du centre du doigt auquel est fixée la bobine. On le placera sur un cercle de base de 20 mm de rayon et de centre O.

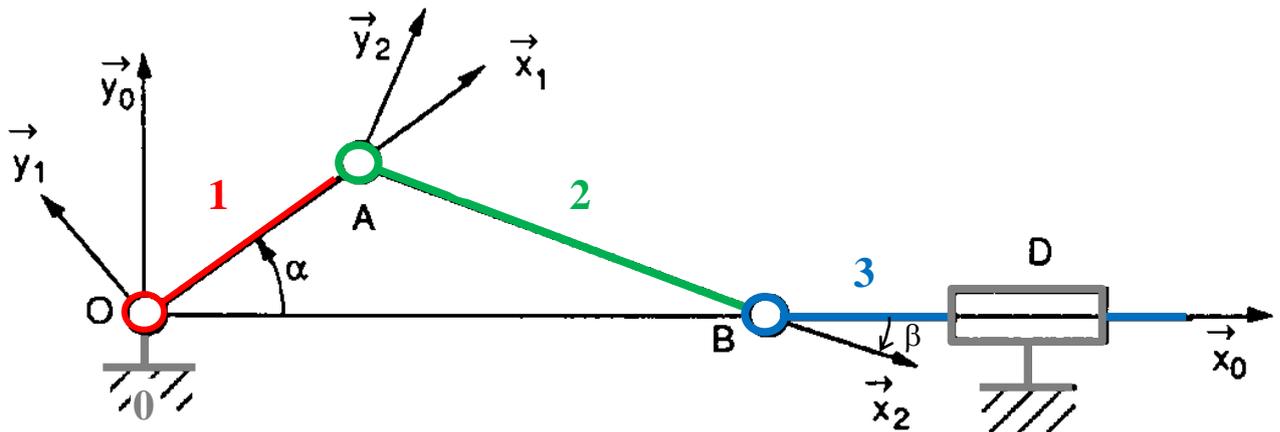


- 18. Donner les expressions de  $X(\theta)$  et  $Y(\theta)$  pour  $\theta \in [0; 180^\circ]$  et  $\theta \in [180^\circ; 360^\circ]$ . La course de la bobine étant de 10 mm.
- 19. Sous python, proposé un script traçant la trajectoire théorique du centre du doigt de la came permettant d'avoir la loi de mouvement attendue. Tracer la courbe et imprimer.

DOCUMENT ANNEXE

**Paramétrage du schéma cinématique :**

- On définit le repère fixe lié au bâti (0)  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ , le repère mobile lié au vilbrequin (1)  $(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  et le repère mobile lié à la bielle (2)  $(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ .
- $\alpha(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$  paramètre la rotation de (1) par rapport à (0) autour de l'axe  $(O, \vec{z}_0 = \vec{z}_1)$
- $\beta(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$  paramètre la rotation de (2) par rapport à (0) autour du vecteur  $\vec{z}_0 = \vec{z}_1 = \vec{z}_2$
- $\vec{OA} = a \vec{x}_1, \vec{AB} = b \vec{x}_2$  et  $\vec{OB} = \lambda(t) \vec{x}_0$  avec a et b constants



Pour obtenir la loi entrée/sortie géométrique et cinématique :

- Exprimer la relation vectorielle de fermeture géométrique de boucle suivante :  $\vec{OO} = \vec{0} = \vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BO}$
- Projeter cette relation vectorielle sur la base  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0)$ . En déduire deux équations scalaires.
- Exprimer  $\cos\beta$  et  $\sin\beta$  grâce à ces deux équations.
- Comme  $\beta$  est petit, on a  $\cos\beta = \sqrt{1 - (\sin\beta)^2}$ . Exprimer alors  $\lambda(t)$  en fonction de a, b et  $\alpha(t)$ . C'est la loi entrée/sortie géométrique.
- 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 translation de la sortie  $\dot{\lambda}(t)$  et la vitesse de rotation de l'entrée  $\dot{\alpha}(t)$ .