Robot ShapIO

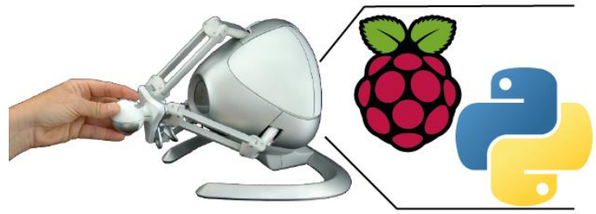
Livret de présentation pédagogique Applications en CPGE

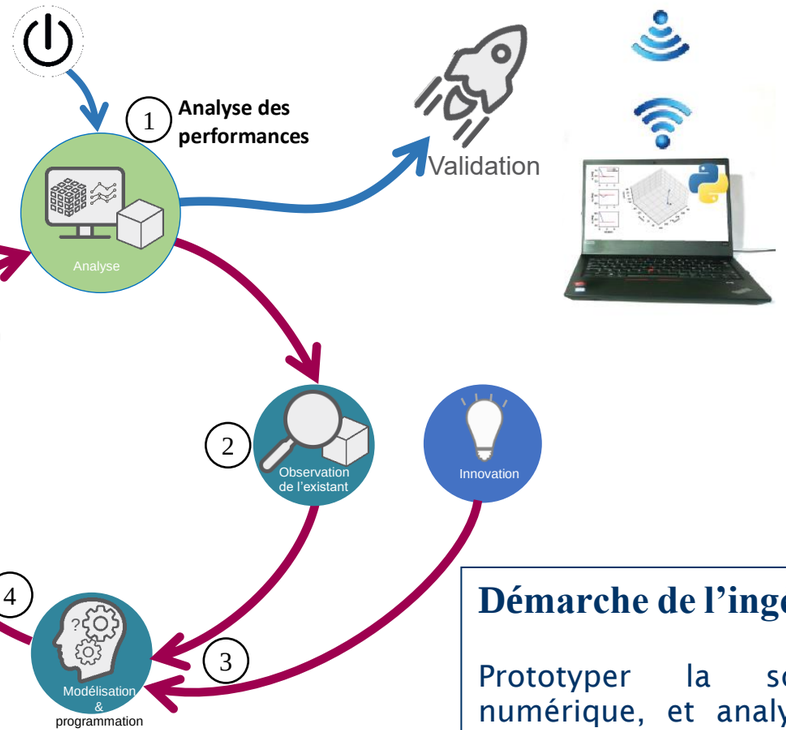
Système réel et Technologie connectée

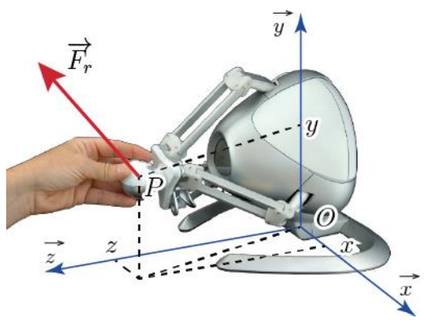
Le robot ShapIO est une Interface Homme Machine pour l'immersion en réalité virtuelle sur ordinateur ou pour la téléopération. Il est le lien entre **le réel** et **le numérique**.
Son architecture mécanique est basée sur une **structure « Delta »** à trois mobilités, équipée de trois codeurs et trois moteurs pilotés en courant.
Equipé d'une carte Raspberry Pi et de Python, il devient un Système Haptique pour l'Internet des Objets (ShapIO) – intelligent et connecté.

Il est un support d'**activités pratiques** pour l'acquisition des **fondamentaux** de l'informatique au service des Sciences de l'ingénieur : algorithmie & programmation, codage de l'information, conception informationnelle des produits (instrumentation et pilotage) et transmission de l'information (réseaux IP & BlueTooth).

Mais il reste aussi totalement ouvert, connecté et interfaçable pour un usage dans le cadre de **projets** (pilotage d'un drone, téléopération par exemple).







Haptique ?

Pour réaliser une tâche virtuelle ou distante, l'opérateur indique son intention en déplaçant la poignée.
Il ressent aussi un effort restitué : ce retour sensoriel est qualifié d'**haptique**.

Démarche de l'ingénieur

Prototyper la solution numérique, et analyser le gain de performance

Système Etude Technique

Ce livret présente des extraits des activités pratiques ou dirigées incluses dans les dossiers d'accompagnement du système didactique "ShapIO", afin de donner un aperçu de ses potentialités pédagogiques.
Ces activités sont des propositions que le professeur peut exploiter en tout ou partie dans la construction de sa progression pédagogique, ou pour une réutilisation dans le cadre d'un projet.

COMPETENCES ET CONNAISSANCES VISEES

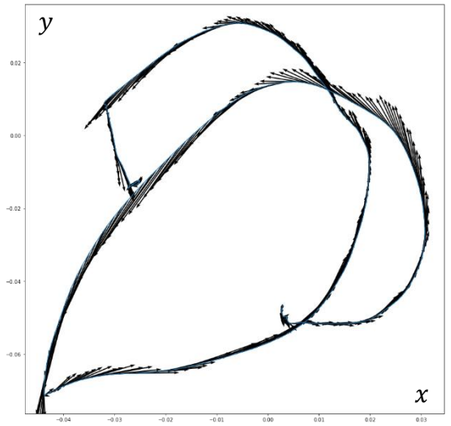
THEME :

- **Modéliser la cinématique**
- **Analyser un algorithme**
- **Mettre en œuvre un système en suivant un protocole**
- **Caractériser des signaux échantillonnés**
- **Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus expérimentalement ou numériquement**
- **Effectuer des traitements à partir de données**
- **Implémenter et exécuter un programme (dérivation numérique)**
- **Intégration et dérivation numérique**
- **Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication**

Exemples d'activités pédagogiques proposées

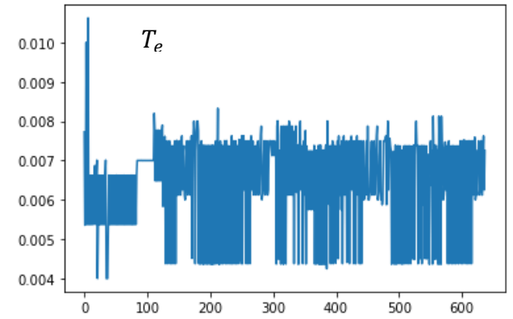
MESURER LA POSITION ET ESTIMER LA VITESSE

1 – Expérimenter
Utiliser les fonctions logicielles d'une bibliothèque de pilotage
Représenter la trajectoire



Trajectoire & champ des vitesses

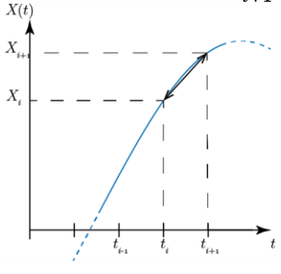
2- Analyser le comportement
Quantifier la période d'échantillonnage et sa régularité



3 – Résoudre
Mettre en œuvre une dérivation numérique par la méthode d'Euler

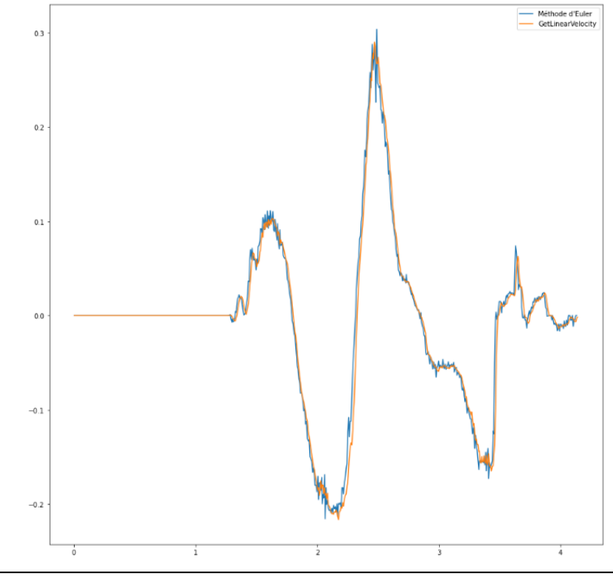
Approximation d'Euler avant

$$V_{t_i} = \frac{X_{i+1} - X_i}{t_{i+1} - t_i}$$




```
DT=[]
DX=[]
Vx=[]
for i in range(len(X)-1):
    DT.append(T[i+1]-T[i])
    DX.append(X[i+1]-X[i])
    Vx.append(DX[i]/DT[i])
```

4 – Analyser les performances
Comparer les estimations par différentes méthodes, pour différents paramètres



COMPETENCES ET CONNAISSANCES VISEES

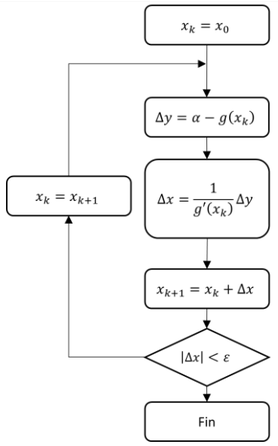
THEME :

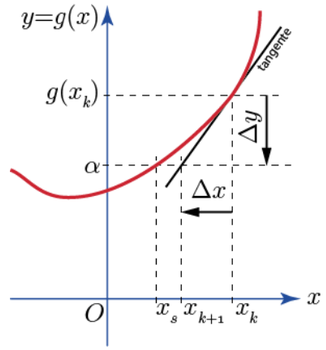
- **Modéliser la cinématique**
- **Analyser un algorithme**
- **Mettre en œuvre un système en suivant un protocole**
- **Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique**
- **Résoudre numériquement une équation**
- **Implémenter et exécuter un programme (méthode de Newton)**
- **Résoudre numériquement une équation**
- **Implémenter et exécuter un programme sur une cible**
- **Valider le fonctionnement du prototype**

Exemples d'activités pédagogiques proposées

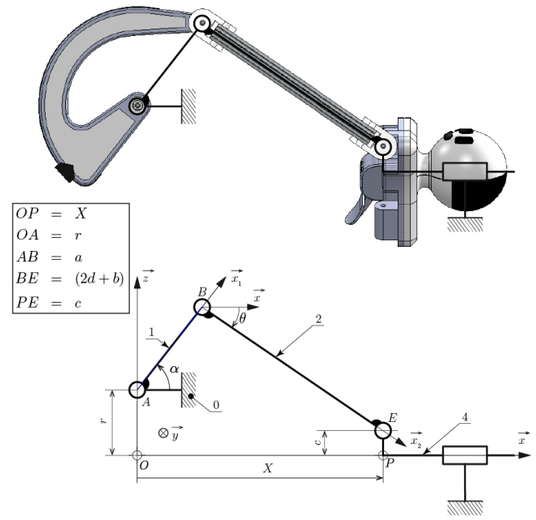
ESTIMER LA POSITION DE LA POIGNEE
Méthode de Newton & usage en robotique
(résolution d'équation)

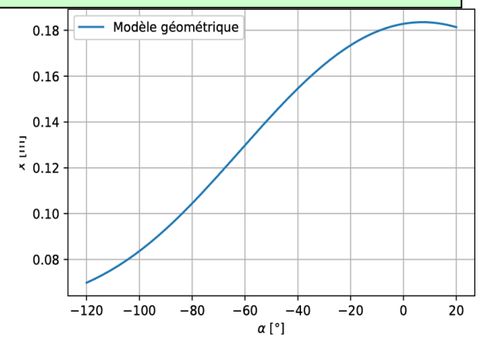
1- Rappel méthodologique

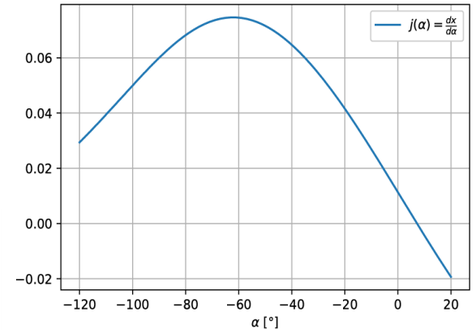




2- Cas du problème plan :
- mise en place de la méthode : recherche de solution (s'appuie sur le gain cinématique)
- performances selon la configuration

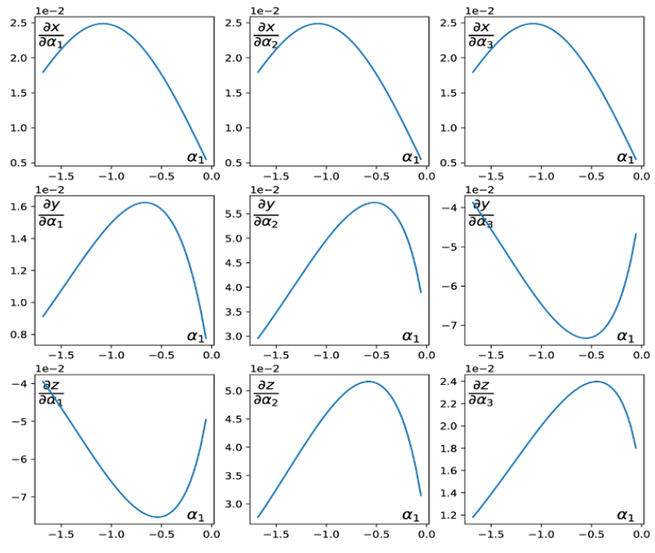


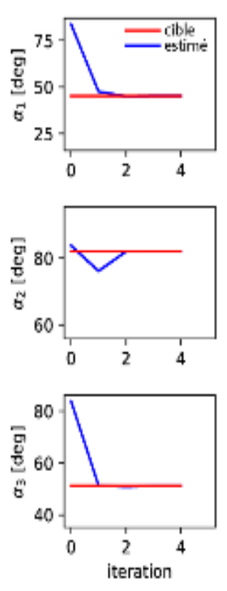


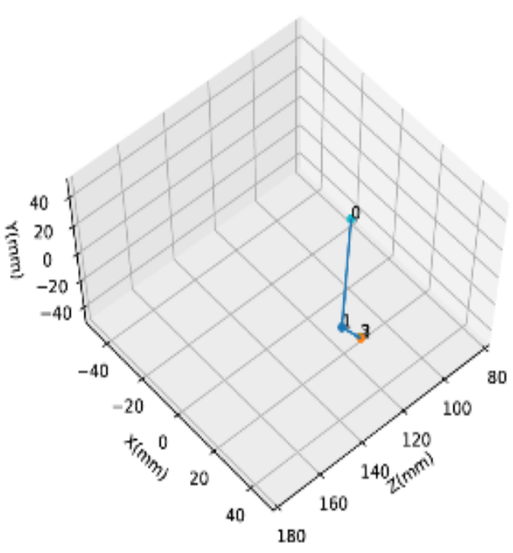


3- Cas du problème dans l'espace : recherche multivariable
- pas de solution mathématique
- analyse de la convergence

$$d\boldsymbol{X} = [J]d\boldsymbol{\alpha}$$







COMPETENCES ET CONNAISSANCES VISEES

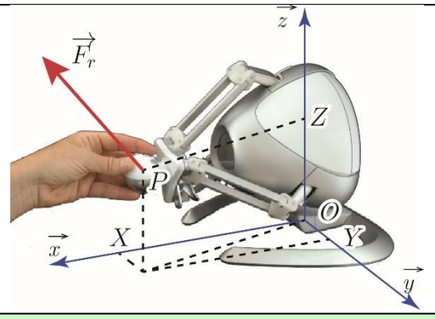
THEME :

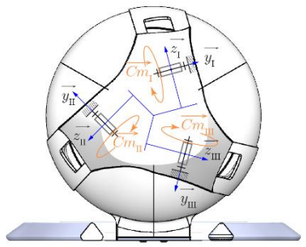
- **Modéliser la cinématique**
- **Analyser un algorithme**
- **Mettre en œuvre un système en suivant un protocole**
- **Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique**
- **Résoudre numériquement un système d'équations linéaires**
- **Implémenter et exécuter un programme (Résolution d'un système linéaire)**
- **Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système**

Exemples d'activités pédagogiques proposées

RESTITUER UN EFFORT
Détermination de la loi de transmission en effort (inversion de matrice)

1- Mise en place du problème





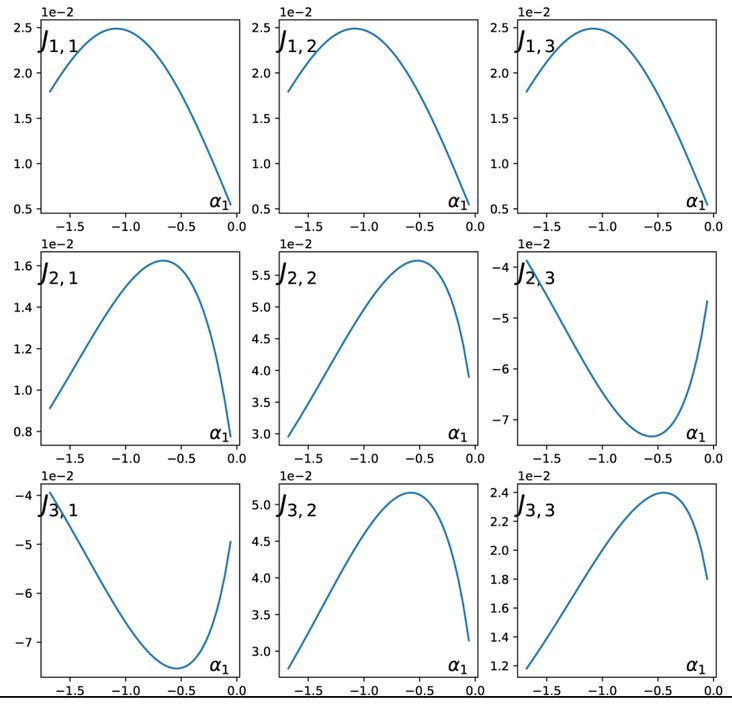
Egalité des travaux élémentaires

$$\delta W_s = \delta W_e$$

$$[J]^T \cdot \boldsymbol{F_r} = \boldsymbol{C_i}$$

$$\boldsymbol{F_r} = [J]^{T^{-1}} \cdot \boldsymbol{C_i}$$

$$\boldsymbol{F_r} = \begin{bmatrix} J_{1,1} & J_{1,2} & J_{1,3} \\ J_{2,1} & J_{2,2} & J_{2,3} \\ J_{3,1} & J_{3,2} & J_{3,3} \end{bmatrix}^{T^{-1}} \cdot \boldsymbol{C_i}$$



2- Résolution

Inverser une matrice revient à trouver la solution de :

$$[J]^T \cdot [M] = [I_n]$$

⇔Résoudre 3 systèmes de 3 équations

$$\begin{cases} [J]^T \cdot \{M_1\} = \{E_1\} \\ [J]^T \cdot \{M_2\} = \{E_2\} \\ [J]^T \cdot \{M_3\} = \{E_3\} \end{cases}$$

Implémentation

```
J=Fc.GetDeltaJacobian()[0]
I=np.identity(len(J))


def transvection(A,b,i,j,mu):
    A[i,:]=A[i,:]+mu*A[j,:]
    b[i]=b[i]+mu*b[j]
    return(A,b)



def triangulation(A,b):
    for i in range(n-1):
        pivot=(A[i][i])
        for j in range(i+1,n):
            A,b=transvection(A,b,j,i,-A[j,i]/pivot)
    return(A,b)


def remontee(A,b):
    xi=[0.]*n
    for i in range(n-1,-1,-1):
        temp= b[i]
        for k in range (i+1,n):
            temp= temp - A[i,k] * xi[k]
        xi[i]=temp/A[i,i]
    return(xi)

M=np.zeros(shape(J))
for i in range(n):
    U,b=triangulation(J,I[:,i])
    M[:,i]=remontee(U,b)
```

3- Analyse et validation
Comparaison avec les valeurs annoncés et mesurées sur le robot