

*La DOUBLE CULTURE Universitaire & Professionnelle*

**3 CAMPUS**  
TOULOUSE  
AUCH  
CASTRES



# Commission Robotique avancée et sécurité machine

---

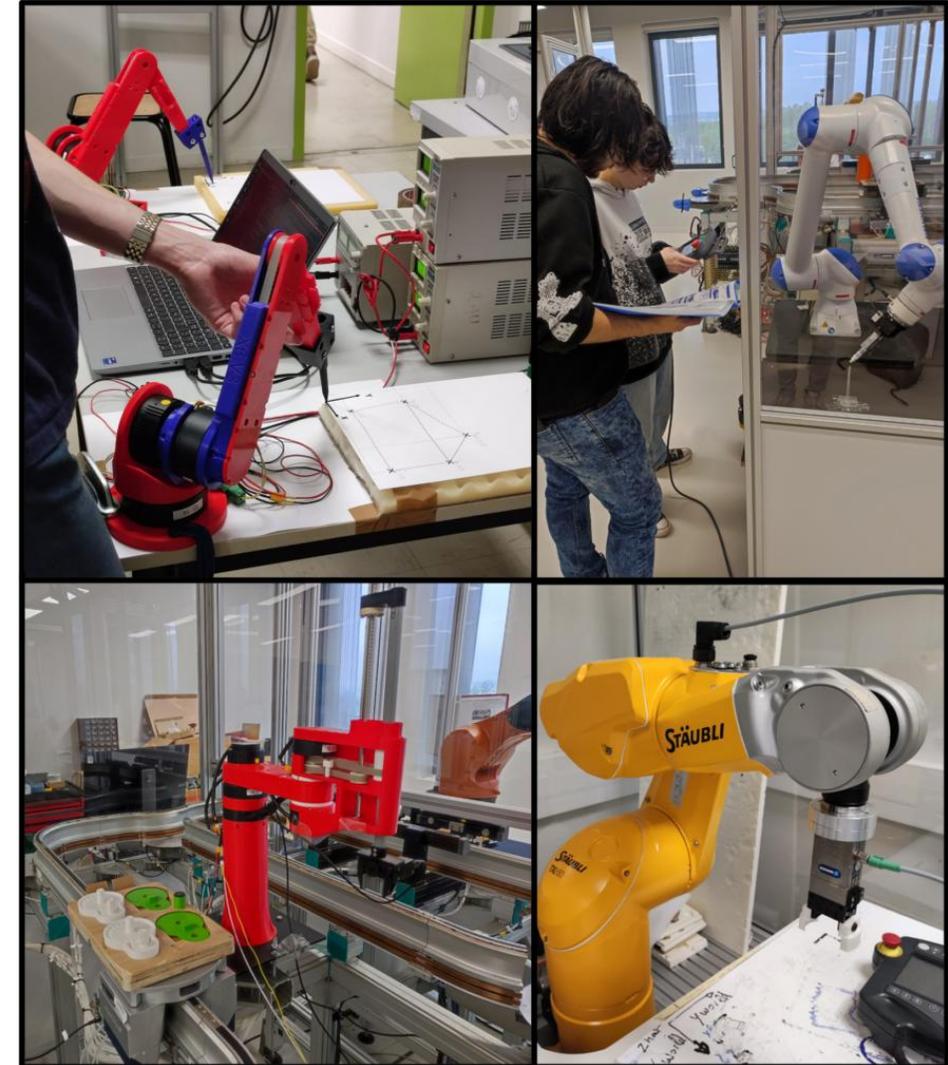
Martin MUJICA  
Vincent BONNET  
Alain GONZAGA  
Yann NEAU

# Introduction Commission

---

# Robotique avancée et sécurité machine

- Comment enseigner la robotique à l'IUT ?
- Comment tirer profit des 3 ans du BUT ?
- Nouveautés norme sécurité machine
- Impact de l'IA en robotique
- Compétences à la fin du BUT
  - Devenir techniciens
  - Poursuite d'études



# Organisation jeudi matin

| Horaire | Présentation  | Intervenant                           |
|---------|---|---------------------------------------|
| 8h30    | Introduction et la robotique à l'IUT GEII Toulouse          | M. Mujica et V. Bonnet (IUT Toulouse) |
| 9h15    | Robotique mobile  | L. Haennel (SHERPA)                   |
| 9h40    | Visite exposants  | Salles RDC GEII                       |
| 10h20   | Retour d'expérience SAE S6 Cobotique et vision industrielle | Yann Neau (IUT de Tours)              |
| 10h50   | Retour d'expérience SAE robotique et vision                 | Adrien Corne (IUT de Grenoble)        |
| 11h20   | Présentation UPSSITECH                                      | Frédéric Lerasle (UT – LAAS-CNRS)     |
| 11h45   | Répas   | CROUS                                 |
| 13h     | Visite exposants  | Salles RDC GEII                       |

# Organisation jeudi après-midi

| Horaire | Présentation                         | Intervenant                      |
|---------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 11h45   | Repas                                | CROUS                            |
| 13h     | Visite exposants                     | Salles RDC GEII                  |
| 13h30   | Robotique de service                 | Pascal Torsiello (ERM)           |
| 14h     | ROS pour l'enseignement en robotique | Olivier Stasse (CNRS)            |
| 14h30   | Robots industriels                   | Maxence Thévenin (STAUBLI)       |
| 14h45   | Visite exposants                     | Salles RDC GEII                  |
| 15h30   | Robotique et vision industrielle     | B. Vandepoortaele (IUT Toulouse) |
| 16h     | Visite exposants                     | Salles RDC GEII                  |
| 16h30   | Sécurité Machines                    | Didier Novat (SICK)              |
| 17h15   | Bilan sécurité machines              | Alain Gonzaga (IUT Toulouse)     |

# Organisation vendredi

| Horaire | Présentation                              | Intervenant  |
|---------|---|--|
| 8h30    | Visite exposants                          | Salles RDC GEII  |
| 9h00    | Ateliers robotique salles C02 et C04      | M. Mujica, V. Bonnet, B. Vandepoortaele (IUT Toulouse) |
| 10h00   | Visite exposants                          | Salles RDC GEII  |
| 10h30   | Nouvelles tendances en robotique et bilan | V. Bonnet (IUT Toulouse)                               |
| 11h00   | Plénière de restitution                   | Toutes les commissions                                 |
| 12h30   | Repas                                     |  |
| 14h     | Visite LAAS                               |  |

# La robotique à l'IUT GEII Toulouse

---

# Intervenants

---

- Vincent Bonnet (MCF Robotique LAAS-CNRS)
- Alain Gonzaga (PRAG Automatismes)
- Jeremie Guiochet (Prof Info/Sécurité LAAS-CNRS)
- Martin Mujica (MCF Robotique LAAS-CNRS)
- Gilles Roux (Prof Automatique LAAS-CNRS)
- Bertrand VandePortaele (MCF Perception LAAS-CNRS)
  
- Plusieurs doctorants (certains agrégés ) en robotique du LAAS-CNRS

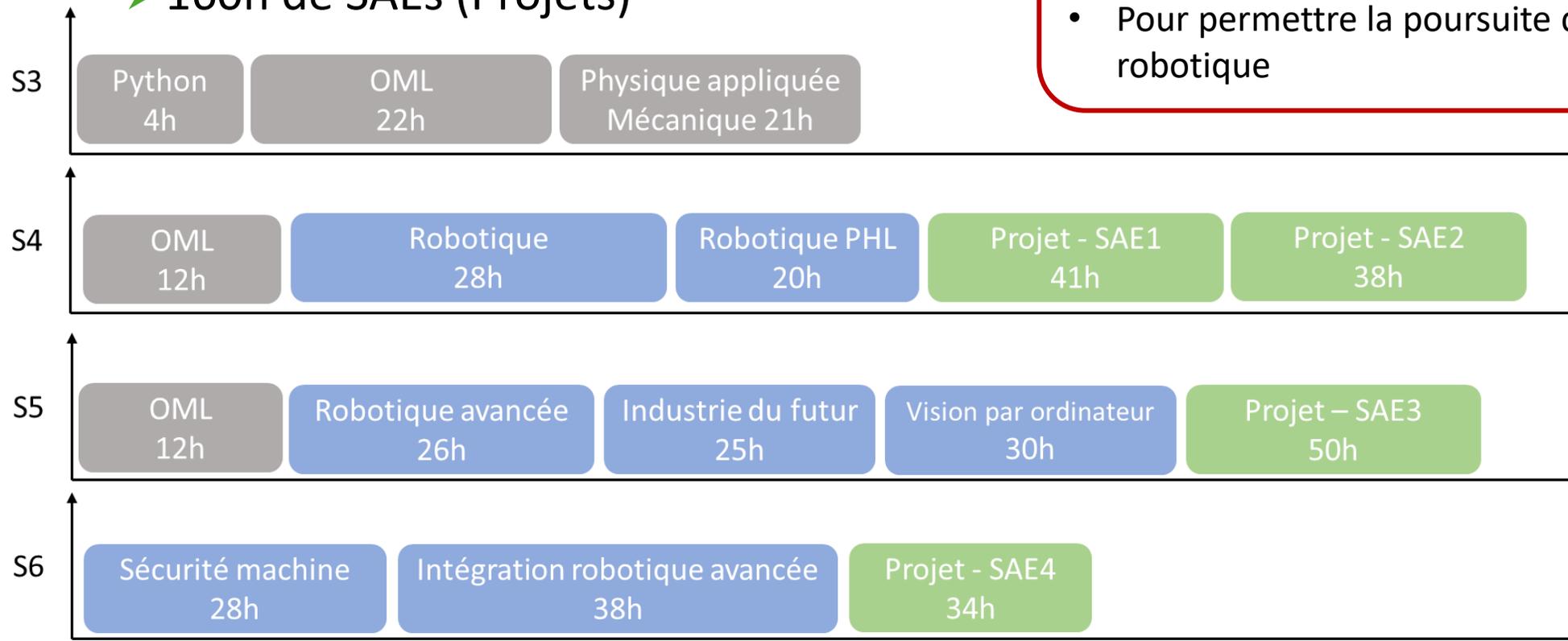
# La robotique en BUT GEI - Toulouse

- Un total de 400h de « robotique » réparties sur 2 ans (S3-S6)

- Bases mathématiques et informatiques
- Robotique / Sécurité machine / Vision
- 160h de SAEs (Projets)

Utilisation de la robotique :

- Comme application pour faire des maths
- Pour former des techniciens
- Pour permettre la poursuite d'études en robotique



# Modélisation et mouvement robotique

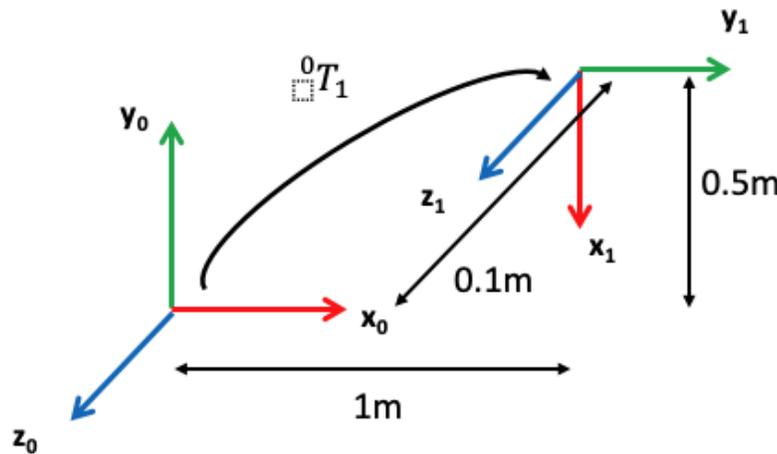
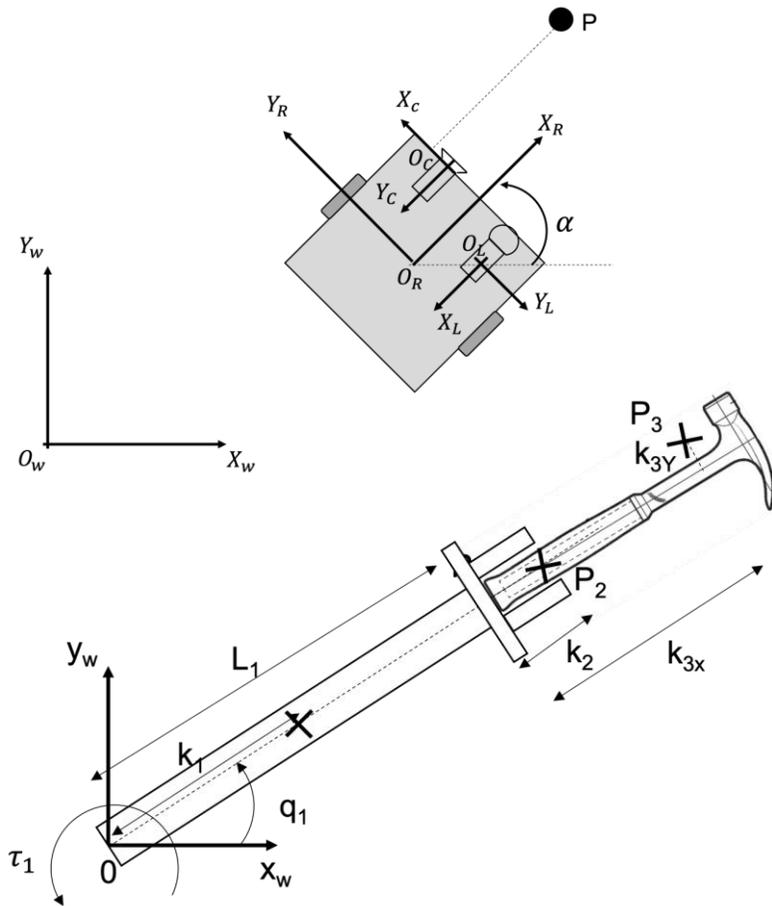
---

- Semestres 3 et 4 :
  - Maths pour la robotique
  - Modélisation géométrique 2 ou 3 ddl simples
  - Introduction robotique
  - Denavit–Hartenberg Modifiée
  - Analyse de couples articulaires statiques
- Semestres 5 :
  - Lois de mouvement (polynome de 3eme degré)
  - Trajectoires dans l'espace articulaire et opérationnel
  - Cellule robotique (outils, repères utilisateurs, cobotique)
- Semestres 6 :
  - Commande en couple d'une articulation (Implémentation d'un PID, compensation de gravité, commande en effort)

# S3

- Calcul matriciel/ matrices de rotation/ manipulation de repères,...
- Programmation Python

■ Exemple



Projection de:

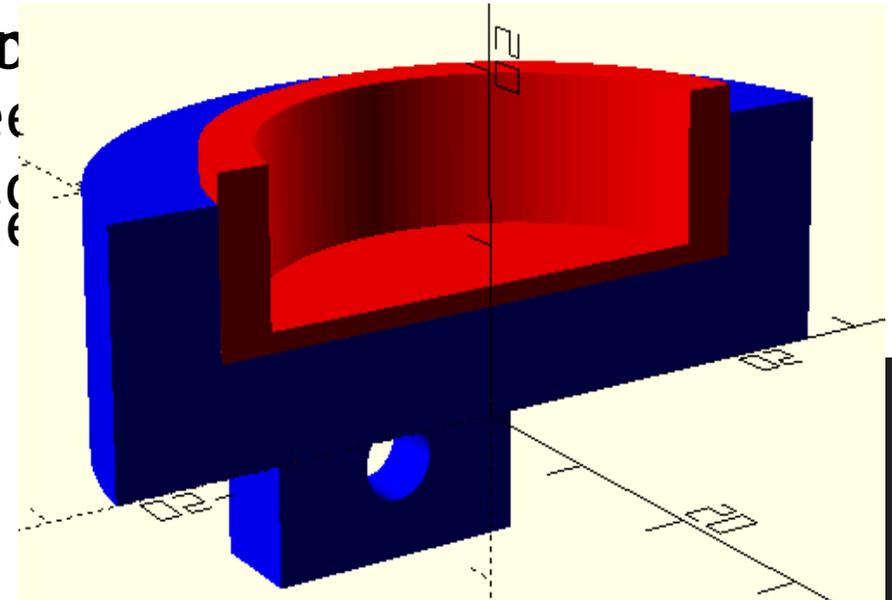
$${}^0\mathbf{A}_1 = \begin{matrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ \text{Sûr: } X_0 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ Y_0 & \\ Z_0 & \end{matrix}$$

$${}^0\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \\ -0.1 \end{bmatrix}$$

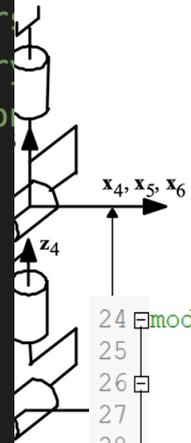
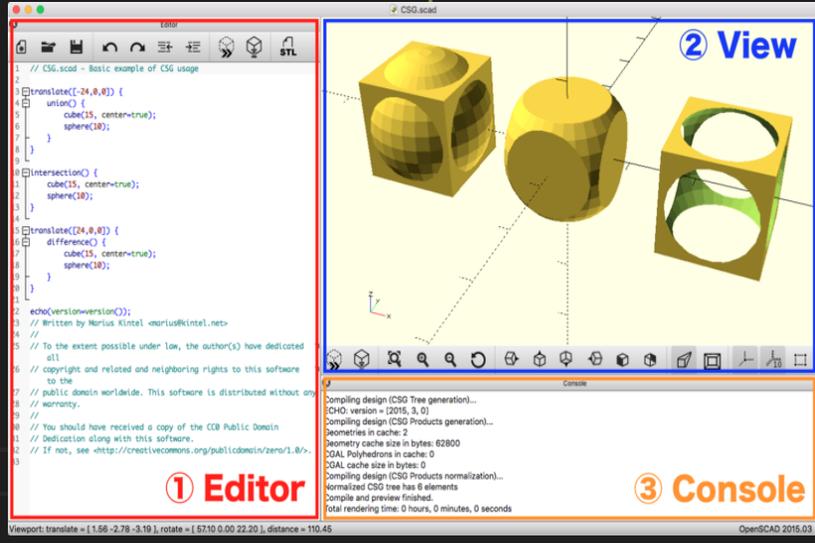
$${}^0\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 & -0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# S4: Module Robotique

- ~~Matrig (OpenStanD Python), réalisation géométrique~~
- Convention de Denavith-Hartenberg modifiée
- Singularité, modèle cinématique, charges et...
- CoppeliaSim et son API python en autonomie
- ~~Matrig (OpenStanD Python), réalisation géométrique~~



```
def kuka_kr6_r700_DH_model(q,param):
    # this function describes the MDH and geometrics parameter
    # INPUT: Joint angles in deg, Segment lengths and geometrics
    # OUTPUT: DH table updated for each new joint configuration
```



```
1],0]))
))
param["R4"]]))
param["DEZ"]]))
```

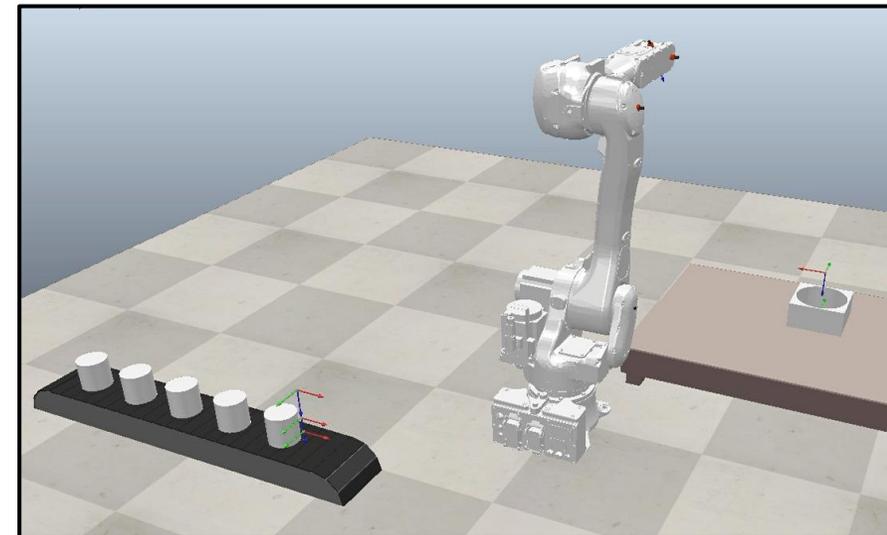
```
for i in range(Nframes):
    if len(DH_change)>1:
        module prehenseur() {
            translate([2.5675, 0, 6.43])
            difference() {
                cylinder(h=10.48, d=37.935, center=false, $fn=100);
                translate([0,0,1.21])
                cylinder(h=9.28, d=31.315, center=false, $fn=100);
                translate([-2.563, -20, -7.43])
                cube([25, 40, 19]);
            }
        }
    }
return f_imgu
```

# Projet S4 - robotique

Réaliser une tâche de pick & place avec des distances et poids différents

- Choisir un robot (Recherche et interprétation de **documentation de robots**)
- **Simuler le robot (Modélisation DH, organisation articulation-segment)**
- **Vérification espace de travail**
- Générer et **coder** un cycle en U

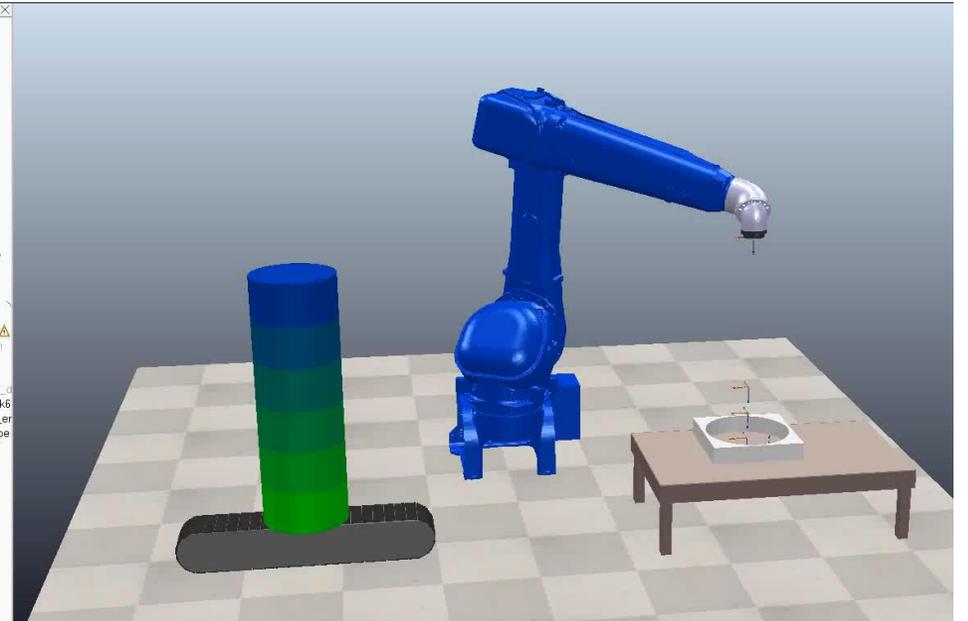
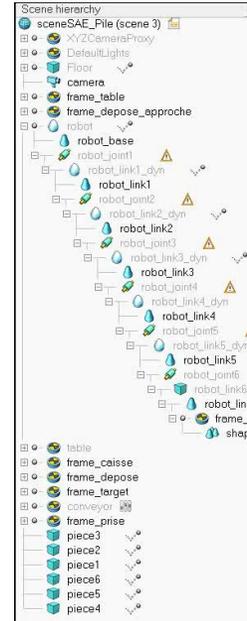
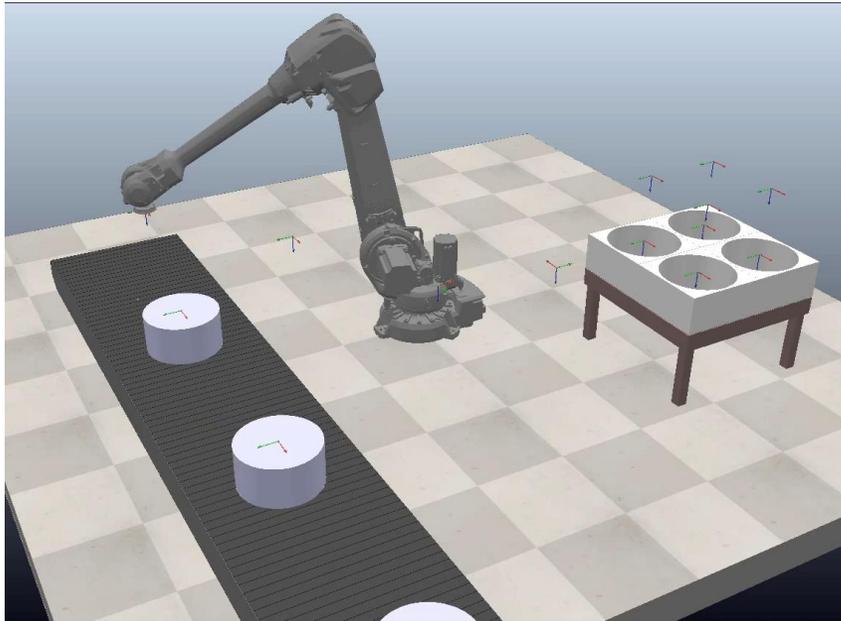
**Affichage de  
l'espace de travail**  
(accélération graduelle)



# Projet S4 - robotique

Pour aller plus loin

- Générer un temps de cycle optimal
- Eviter des obstacles
- Organiser les poses/déposes pour maximiser le nombre de pièces



# S4 PHL SRS Staubli

- 20h de PHL
- 4h de pendant
- Palletisation
- Gestion de base/repère
- Approche algorithmique



```
////////////////////////////////////// Boucle for prise et creation de la tour en kappla//////////////////////////////////////
for nkappla=1 to nNbkappla // on execute notre programme le nb de fois qu'il y a de kappla dispo

for nNetage=1 to nNbnetage // Pour savoir à quel étage nous sommes

trdecalage=(0,0,0,0,0,0) // Variable qui correspond à un point pour la future translation

if nNetage%2==0 // si le resultat est egale à zero alors cela veut dire que nous posons les kapplas sur Y sinon sur X

for nNbY= 1 to -1 step -2 // un coup on pose les kappla a 55mm de l'origine un autre a -55mm pour faire les 110mm
trDeclageKappla=(nkappla*nPaskappla,0,0,0,90,0) // La variable de translation (x,y,z,rx,ry,rz)
pPrise=compose(pKappla,fPalette,trDeclageKappla) //on creer le point pPrise avec "compose"
(pKappla=Point origine que l'on travail)
(fPalette=repere dans lequel on travail)
(trDeclageKappla=mvmt detranslation)

call prise(pPrise) // on appelle le programme "prise" avec la fct "call" et on lui donne en param le point "pPrise"
movej(pHaut,tPince,mNomSpeed) // On deplace notre robot en point pHaut avec l'outil tPince a la vitesse mNomSpeed grace a la fct "movej"
waitEndMove() // On attends que le mouvement se finisse pour passer a la suite

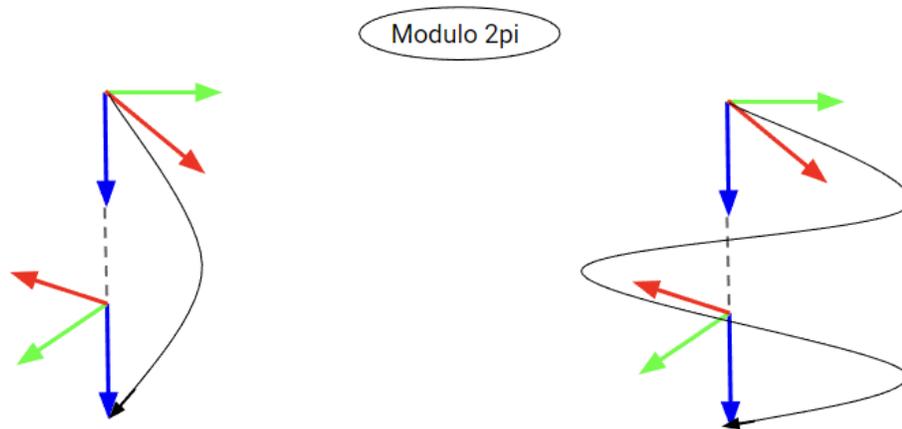
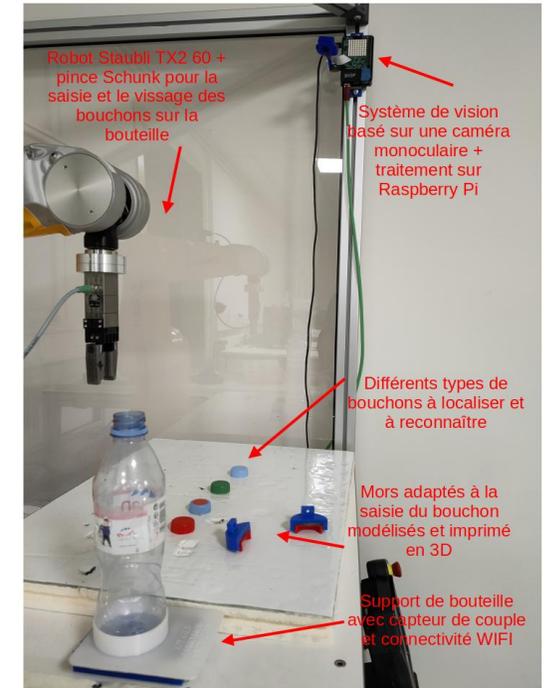
trdecalage=(0,(-nNbY)*nPasY,((nNetage-1)*nPasetage)-15,0,0,0)
pPose=compose(pPointRx,ftour,trdecalage)
call pose(pPose)

trdecalage=(0,0,0,0,0,0)
waitEndMove()

endFor
endif
//////////////////////////////////////
```

# S4 PHL - capteurs

- Commande complexe
- Optimisation de temps de cycle
- Vissage en boucle fermée: Intégration de capteurs dans un contexte de MiddleWare simple
- Conception 3D des éléments de la cellule



# Modelisation et mouvement robotique

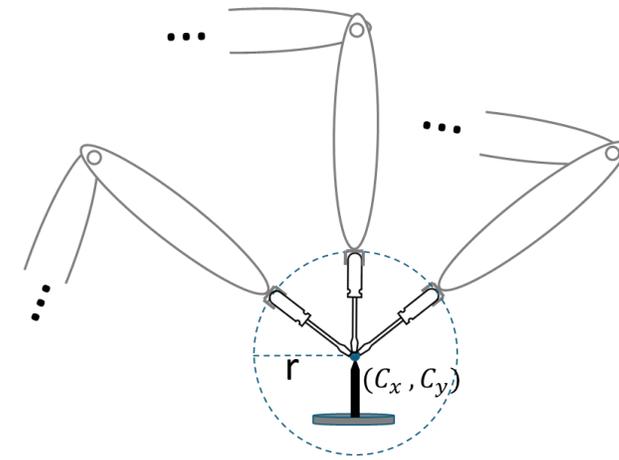
---

- Semestres 3 et 4 :
  - Modelisation geometrique 2 ou 3 ddl simples
  - Introduction robotique
  - Denavit Hartenberg Modifié
  - Analyse de couples articulaires statiques
- Semestre 5 :
  - Lois de mouvement (polynôme de 3eme degré)
  - Trajectoires dans l'espace articulaire et opérationnel
  - Cellule robotique (outils, repères utilisateurs, cobotique)
- Semestres 6 :
  - Commande en couple d'une articulation (Implémentation d'un PID, compensation de gravité, commande en effort)

# Semestre 5

- Apprentissage des gestes industriels
- Compréhension de la méthodologie

Exemple : Apprentissage de l'outil



$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2$$

$$x^2 - 2xC_x + C_x^2 + y^2 - 2yC_y + C_y^2 = r^2$$

$$x^2 + y^2 = r^2 + 2xC_x + 2yC_y - C_x^2 - C_y^2$$

$$x^2 + y^2 = [2x \quad 2y \quad 1] \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ r^2 - C_x^2 - C_y^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ x_3^2 + y_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 1 \\ 2x_3 & 2y_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ r^2 - C_x^2 - C_y^2 \end{bmatrix}$$

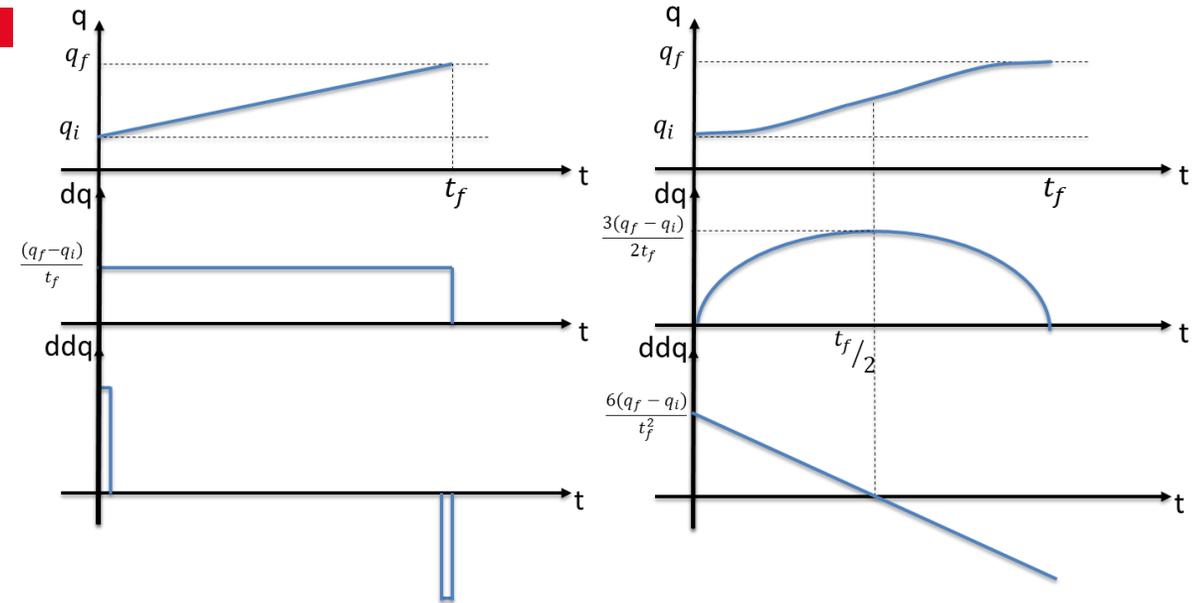
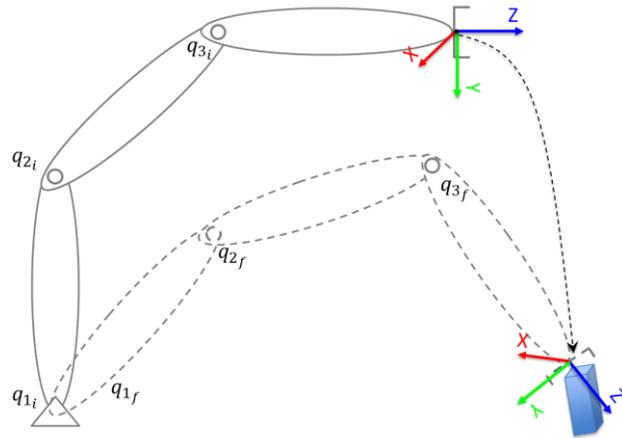
$$Y = A \cdot X$$

$$X = A^{-1}Y$$

# Semestre 5

## Trajectoires dans l'espace articulaire et opérationnel

- Interpolation linéaire, polynomiale

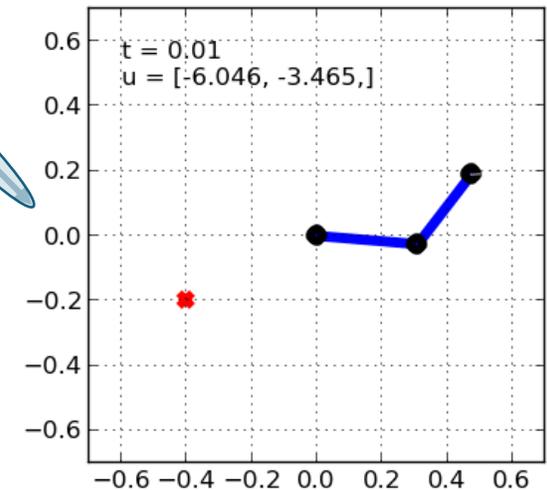
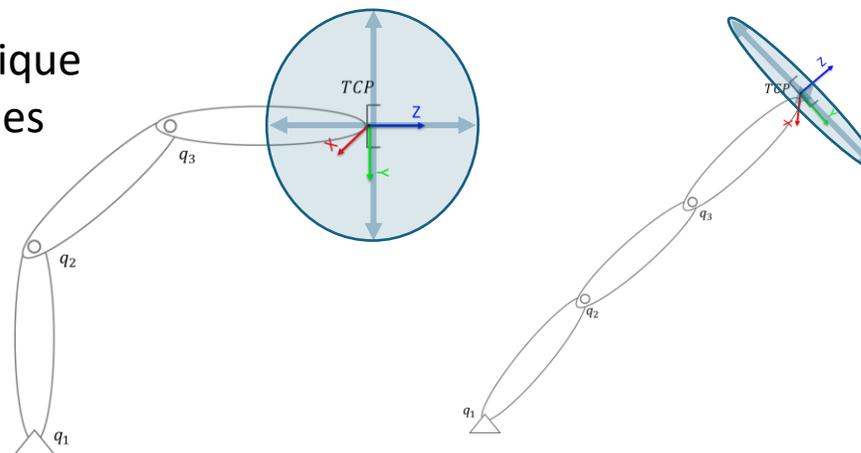


## Définition d'une matrice Jacobienne géométrique

- Usage pour singularités, vitesse cartésiennes

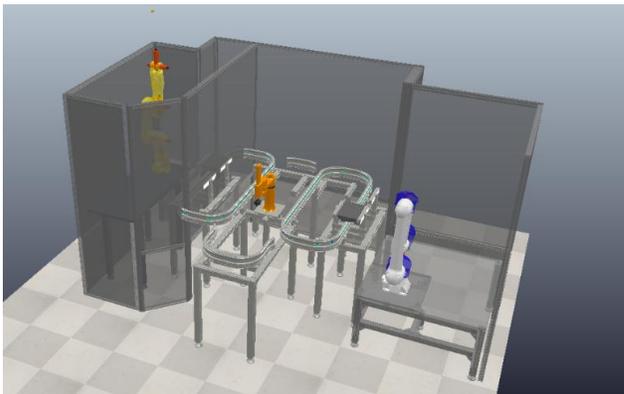
$$\begin{bmatrix} V_e \\ \omega_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_v \\ J_\omega \end{bmatrix} \dot{q}$$

Comment les obtenir?



# Projet semestre 5 - 2023/2024

- Modélisation (Jumeaux numériques) et utilisation de robots collaboratifs et industriels dans une cellule complexe
- Etalonnage de capteurs et de modèles géométriques



# Projet semestre 5 – 2024/2025

- Génération de mouvements dans l'espace articulaire et opérationnel
- Cellule robotique industriel
  - Calibration outils
  - Apprentissage de repères
  - robotique collaborative

## Projet : Montage d'une pièce complexe

- Utilisation de robots différentes (Staubli Yaskawa, KUKA, SCARA)
- Automate pour la supervision et le control des navettes
- Jumeau numérique et simulation de la tâche



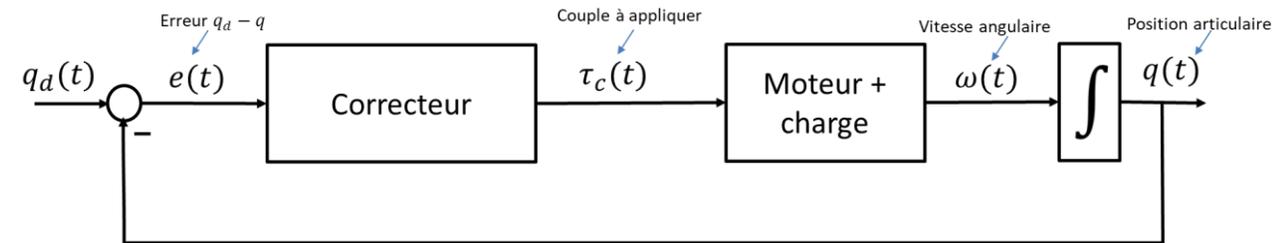
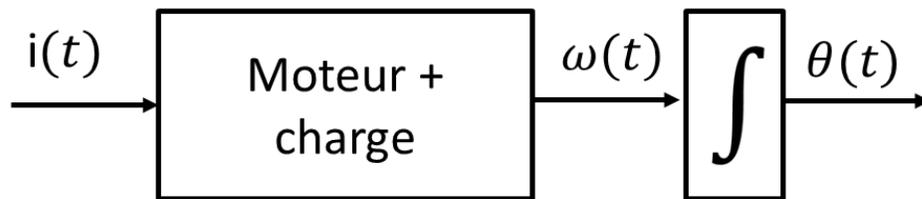
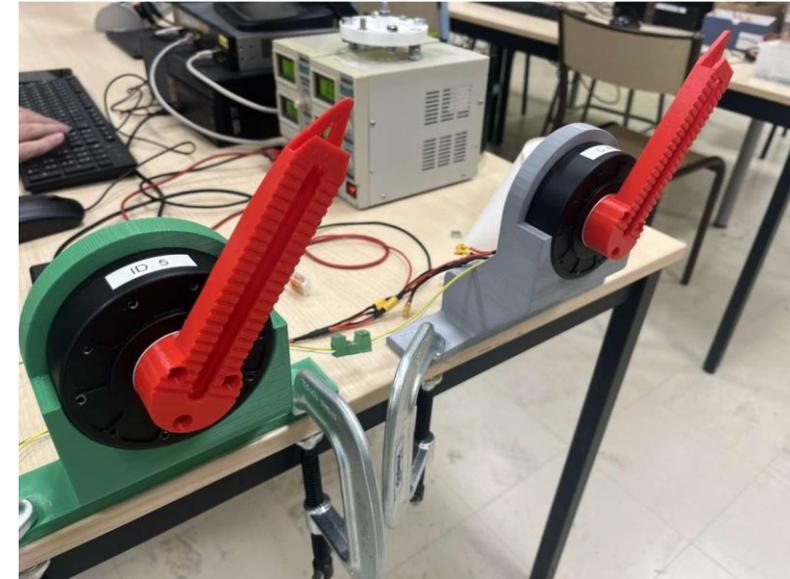
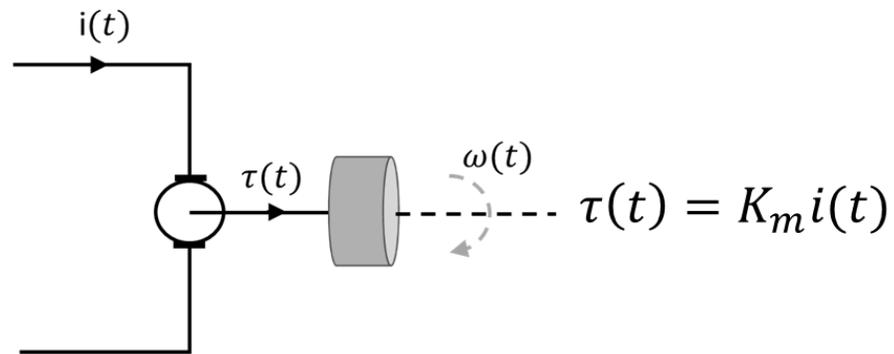
# Modelisation et mouvement robotique

---

- Semestres 3 et 4 :
  - Modelisation geometrique 2 ou 3 ddl simples
  - Introduction robotique
  - Denavit Hartenberg Modifié
  - Analyse de couples articulaires statiques
- Semestres 5 :
  - Lois de mouvement (polynome de 3eme degreé)
  - Trajectoires dans l'espace articulaire et opérationnel
  - Cellule robotique (outils, repères utilisateurs, cobotique)
- Semestres 6 :
  - Commande en couple d'une articulation (Implémentation d'un PID, compensation de gravité, commande en effort)

# S6 – Robotique avancée

- Du S3 au S5 des notions de modélisation des robots, mouvements et couples statiques
- En S6 fonctionnement d'une articulation robotique
- Lien entre les modules d'automatique et robotique



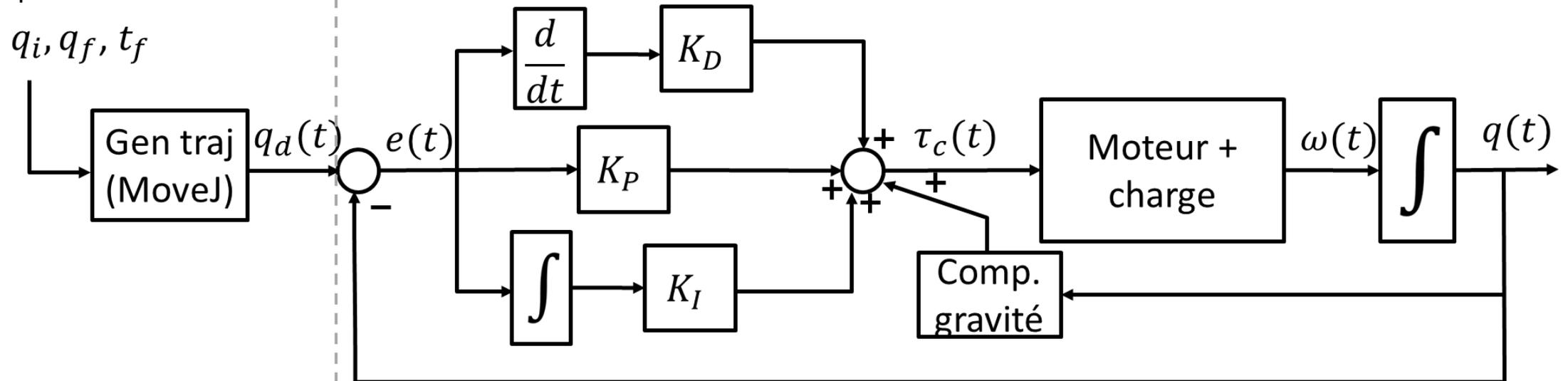
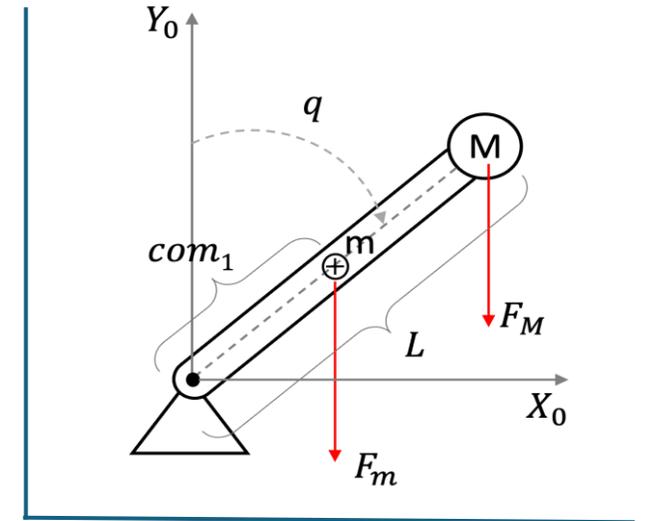
# S6 – Robotique avancée

Fait en S4 et S5

- Génération de trajectoires
- Espace articulaire / opérationnel
- Espace de travail
- Singularités
- Points d'approche / repères

Ce qu'on fait en S6 :

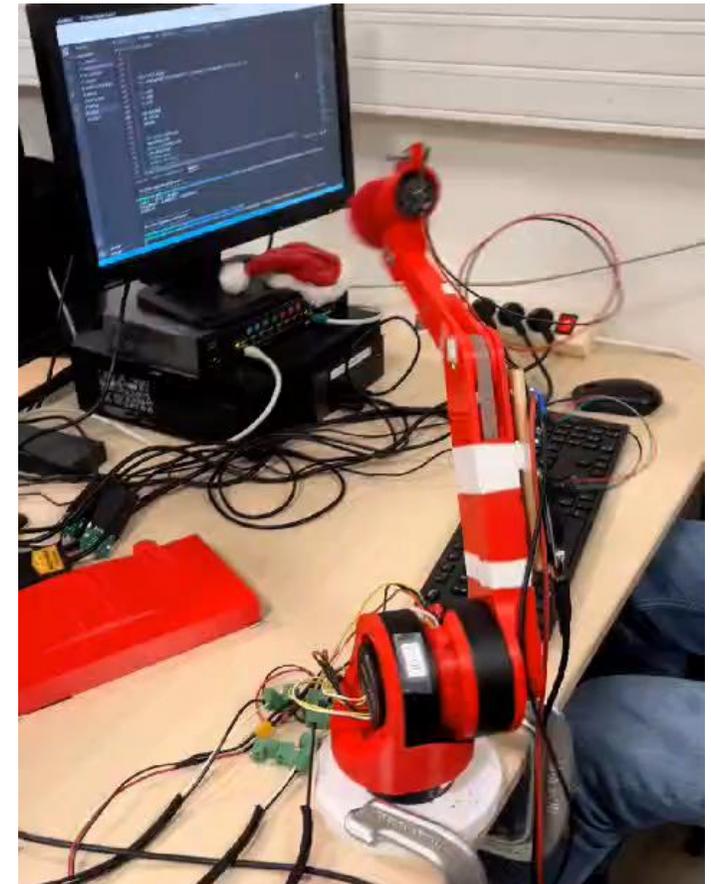
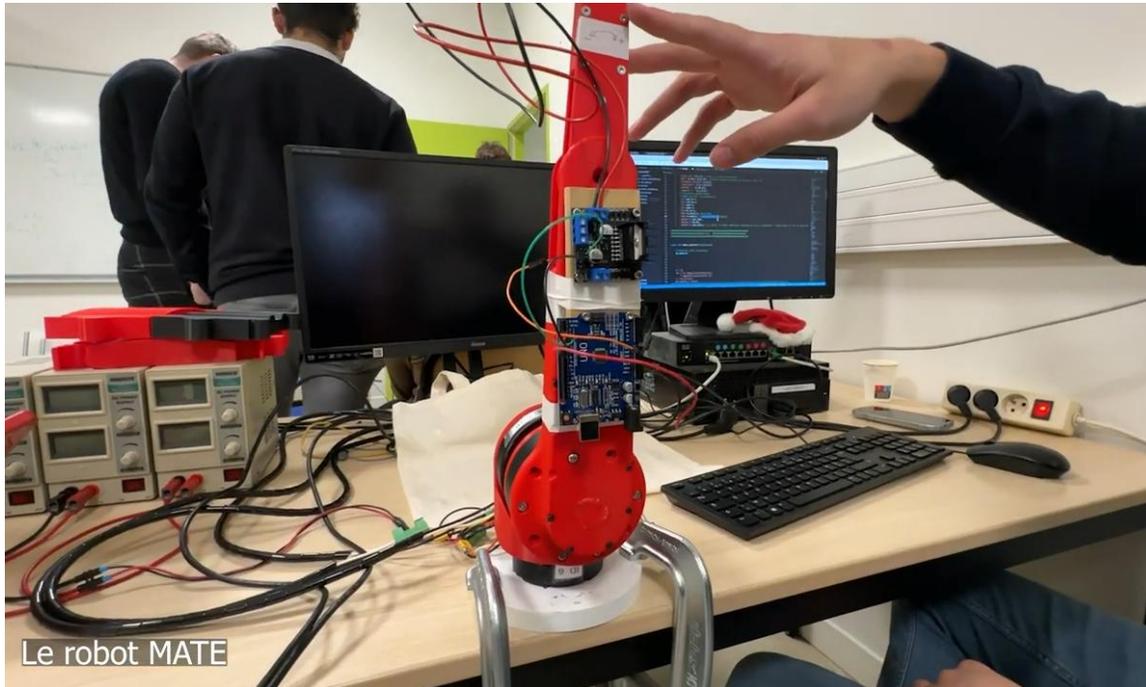
- Contrôle PID
- Compensation de gravité
- Contrôle en effort (Force control)



# Projet semestre 6 – 2023/2024

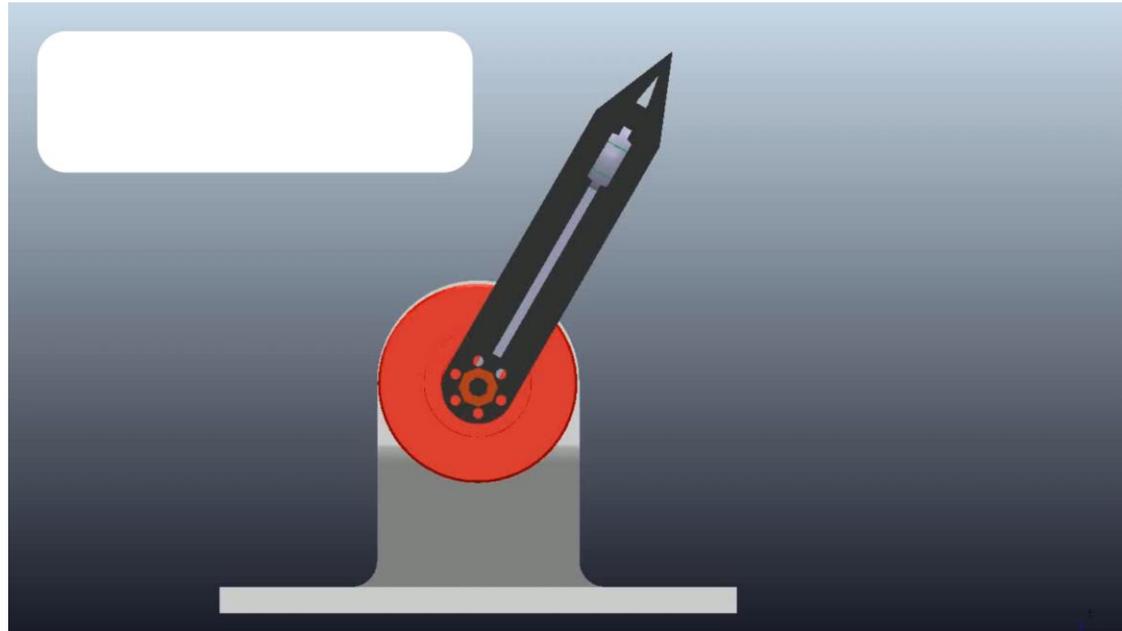
- Projet de ponçage d'une surface
- Identifier les moteurs du robot
  - Assembler les robots
  - Contrôler la force appliquée

- Identification gain couple-courant des moteurs
- Commande en couple des moteurs
  - Compensation de gravité
  - Commande en effort du robot à 3DDL



# Projet semestre 6 – 2024/2025

- Téléopération d'un pendule avec un autre moteur
  - Réglage des gains du PID
  - Téléopération bilatérale
  - Communication via réseau entre moteurs



# Robots Made in Toulouse for Education (MATE)

---

# Robots Made in Toulouse for Education

Limitations des robots industriels disponibles:

- Contrôle en position/vitesse uniquement
- Non modularité
- Fermé et programmation en langage propriétaire

Besoin de systèmes simples pour illustrer des notions de robotique

- Trajectoires générées par les étudiants
- Mesure de position, vitesse, couples
- Variation de la géométrie pour MGD



SASSA ROBOT, LAAS-CNRS

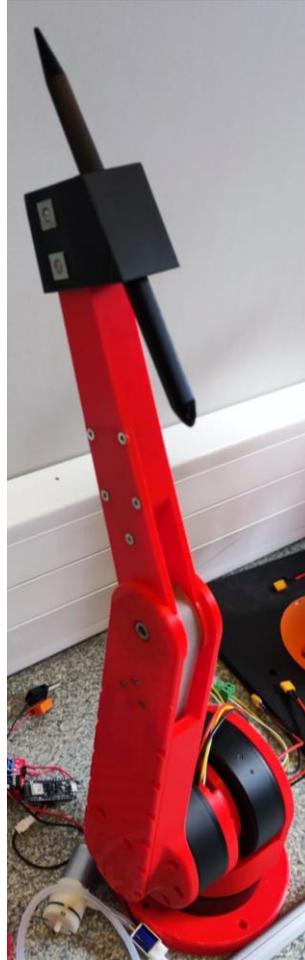


# Robots Made in Toulouse for Education

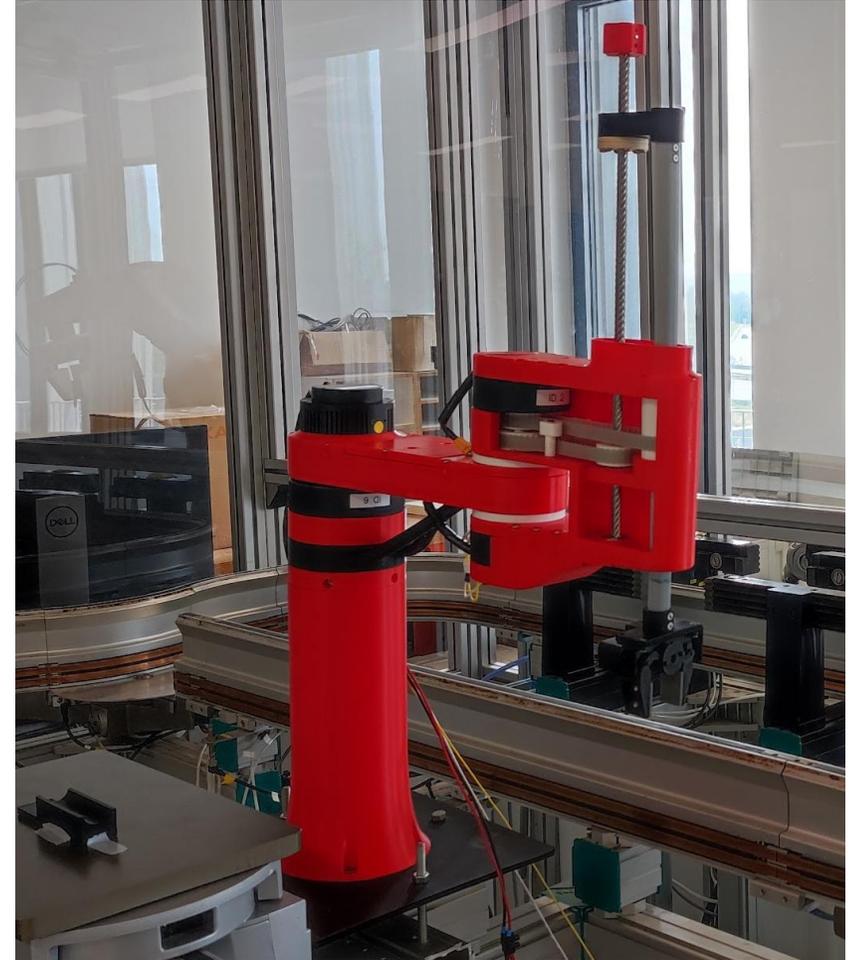
- Pièces imprimées entièrement en 3D
- Moteurs qui permettent une commande en position, vitesse, couple
- Fréquence de 200hz



MyActuator Brushless servo-motors

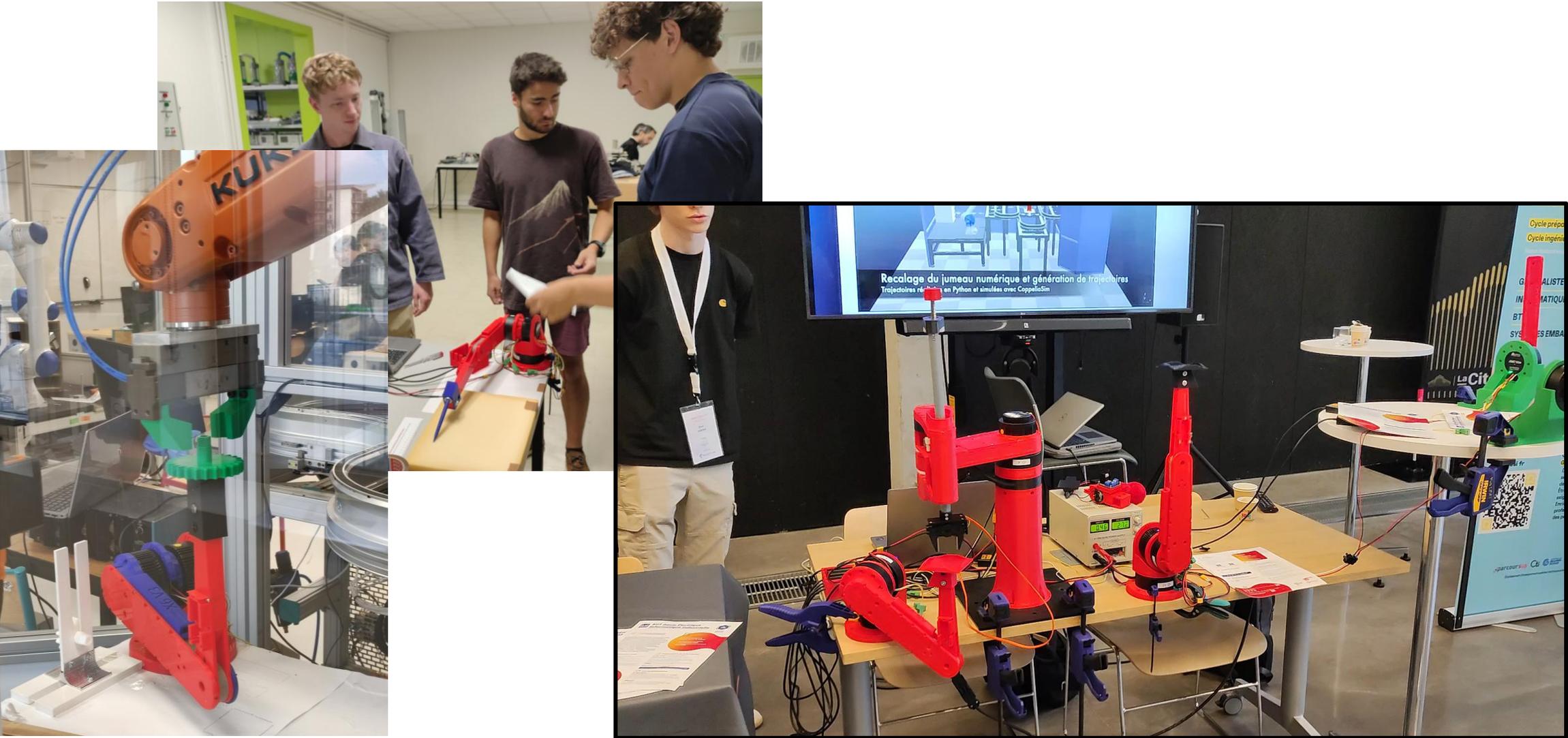


MATE 3DDL

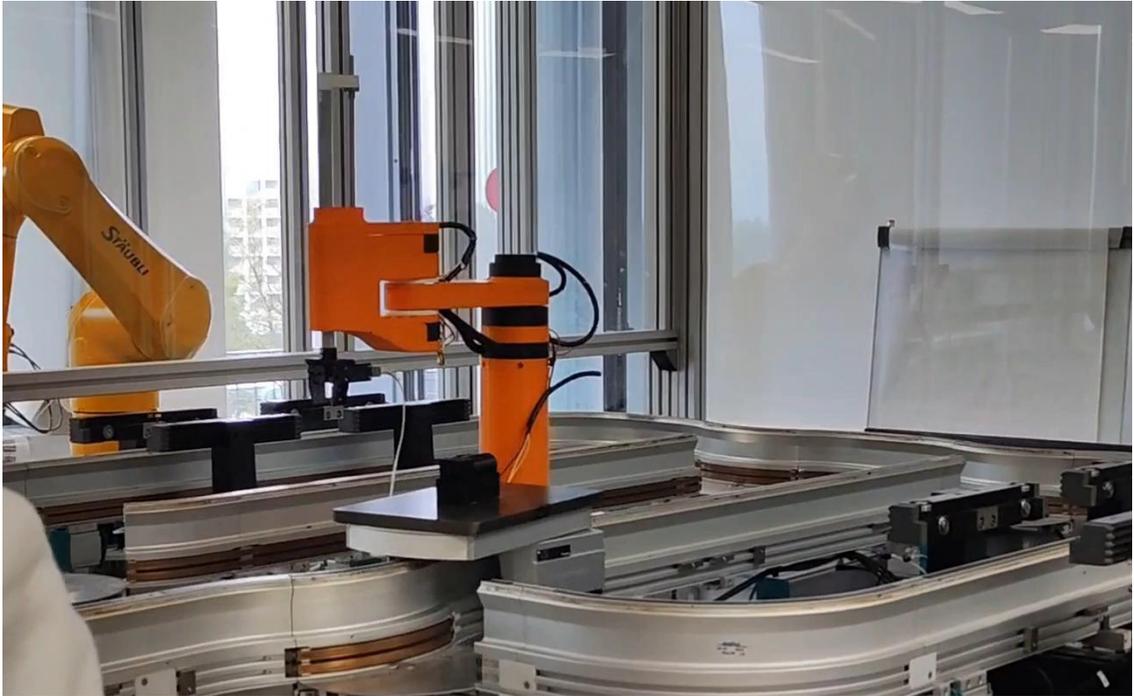
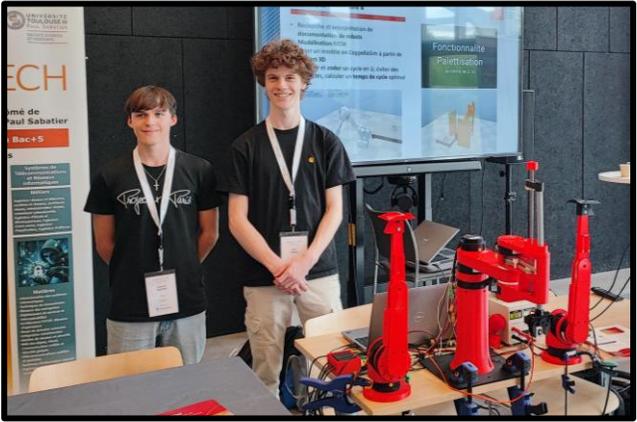
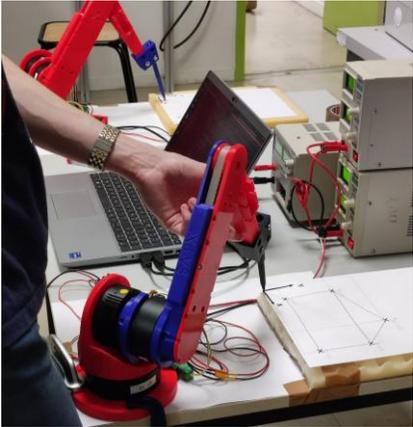
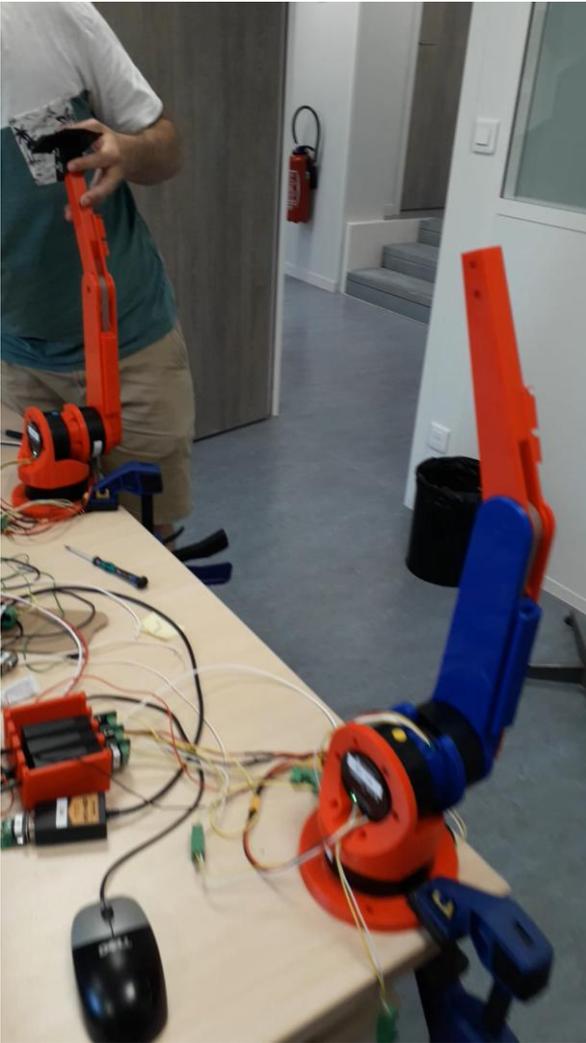
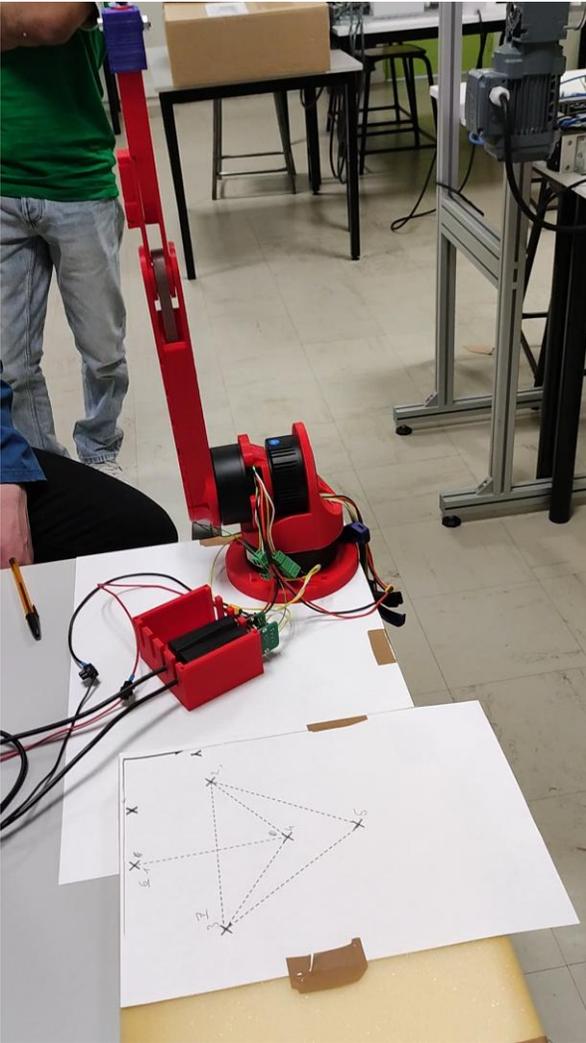


MATE SCARA

# Robots Made in Toulouse for Education

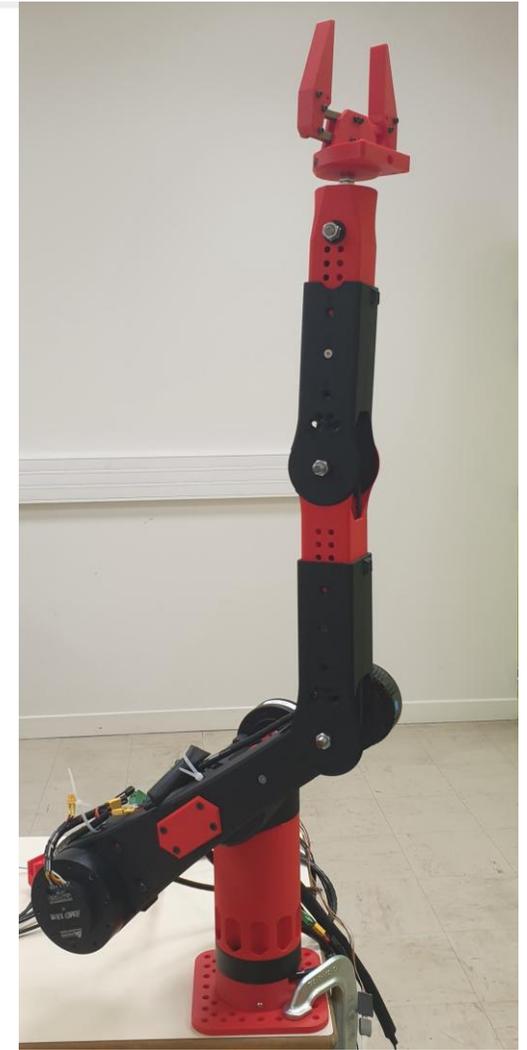


# Robots Made in Toulouse for Education



# Robots MATE V2

- 5DoF
- Longueurs modulaires

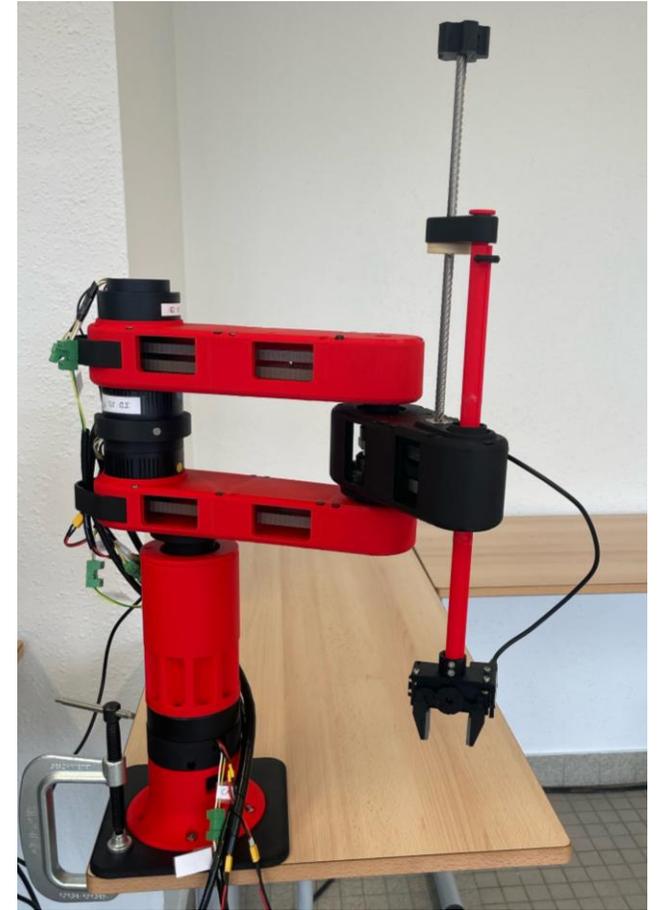
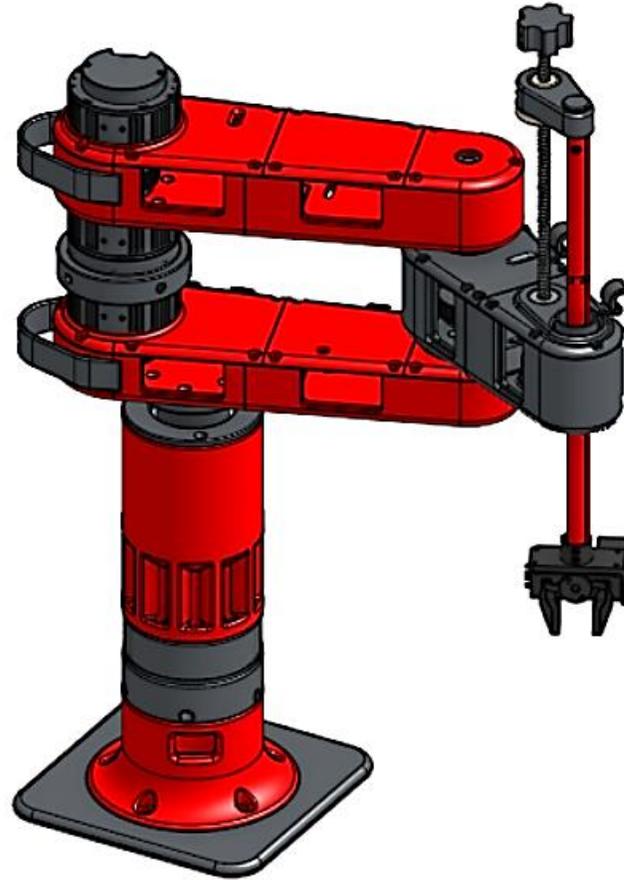


# Robots MATE V2

---

## Robot SCARA V2

- Améliorations mécaniques
- Pièces plus modulaires



# Conclusion

---

- Une approche théorique mais au service de la pratique de la robotique
  - La robotique permet d'exemplifier des concepts théoriques et de palier au manque d'abstraction de nos étudiants
- Compétences en programmation et gestion de projet informatique
- Agnostique à la marque de robot
- Robotique industrielle présente