

➤ **SOUTENANCE, STAGE DE FIN D'ÉTUDES**

**CONCEPTION D'UN ROBOT AMPHIBIE À PATTES BIO-INSPIRÉES
POUR L'OBSERVATION ET LA SURVEILLANCE DES ZONES
CÔTIÈRES**

PARCOURS SYSTÈMES MÉCATRONIQUES ET ROBOTIQUES (**SYSMER**, SEATECH ÉCOLE D'INGÉNIEURS)
MASTER 2 ROBOTIQUE ET OBJETS CONNECTÉS (**ROC**, UNIVERSITÉ DE TOULON)

-
PROMOTION 2024

-
BENGUET AIMÉ PRINCE

ENSEIGNANT RÉFÉRENT :
M. Vincent HUGEL

ORGANISME D'ACCUEIL :
LABORATOIRE **COSMER**

TUTEUR ORGANISME D'ACCUEIL :
M. Cédric ANTHIERENS

SOMMAIRE

-

Introduction

I- ÉTAT DE L'ART

II- ANALYSE DU BESOIN

III- CONCEPTION MÉCANIQUE

IV- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT TERRESTRE

V- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT MARIN- ROS

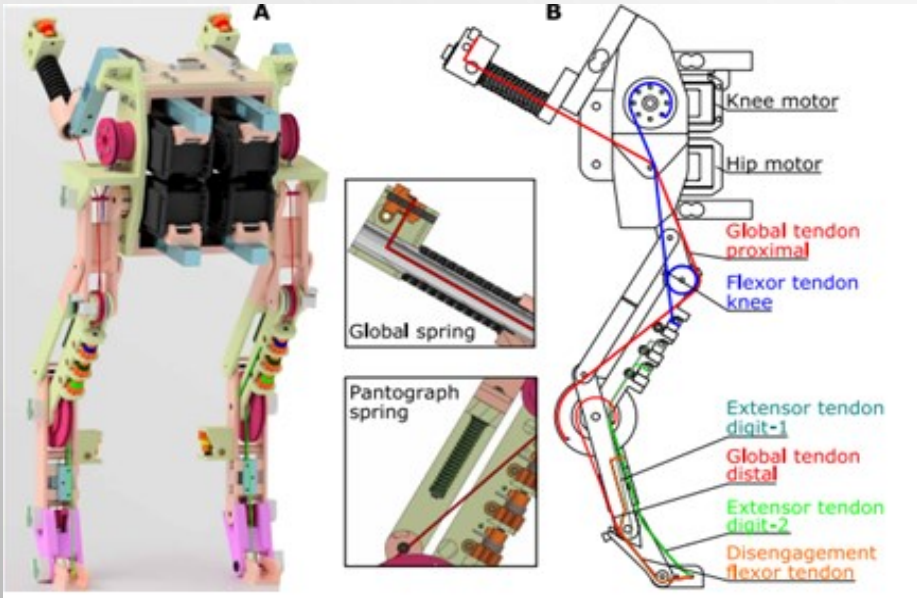
Conclusions

I- ÉTAT DE L'ART

1/CONTEXTE

- STRUCTURE ARTICULÉE
- MÉCANISMES DÉJÀ UTILISÉS SUR DES ROBOTS BIPÈDES ET QUADRUPÈDES
- ACTIONNEURS UTILISÉS EN ROBOTIQUE BIO-INSPIRÉE

2/ROBOTS BIPÈDES, QUADRUPÈDES



Robot autruche- Science Robotics :

"BirdBot achieves energy-efficient gait with minimal control using avian-inspired leg clutching"



Spot- Boston Dynamic



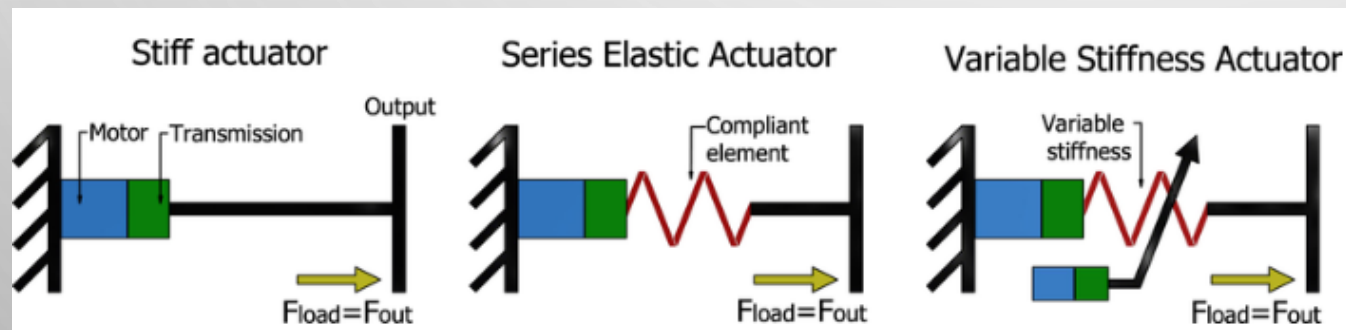
Unitree Go2- Unitree Robotics



I- ÉTAT DE L'ART

3/ACTIONNEURS FLEXIBLES

- SOLUTIONS UTILISANT DES MATÉRIAUX ADAPTATIFS :
- **SERIES ELASTIC ACTUATORS (SEA)**- ACTIONNEURS ÉLASTIQUES EN SÉRIE
- **VARIABLE STIFFNESS ACTUATORS (VSA)**- ACTIONNEURS À RIGIDITÉ VARIABLE
- HARMONIC DRIVES (RÉDUCTEUR À ENGRENAGE HARMONIQUE)
- **DIRECT DRIVE (DD)**; ENTRAÎNEMENT DIRECT)
- **QUASI DIRECT DRIVE (QDD)**; ENTRAÎNEMENT QUASI-DIRECT)



BiInspiration & Biomimetics :

“Bi-directional series-parallel elastic actuator and overlap of the actuation layers”

II- ANALYSE DU BESOIN

1/PROBLÉMATIQUES PRINCIPALES

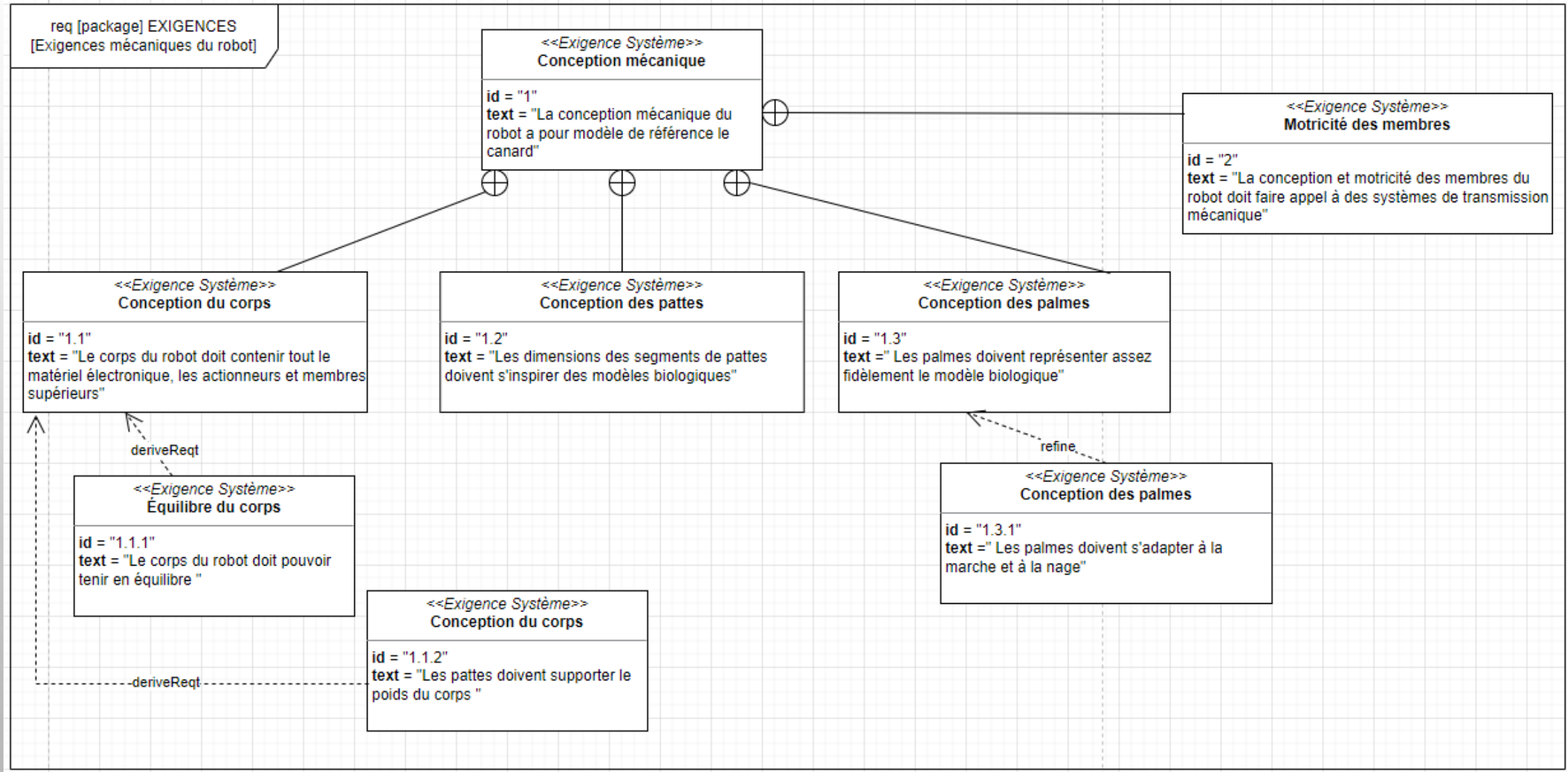
❑ 1 - POSITIONNER LES ACTIONNEURS LE PLUS HAUT POSSIBLE

❑ 2 - L'ACTIONNEMENT DES PALMES

❑ 3 - CONCEVOIR DES PALMES IMITANT ASSEZ FIDÈLEMENT LE MODÈLE
BIOLOGIQUE DU CANARD

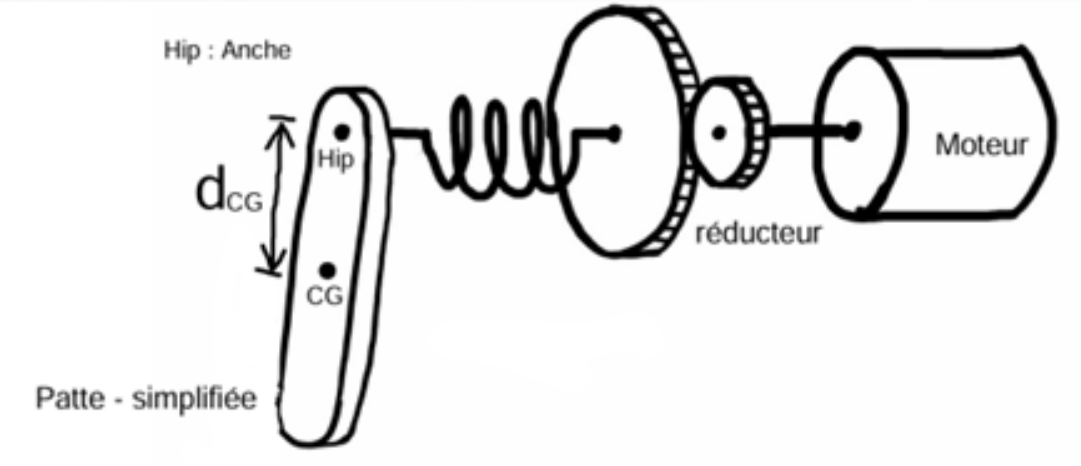
II- ANALYSE DU BESOIN

2/SPÉCIFICATIONS (CONCEPTION MÉCANIQUE)



III- CONCEPTION MÉCANIQUE

1/ MOTEUR À ENTRAÎNEMENT QUASI-DIRECT- MIT



$$C_{\text{moteur}} \geq 3.2 \sin(\theta_{\text{max}}) \text{ Nm} \geq 3.2 \text{ Nm}$$



Modèle MITHT04

Characteristics	Values
Mass	720 g
Dimensions	96 mm O.D., 40 mm axial length
Maximum Torque	35 Nm
Continuous Torque	13 Nm (gear ratio 6 :1)
Communication Protocol	CANBus
Connector	XT30/GH1.25
Power Supply	24-48 V DC
Encoder Precision	12-bit, 0.087-degree
Control Mode	Torque loop, speed loop, and position loop

Characteristics	Values
Mass	610 g
Dimensions	96 mm O.D., 40 mm axial length
Maximum Torque	17 Nm
Continuous Torque	6.9 Nm
Maximum Output Speed	40 rad/s @ 24 volts
Maximum Output Power	+250 680 watts
Current Control Bandwidth	45 kHz @ 45 Nm, 15 kHz @ 17 Nm
Output Inertia	0.00023 kg·m ²

Spécifications Moteur MIT HT04 :

Modèle MITHT03

“A Low Cost Modular Actuator for Dynamic Robots”

III- CONCEPTION MÉCANIQUE

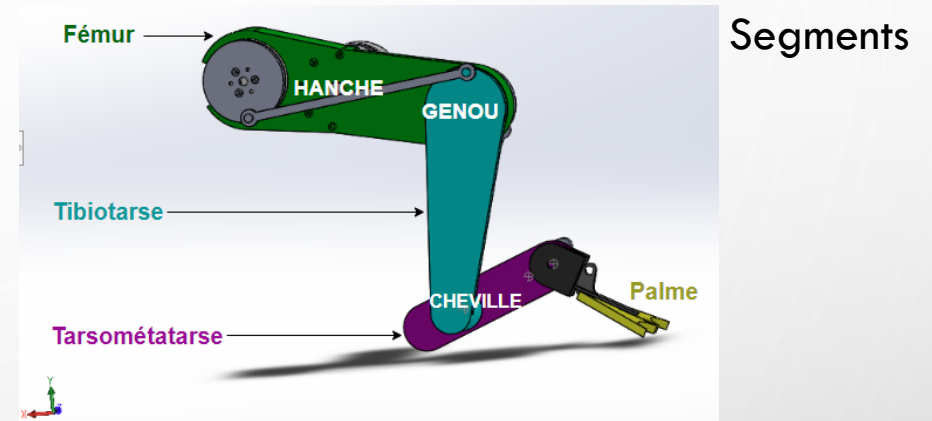
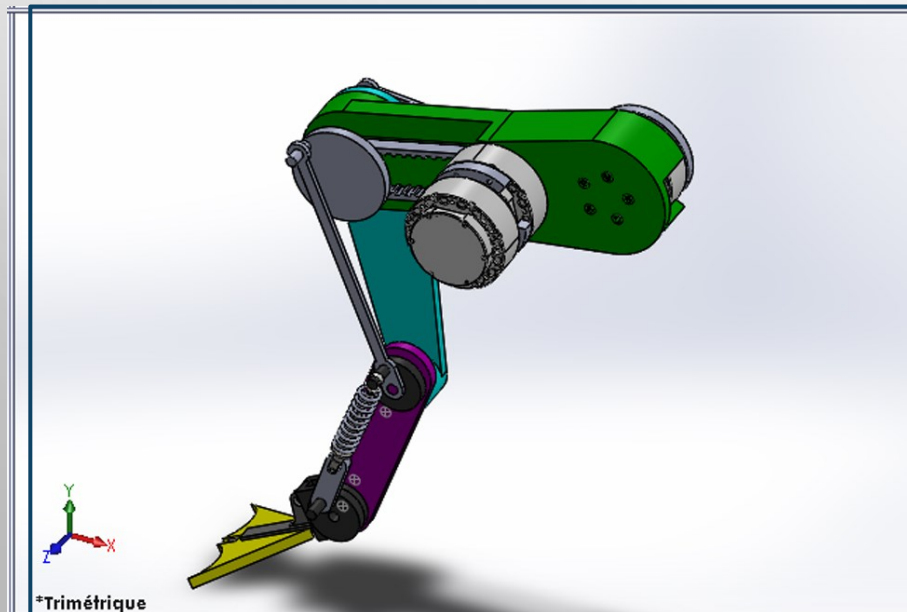
2/CONCEPTION DÉTAILLÉE DU MODÈLE CAO BASÉE SUR LE MOTEUR MITHT04

Longueurs moyennes des segments :

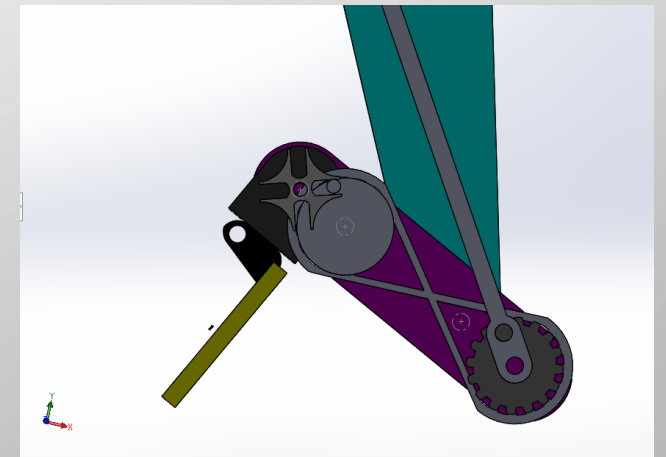
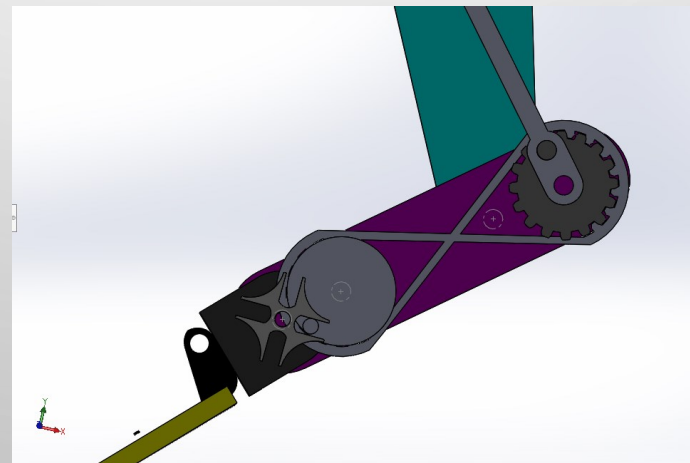
Fémur : 8cm - Tibiotarse : 12cm; - Tarsométatarse : 6cm.

La Conception CAO de ces segments a été faite à l'échelle 2:1

PATTES :



Actionnement des palmes (1) : Système poulie-courroie (croisée,crantée) sur tarsométatarse + croix de malte sur la palme.

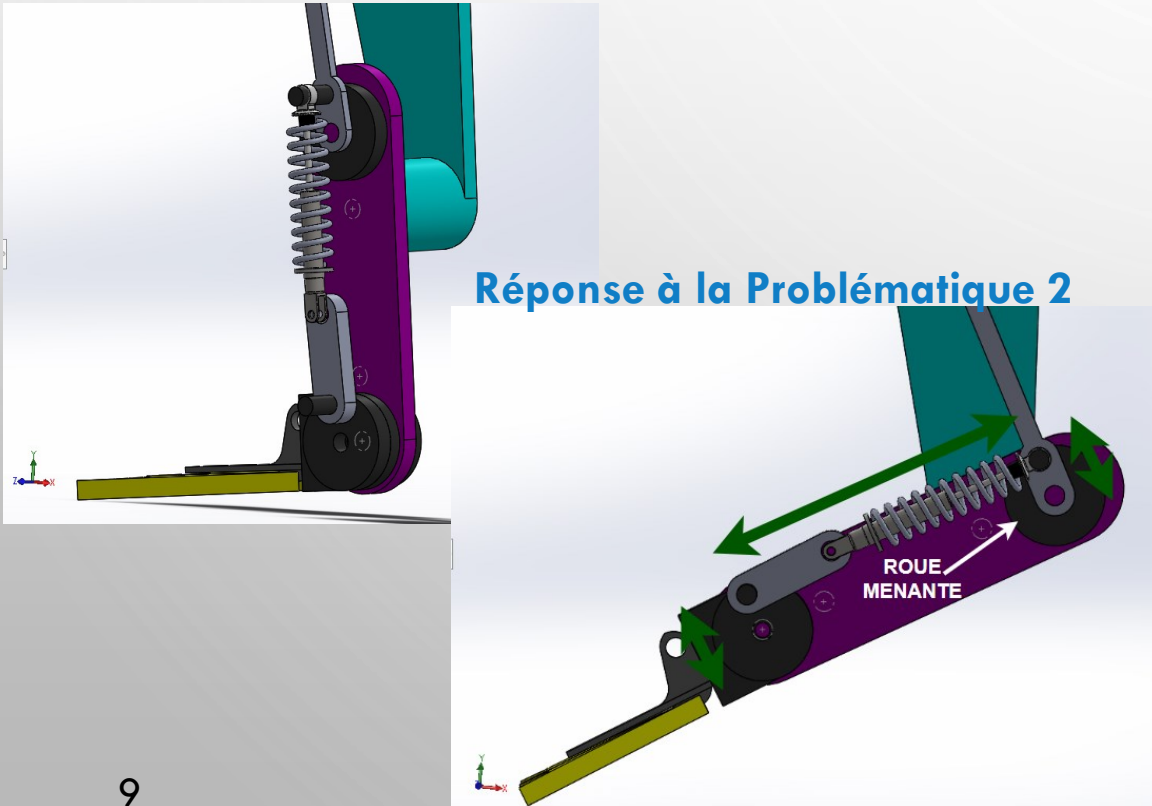


III- CONCEPTION MÉCANIQUE

2/CONCEPTION DÉTAILLÉE DU MODÈLE CAO BASÉE SUR LE MOTEUR MITHT04

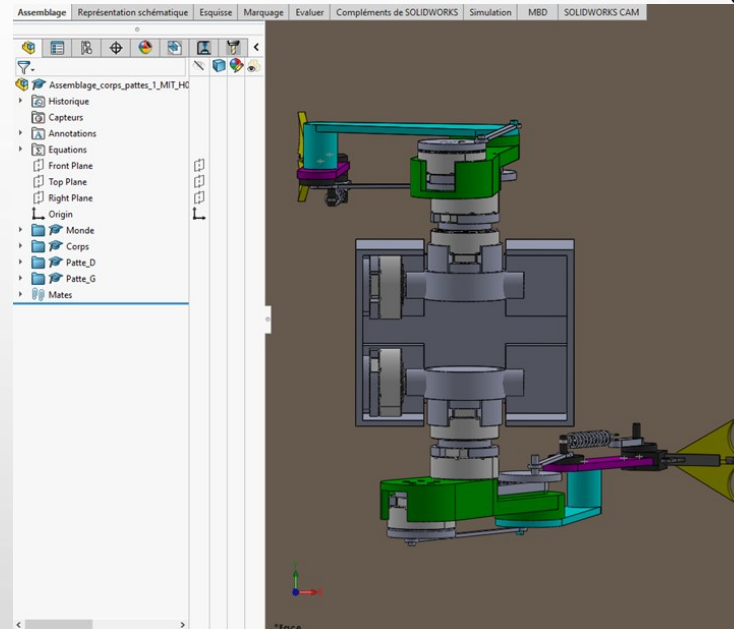
PATTES :

Actionnement des palmes (2) : Mécanisme à quatre barres sur tarsométatarse + ressort linéaire.

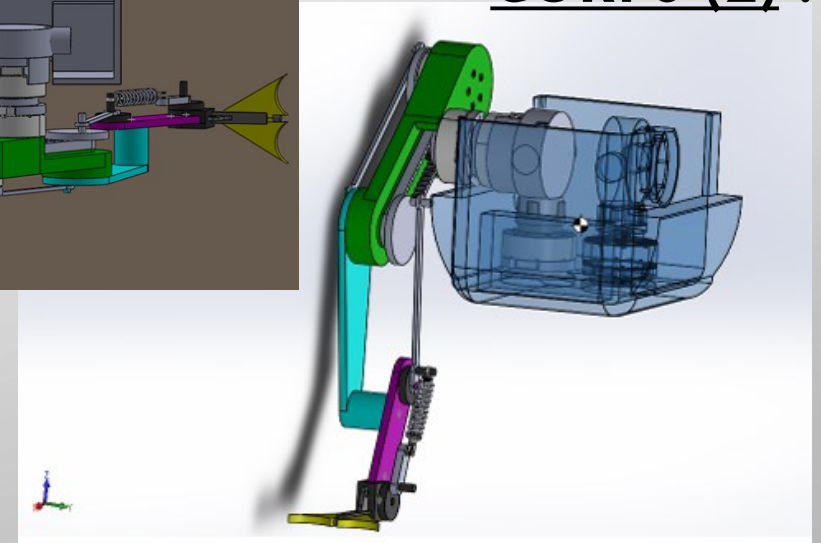


CORPS (1) :

Actionnement du fémur : **roulis** + tangage



CORPS (2) :

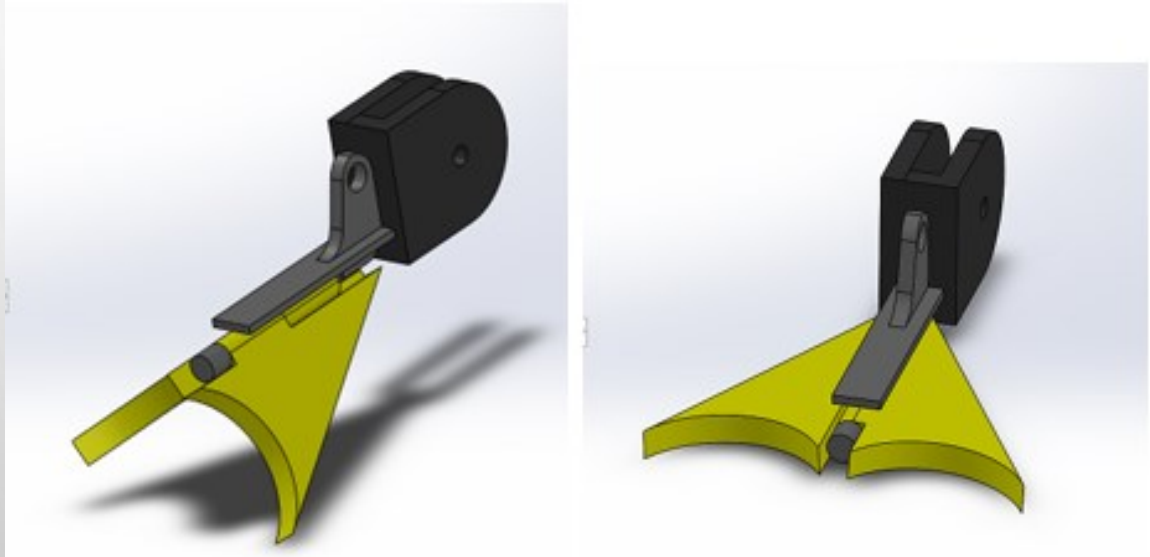


Actionnement du fémur : **lacet** + tangage

III- CONCEPTION MÉCANIQUE

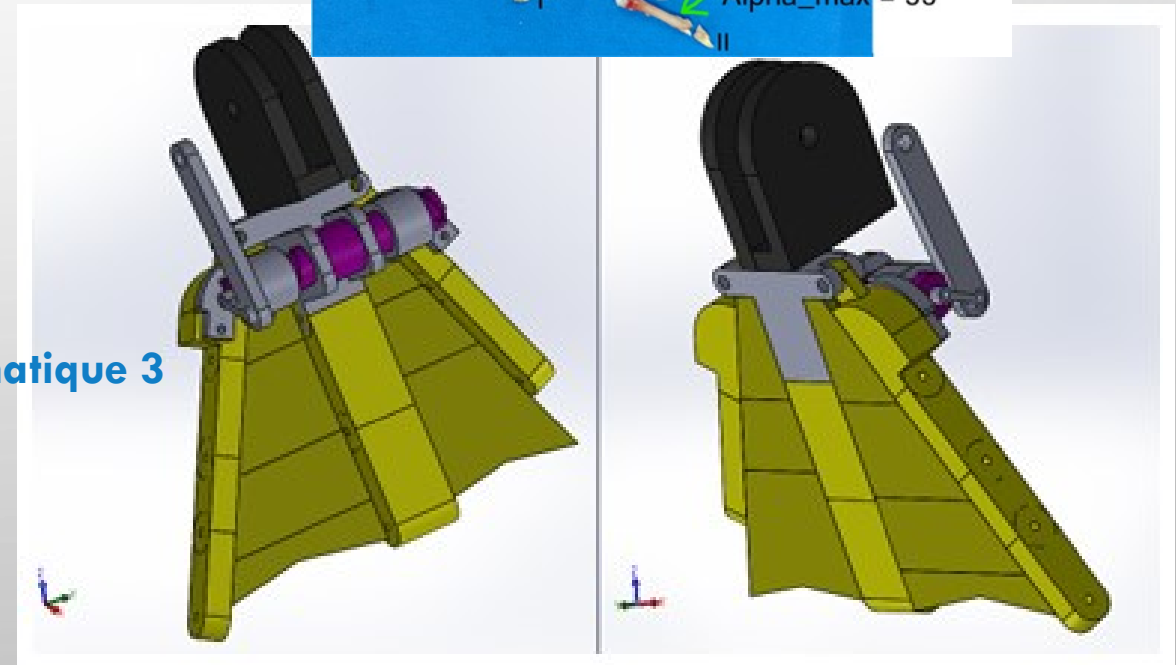
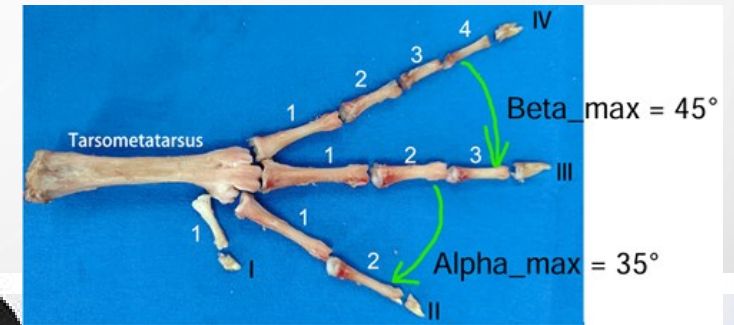
2/CONCEPTION DÉTAILLÉE DU MODÈLE CAO BASÉE SUR LE MOTEUR MITHT04

Palmes (1) :



Palmures rigides

Palmes (2) : Palmures flexibles

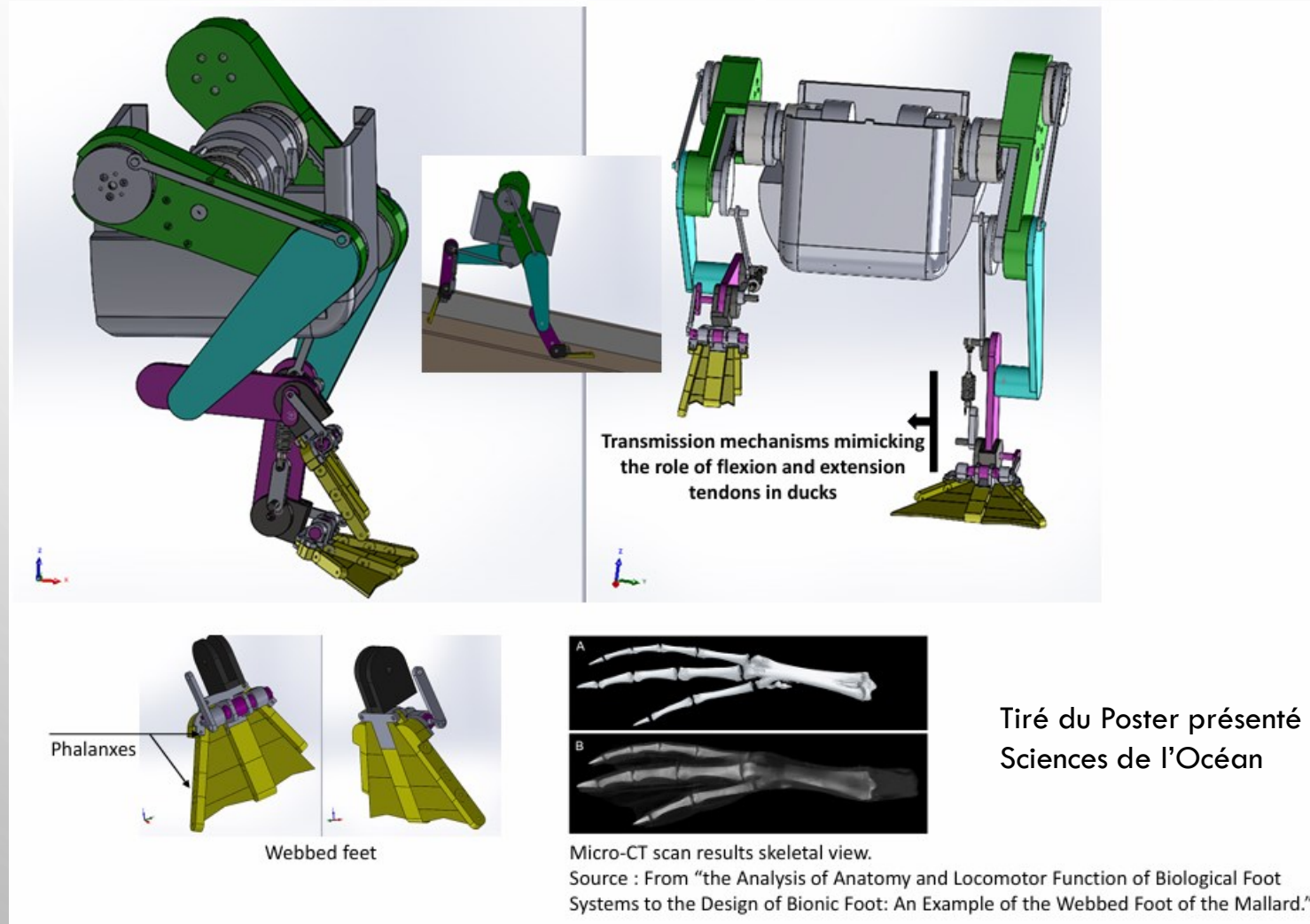


Réponse à la Problématique 3

III- CONCEPTION MÉCANIQUE

2/CONCEPTION DÉTAILLÉE DU MODÈLE CAO BASÉE SUR LE MOTEUR MITHT04

Modèle final :



1/SOLIDWORKS



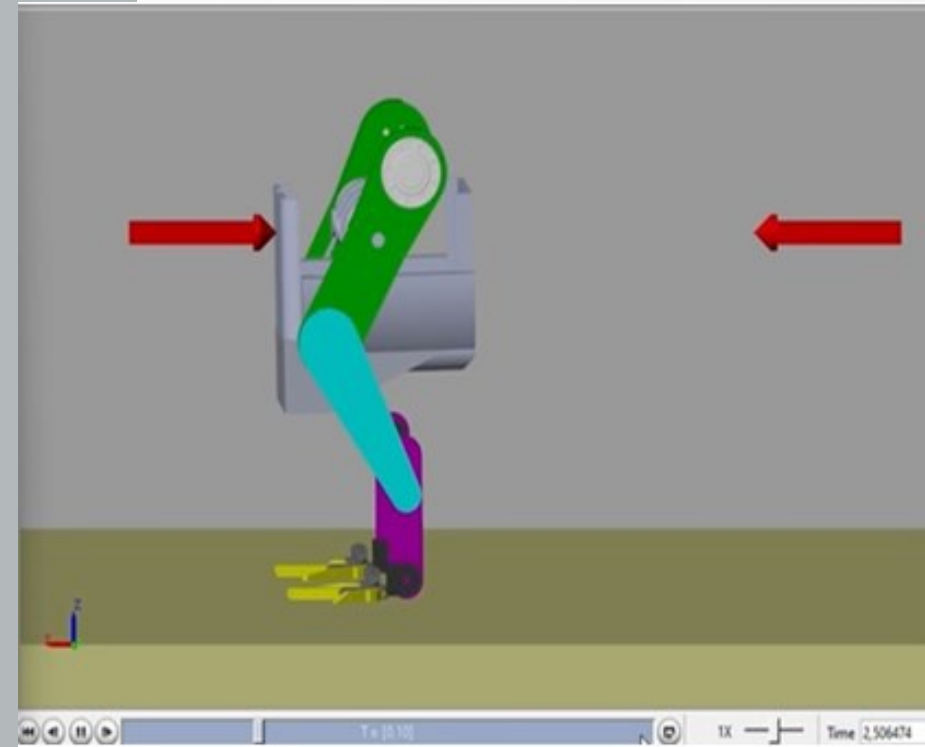
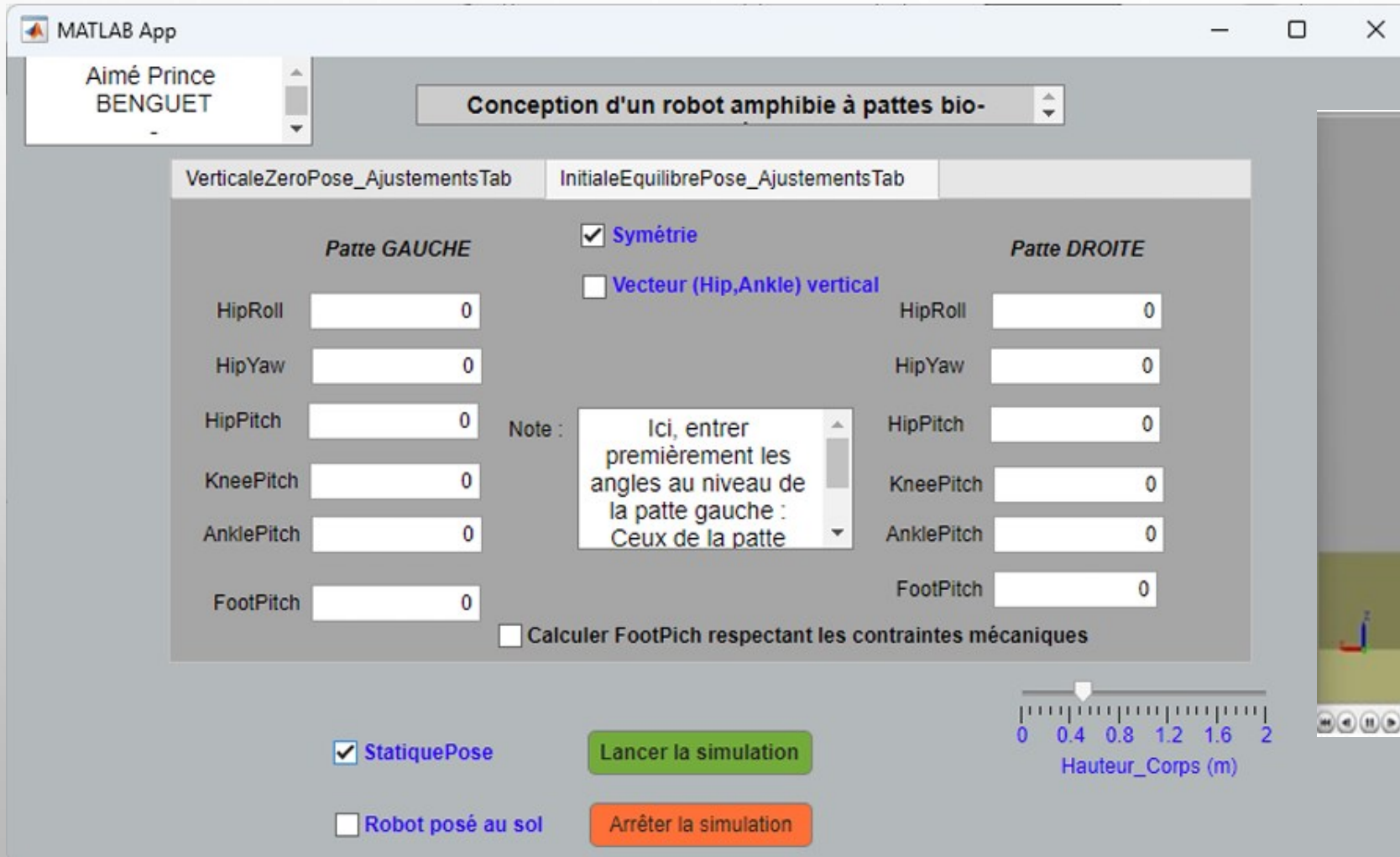
- 12

IV- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT TERRESTRE

2/SIMULINK - SIMSCAPE MULTIBODY



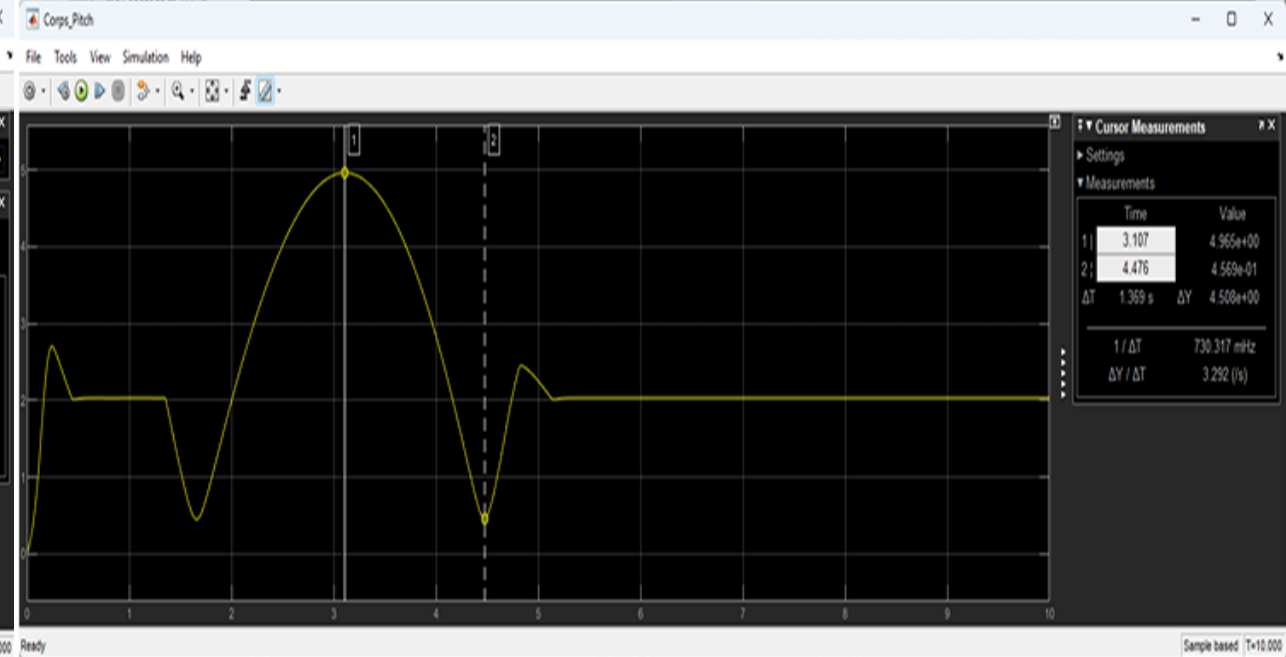
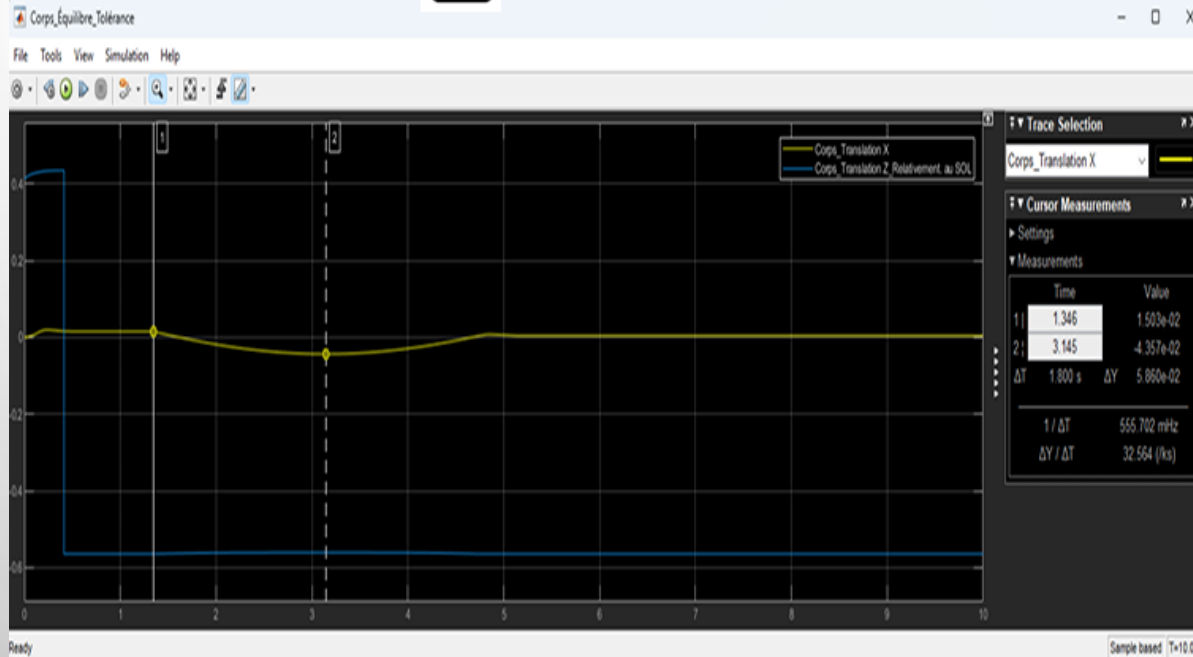
TESTS DYNAMIQUES



Perturbations (2 sens)

IV- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT TERRESTRE

2/SIMULINK - SIMSCAPE MULTIBODY



Perturbation - Translation - Centre de masse :
tolérance d'environ 3 cm.

Perturbation - Angle de tangage - corps :
tolérance d'environ 4°.

Tenue en équilibre du robot vérifiée (symétrie, butée sur les palmes, centre de gravité)

Le centre de gravité du corps du robot doit être en avant (par rapport aux hanches)

Tolérance à des perturbations

Le bloc actionnant la palme doit effectivement intégrer un ressort

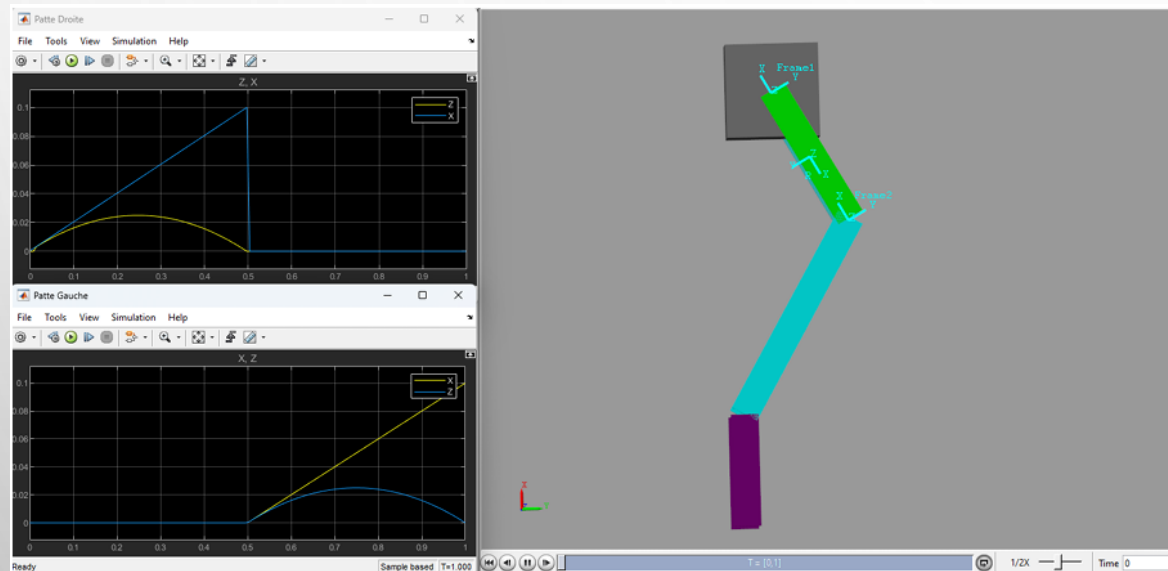
Capacité des palmes à propulser le robot vers l'avant grâce à leur flexibilité

IV- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT TERRESTRE

3/CONTRÔLE

❑ MODÈLE CINÉMATIQUE INVERSE UNIQUEMENT

- Paramétrage de Denavit-Hartenberg **modifié** par Khalil-Kleinfinger.



Tests : cinématique inverse

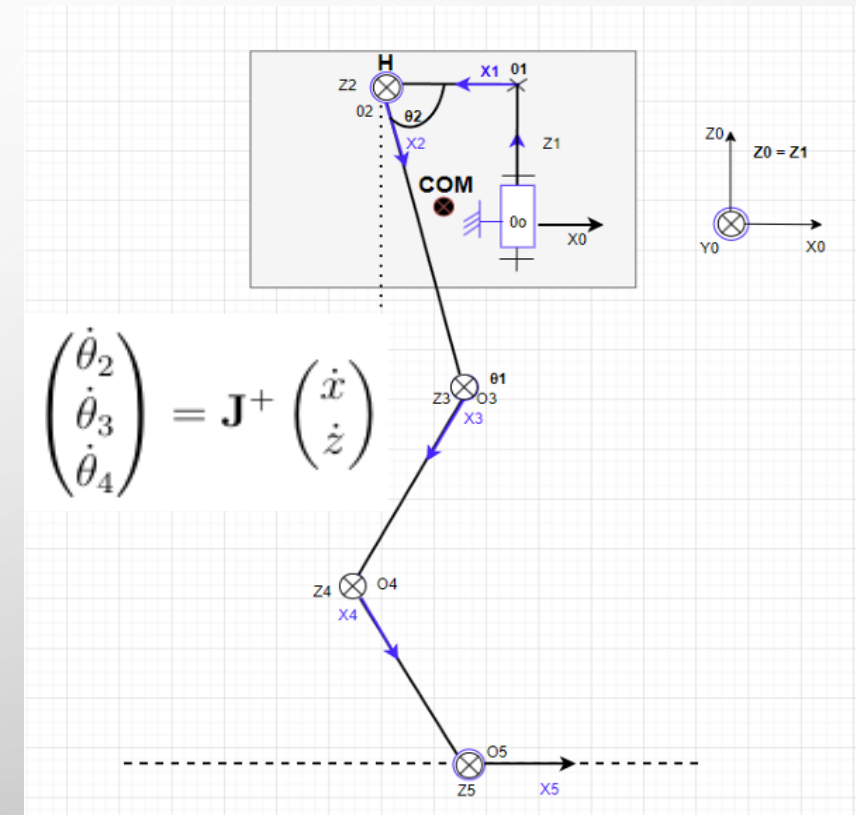
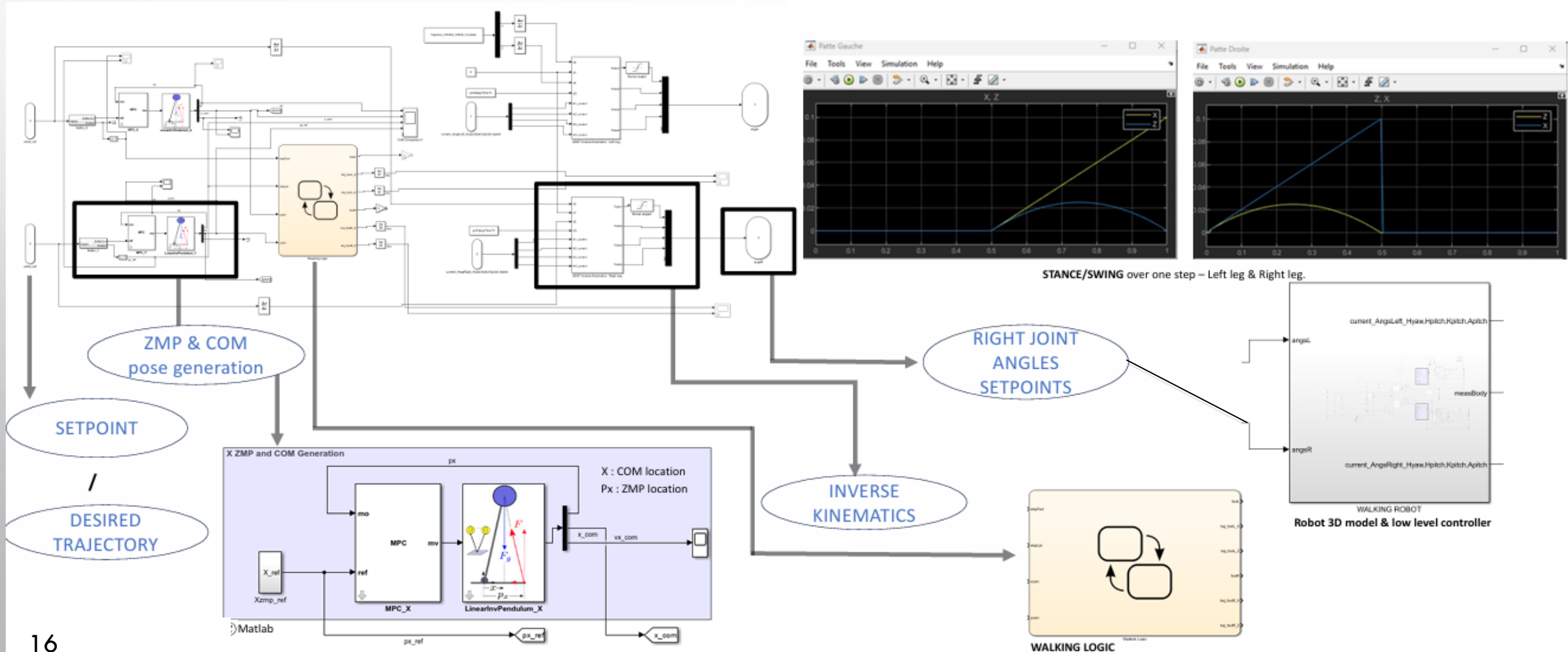


Schéma cinématique

IV- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT TERRESTRE

3/CONTRÔLE

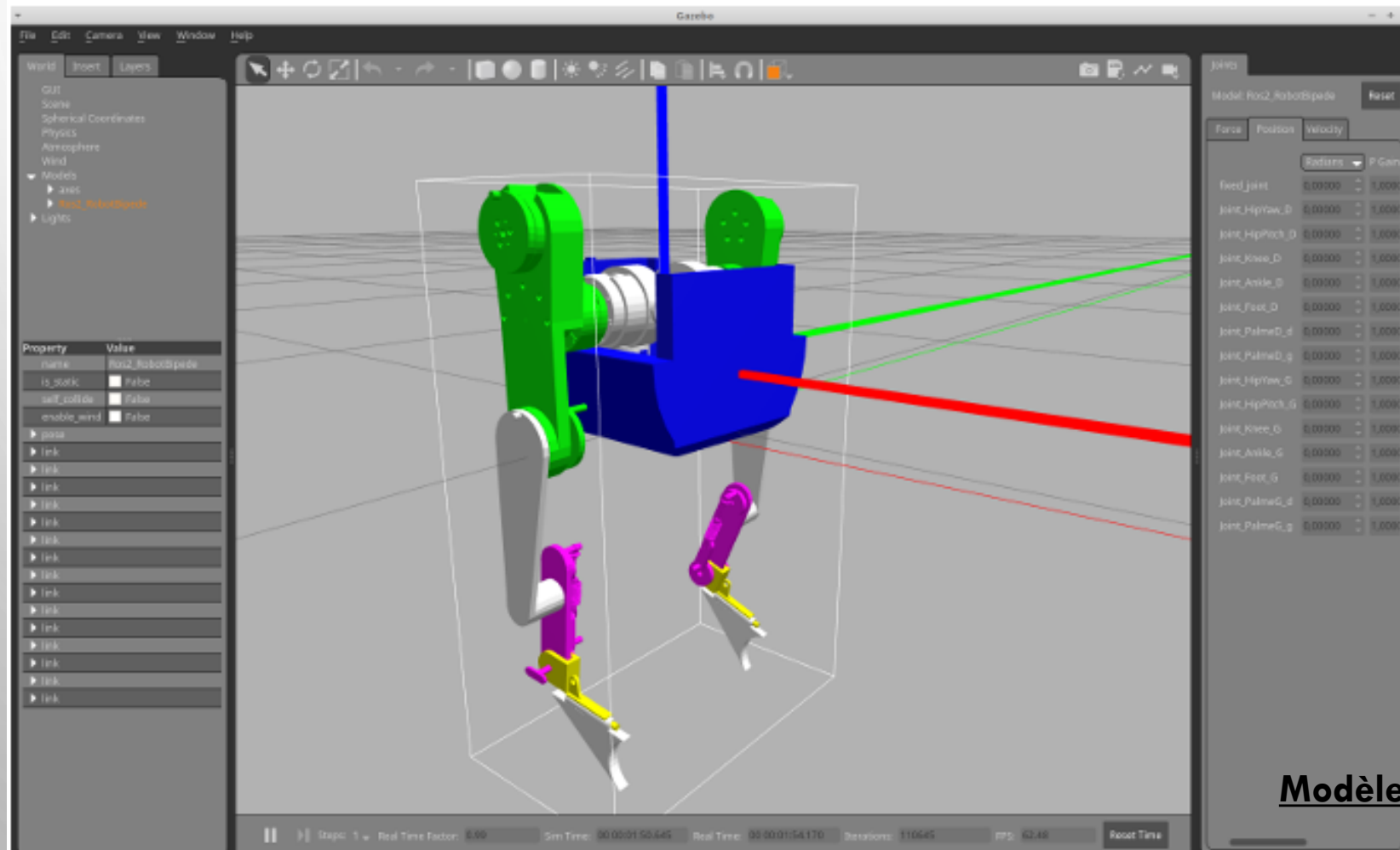
❑ CONTRÔLE PRÉDICTIF (**MPC**) VIA **ZMP** (ZERO MOMENT POINT) ET **LIP** (LINEAR IN VERTED PENDULUM)



V- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT MARIN -ROS

1/ IMPORT DU MODÈLE 3D : SOLIDWORKS VERS ROS

- Utilisation du Plugin SolidWorks to URDF



ROS 2 (version humble)
----->
ROS 1 (version melodic)

Modèle lancé sous Gazebo Classic

V- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT MARIN -ROS

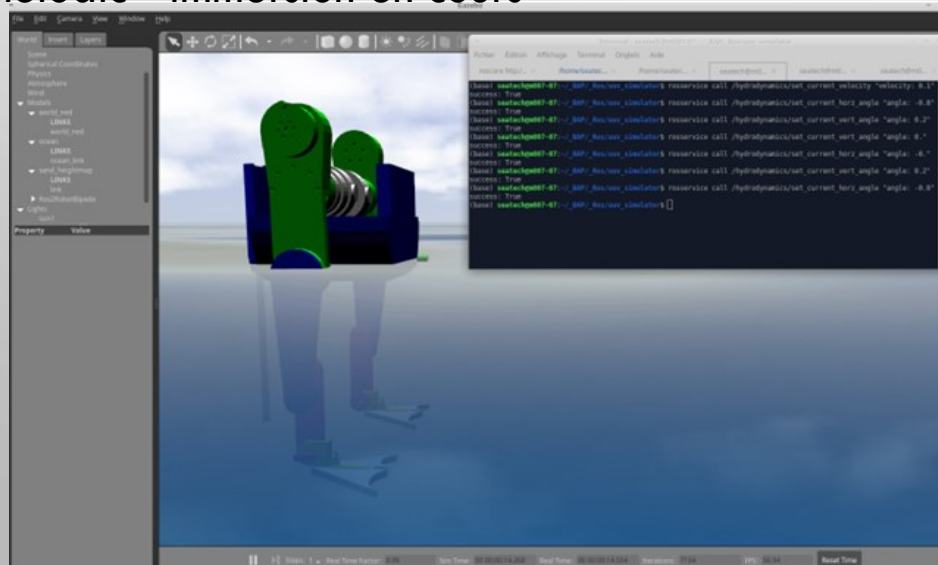
2/ MONDE MARIN- ROS

- UUVSIMULATOR (océans + hydrodynamique)
 - bluerov2

SIMULATIONS

- ❑ 1 - Vérifier l'immersion du robot en considérant tout le robot comme étant la "base-link".
- ❑ 2 - Verifier que les palmes permettent la propulsion du robot.

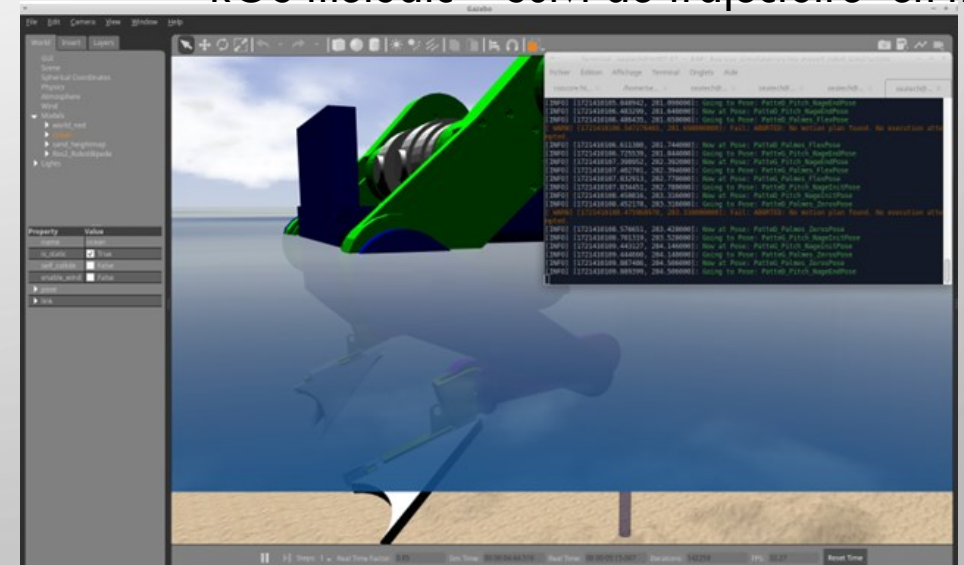
ROS melodic - Immersion en cours



Objectifs :

- Partir du modèle simplifié des palmes
- Vérifier que le robot peut se déplacer en actionnant uniquement l'articulation Ti biotarse/ Tarsométatarse, à une profondeur d'immersion sûre.

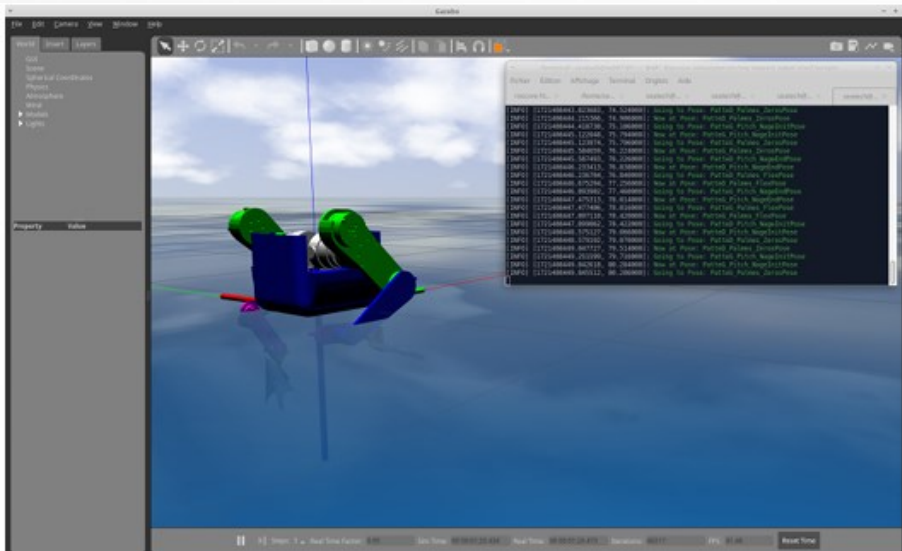
ROS melodic – Suivi de trajectoire en nage



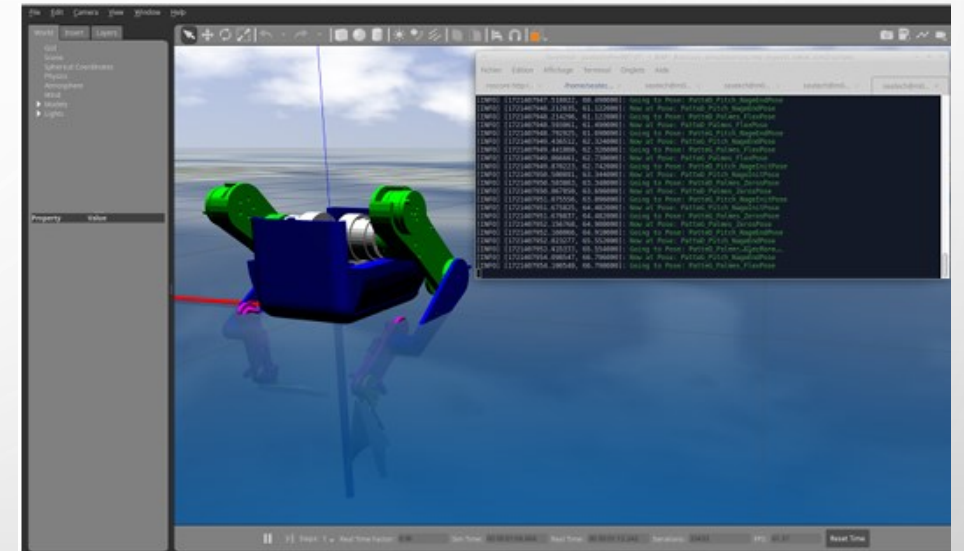
V- SIMULATIONS- ENVIRONNEMENT MARIN -ROS

2/ MONDE MARIN- ROS : CONTRÔLE

- **Movelt**



Simulations de nage - phase de montée
(Patte droite)



Simulations de nage - phase de descente
(Patte droite)

Résultats

- ☐ Le robot flotte à une profondeur d'immersion « sûre ».
- ☐ Le robot parvient effectivement à se déplacer
- ☐ Les palmes simplifiées ont mené à des résultats acceptables : adaptation aux phase de montée / descente.

CONCLUSIONS

—

- ❑ Compléter les études avec les volets électronique et informatique embarquée : choix des composants + estimation plus correcte de la masse du robot.
- ❑ Trouver d'autres outils plus simples pour les simulations marines.
- ❑ Approfondir le contrôle bas niveau des actionneurs pour un suivi de trajectoire dynamique précis.

The background of the slide features a series of concentric circles centered in the upper half, overlaid on a light gray grid pattern that covers the entire area.

MERCI !