

MASTER PROFESSIONNEL RAIA

TRAVAUX PRATIQUES

Atelier Systèmes robotiques articulés

TPN°2 Conception et simulation d'un robot par le logiciel Matlab

Date : -----

Classe : ----- **Durée : 3h**

	<i>Nom & Prénom :</i>	<i>AB/PR</i>	<i>Mot/Part</i>	<i>TP N°</i>	<i>Total</i>
1	-----		/10	/10	/20
2	-----		/10	/10	/20
3	-----		/10	/10	/20

Objectifs du TP :

- ✓ -----
- ✓ -----
- ✓ -----

Conditions de réalisation et moyens :

- ✓ -----
- ✓ -----
- ✓ -----

Objectifs :

- Maîtriser les outils de base pour la conception d'un robot en utilisant : Robotics System Toolbox et SimScape Toolbox de MATLAB.
- Concevoir et piloter un robot via Matlab.

I- Introduction :

Simscape [1] est une extension de Matlab/Simulink (Simulink est un environnement graphique pour simuler et modéliser des systèmes dynamiques. Il est intégré à Matlab, permettant ainsi un accès instantané à une variété d'outils pour le développement d'algorithmes, la visualisation, et données analytiques) pour la modélisation de systèmes électroniques, mécaniques, hydrauliques et thermiques.

Les blocs de la bibliothèque Simscape représentent des composants tels que des résistances, des transistors, des moteurs, des pompes, des ressorts, etc. Simscape comprend plusieurs bibliothèques, telles que celles liées à l'électricité, la thermique, la mécanique ou l'hydraulique.

Simscape un langage multi-domaine, permet la création de composants personnalisés selon les besoins de l'utilisateur dans son propre domaine physique. Le langage est basé sur la programmation textuelle orientée objet de Matlab. Ces composants peuvent être créés à partir de programmes de composants déjà présents dans la Foundation Library.

Robotics System Toolbox™ [2] fournit des outils et des algorithmes pour concevoir, simuler, tester et déployer des applications robotiques mobiles et manipulateurs. Pour les robots manipulateurs, Toolbox fournit des algorithmes pour la détection des collisions, la planification et la génération de trajectoires, la cinématique directe et inverse et la dynamique. Pour les robots mobiles, il fournit des algorithmes de cartographie, de localisation, de planification et de suivi de trajectoires et de contrôle de mouvement.

Robotics System Toolbox™ comprend également une bibliothèque de modèles de robots industriels disponibles dans le commerce que peut être importée, visualisée, simulée et utilisée avec les applications de référence.

La toolbox permet le développement d'un prototype de robot fonctionnel en combinant les modèles cinématiques et dynamiques fournis. Elle permet aussi de cosimuler des applications de robotique en connectant directement au simulateur Gazebo. Pour vérifier les designs sur un hardware, on peut se connecter à des plateformes de robotique comme Kinova Gen3 ou aux robots de la série UR d'Universal Robots, puis générer et déployer du code (avec MATLAB Coder™ ou Simulink Coder™). [2]

II- Conception d'un robot planaire à 2DDL :

Pour concevoir le modèle d'un robot planaire à 2DDL figure N°1 et figure N°2, on utilise SimScape toolbox figure N°3 avec l'outil Multibody qui permet de générer des systèmes robotisés ou des systèmes mécaniques.

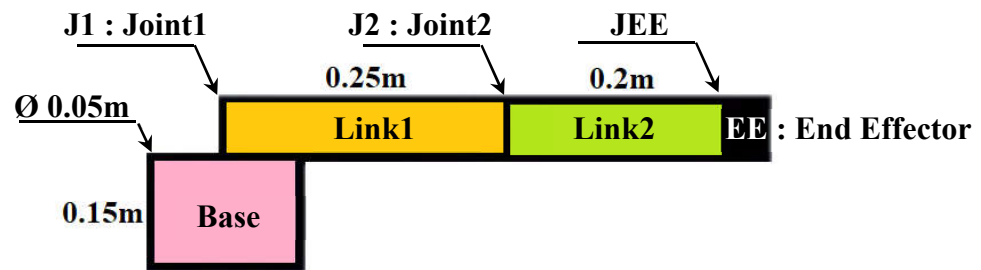


Figure 1 : Robot planaire à 2DDL

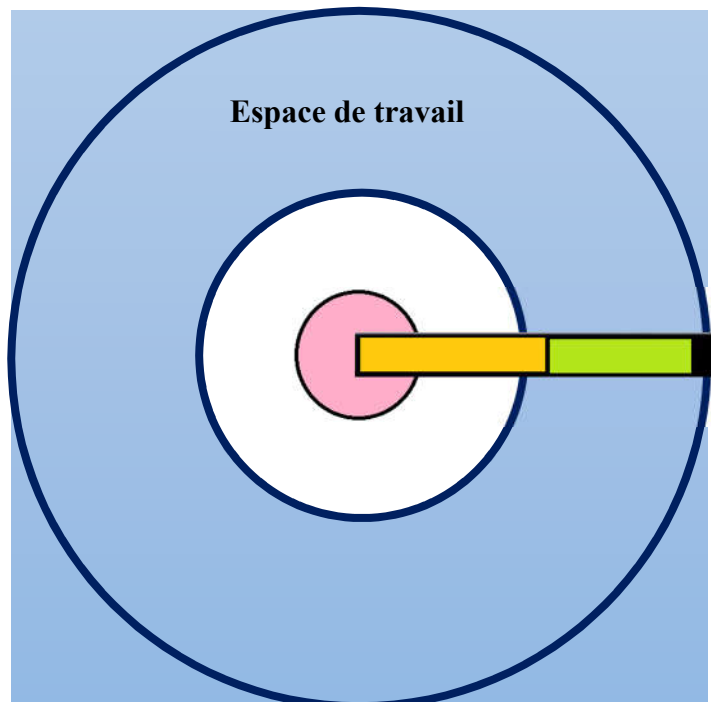


Figure 2 : Espace de travail du robot planaire 2DDL

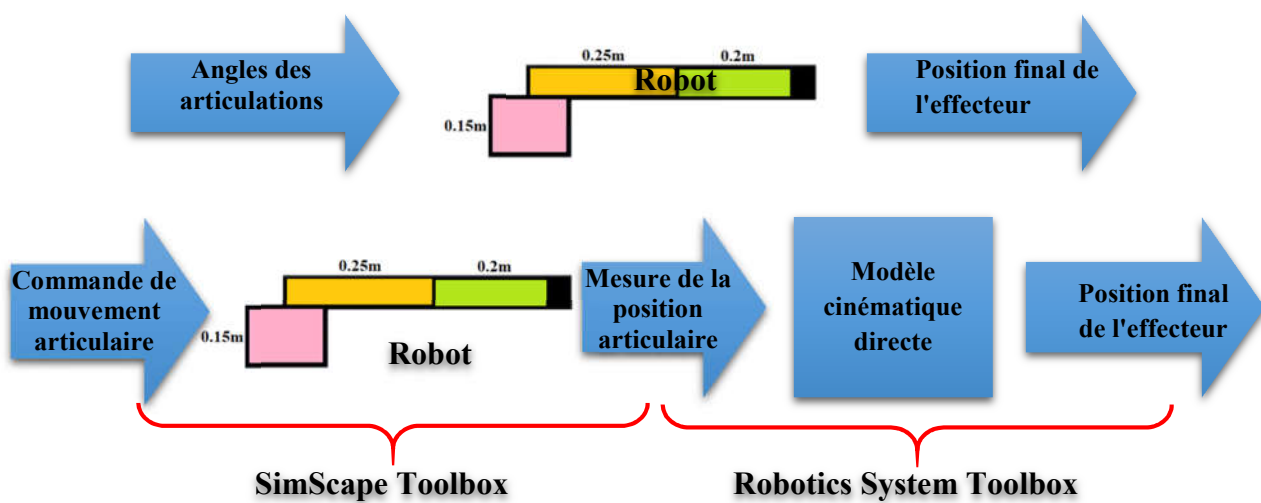
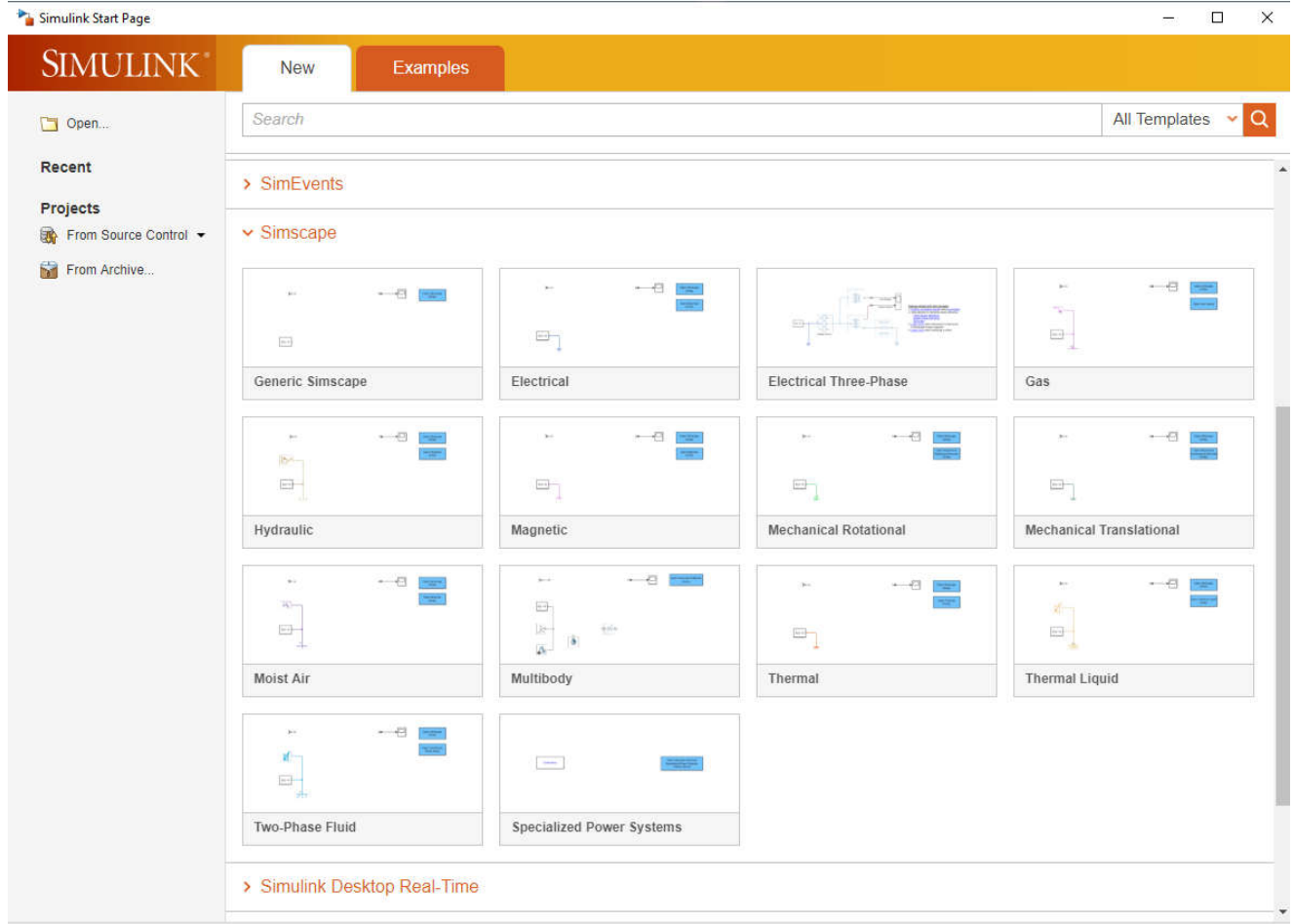
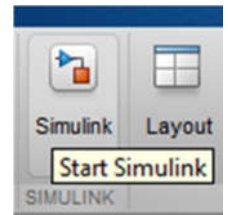
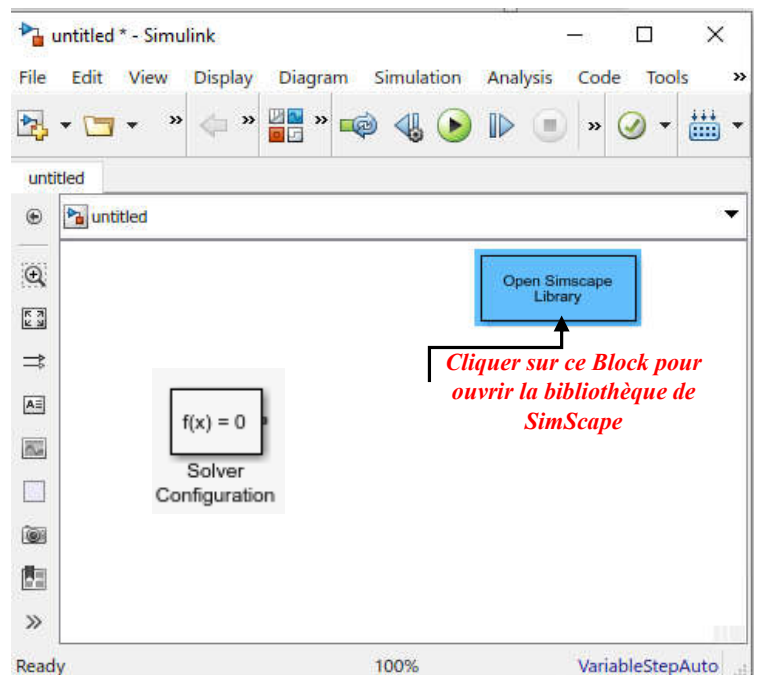


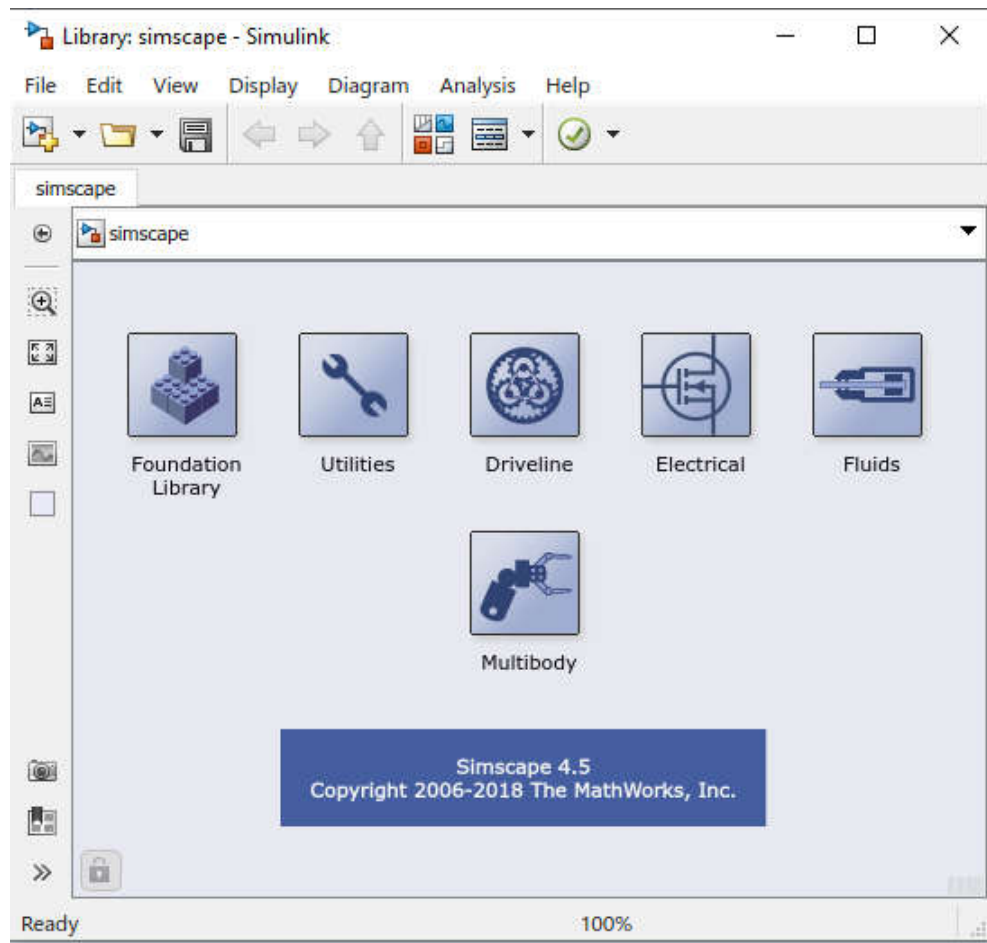
Figure 3 : Synoptique de conception d'un robot à 2DDL

Lancer le logiciel Matlab puis cliquer sur Simulink. La page de démarrage de Simulink s'ouvre. Chercher SimScape Toolbox et cliquer sur Generic Simscape

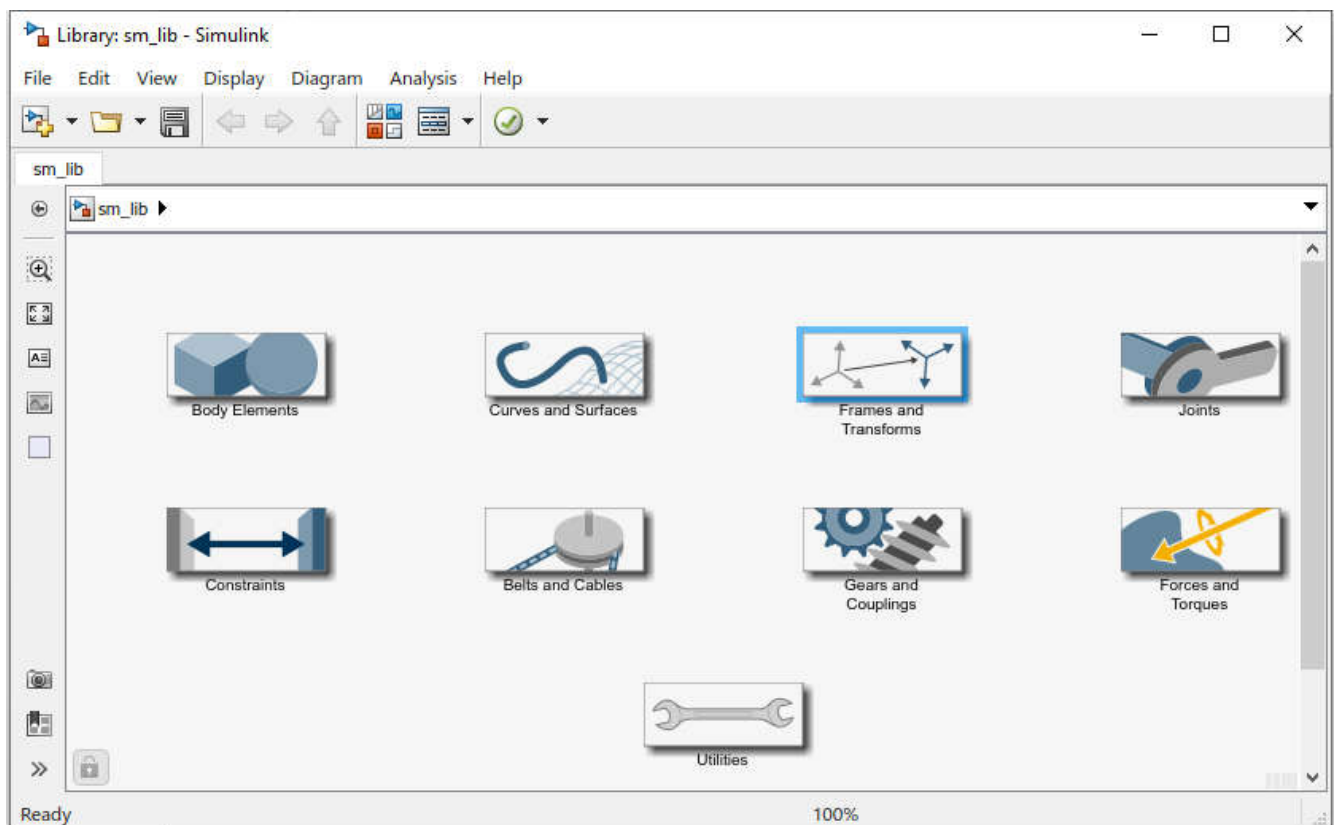


Avant de créer un projet, pour n'importe quel modèle, dans Multibody system il y a trois blocs essentiels à mettre dans la zone de travail de simulink qui sont Solver configuration, World Frame et mechanism configuration.

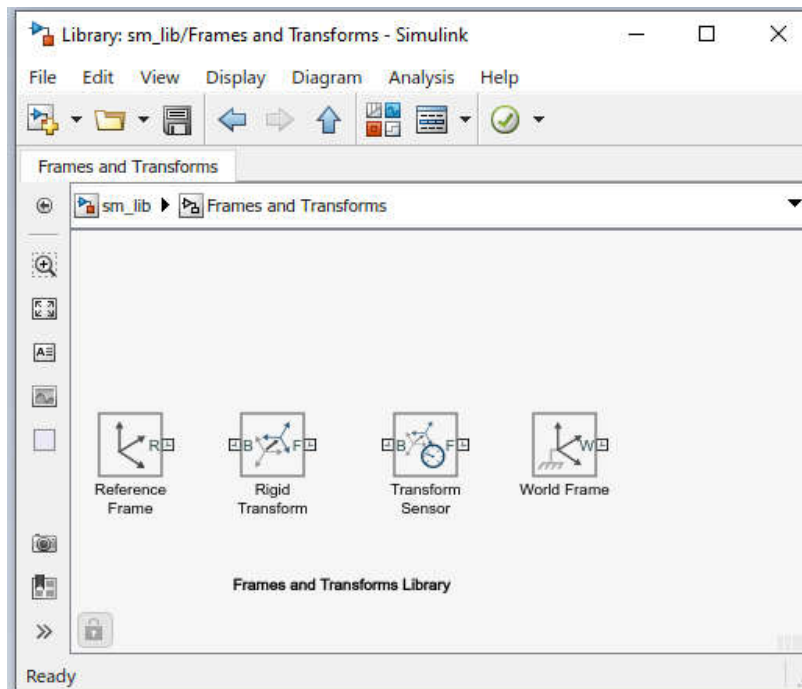




Cliquer sur Multibody, la fenêtre suivante s'affiche :

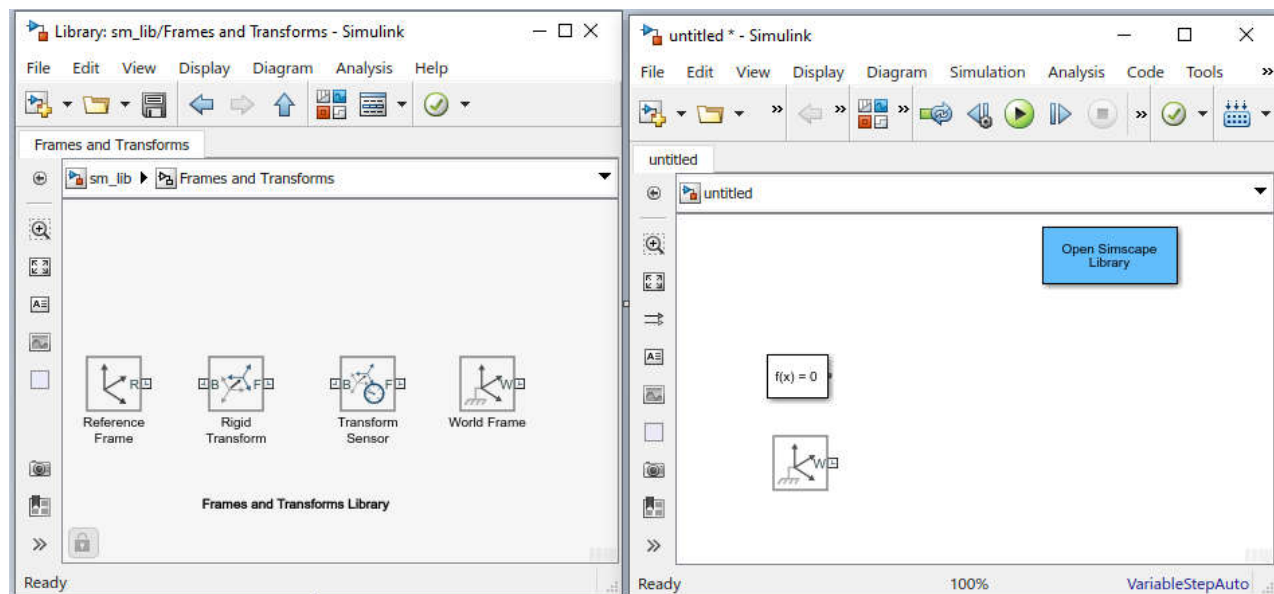


Cliquer sur Frames and Transforms :



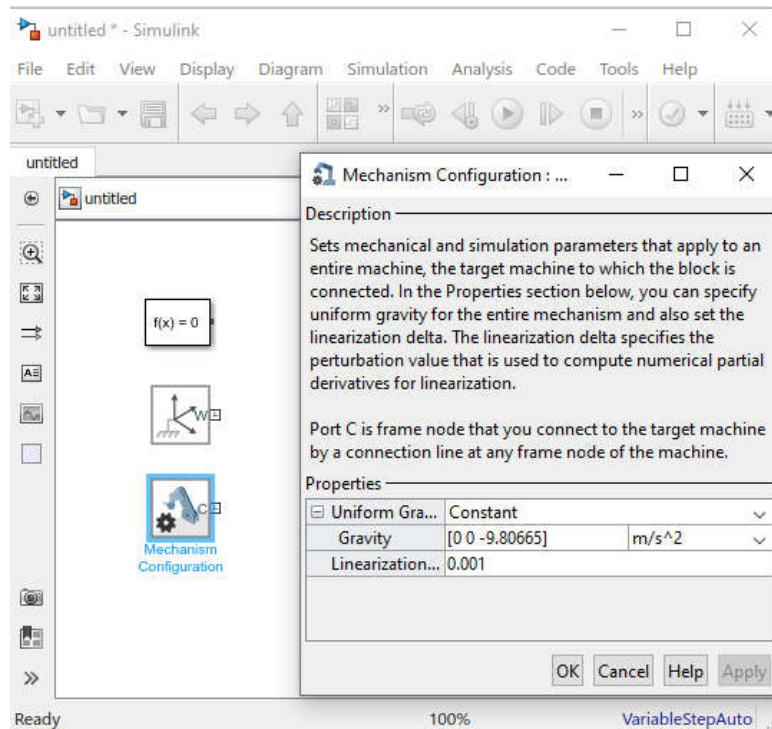
Glisser puis déposer World Frames dans la fenêtre de Simulink :

World Frame est un repère de référence qui permet de définir les coordonnées des tous les mécanismes qui seront construit.



Cliquer sur Multibody puis Utilities. Sélectionner Mechanism Configuration ensuite glisser et déposer Mechanism Configuration dans la fenêtre de Simulink. Mechanism Configuration permet de définir les gravités et les forces appliquées à chaque éléments du modèle.

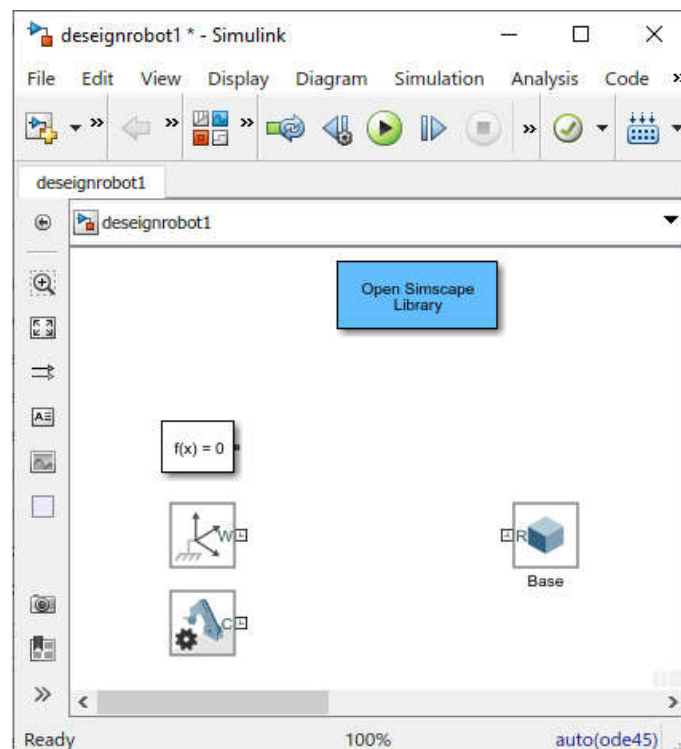




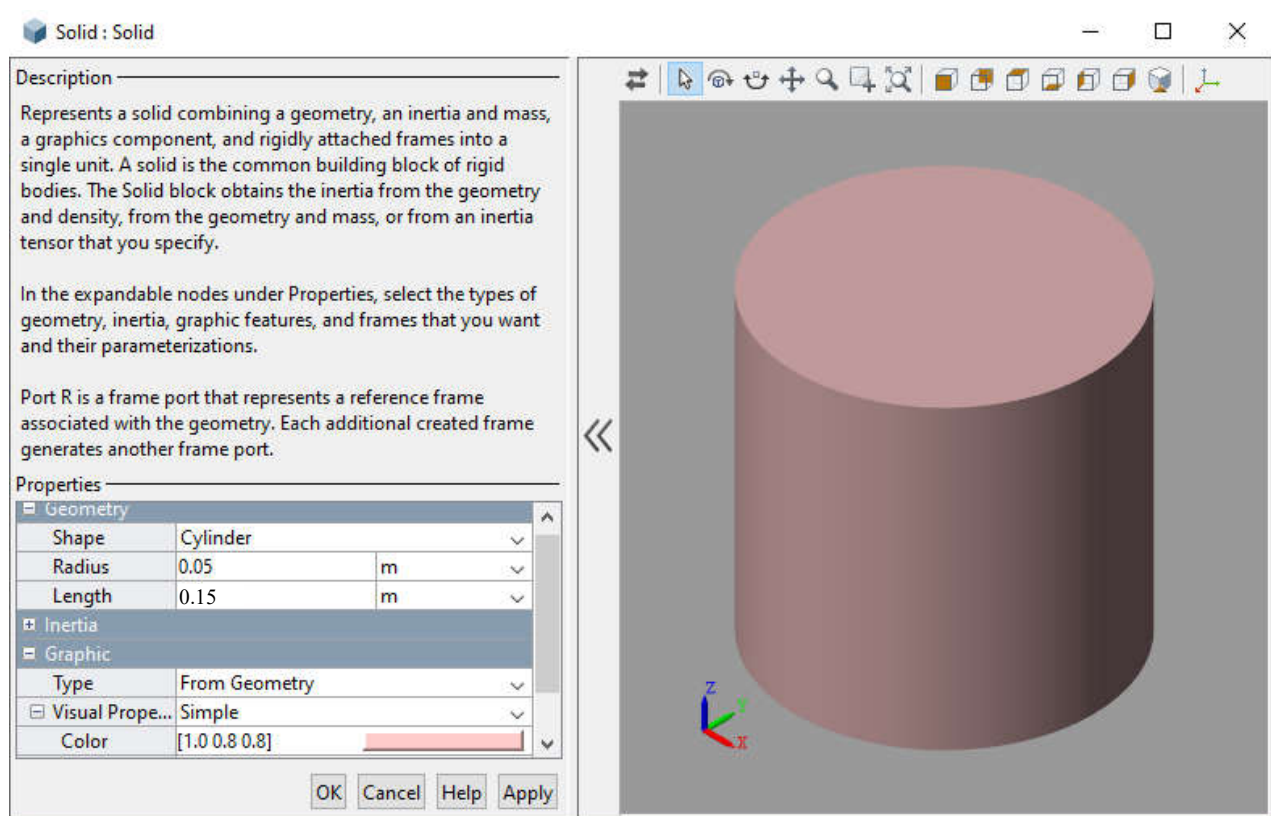
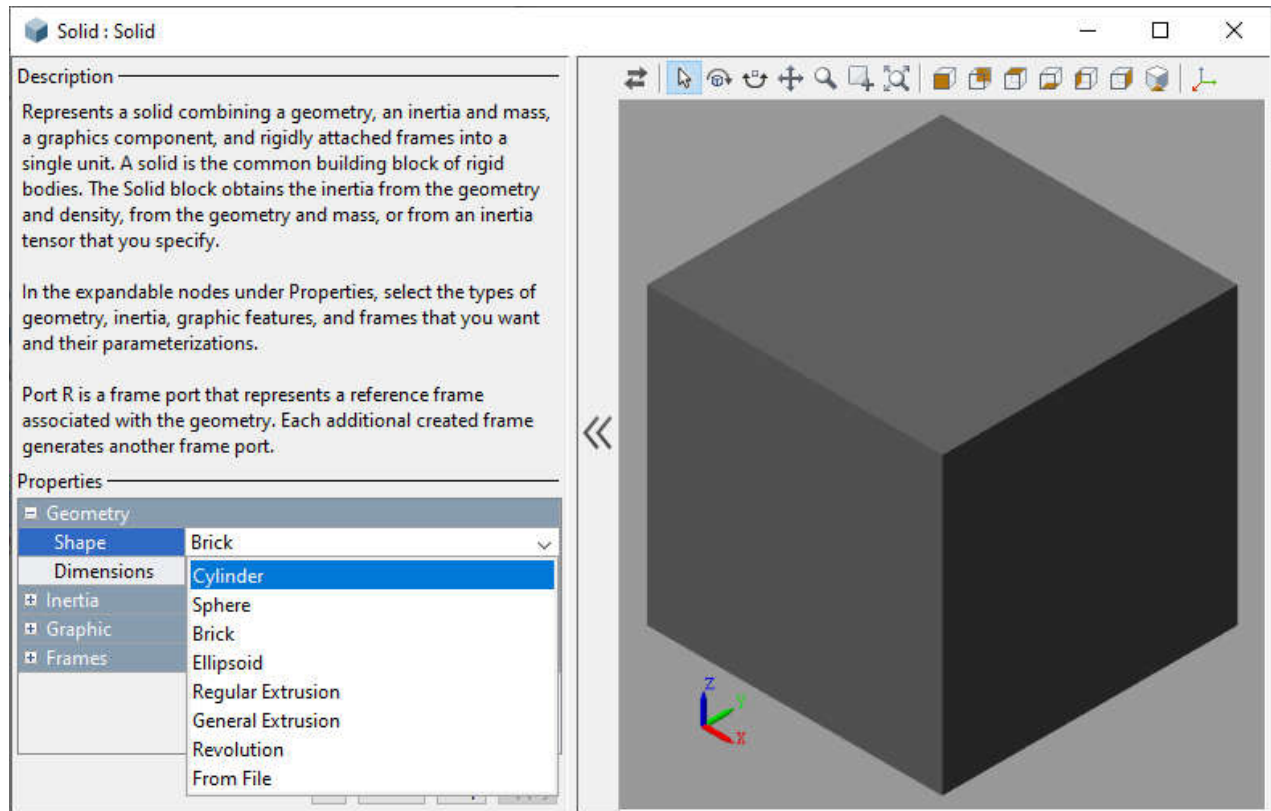
Cliquer sur Multibody puis Body Element. Sélectionner Solid ensuite glisser et déposer le block Solid dans la fenêtre de Simulink.



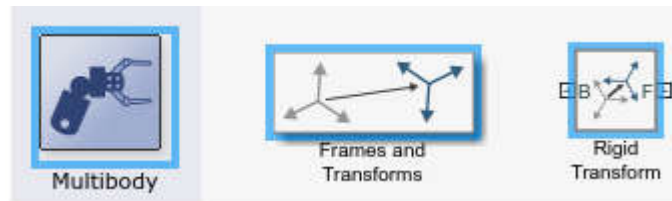
Cliquer une seul fois sur le block Solid puis sélectionner le texte *solid* et le renommer par *Base*.



Pour créer la base du robot planaire cliquer une deux fois sur le block Solid puis configurer les paramètres (forme, couleur, longueur, diamètre) selon les figures ci-dessous

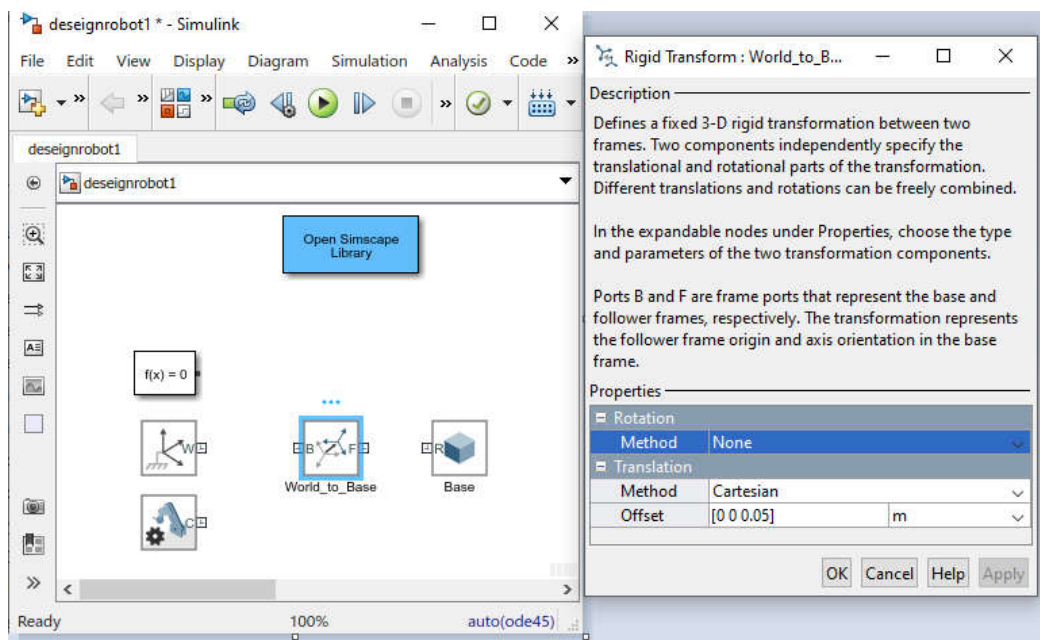


Cliquer sur Multibody puis Frames and Transforms. Sélectionner le block Rigid Transform ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink.

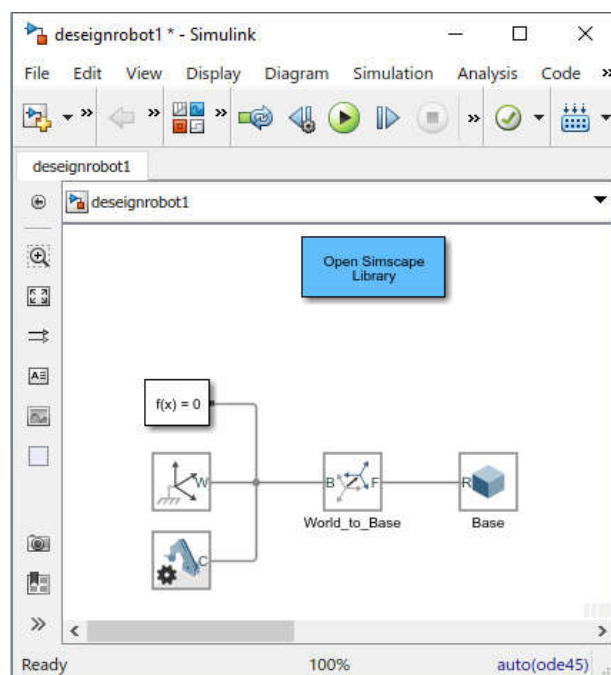


Cliquer une seule fois sur le block Rigid Transform puis renommer le texte par *World_to_Base*.

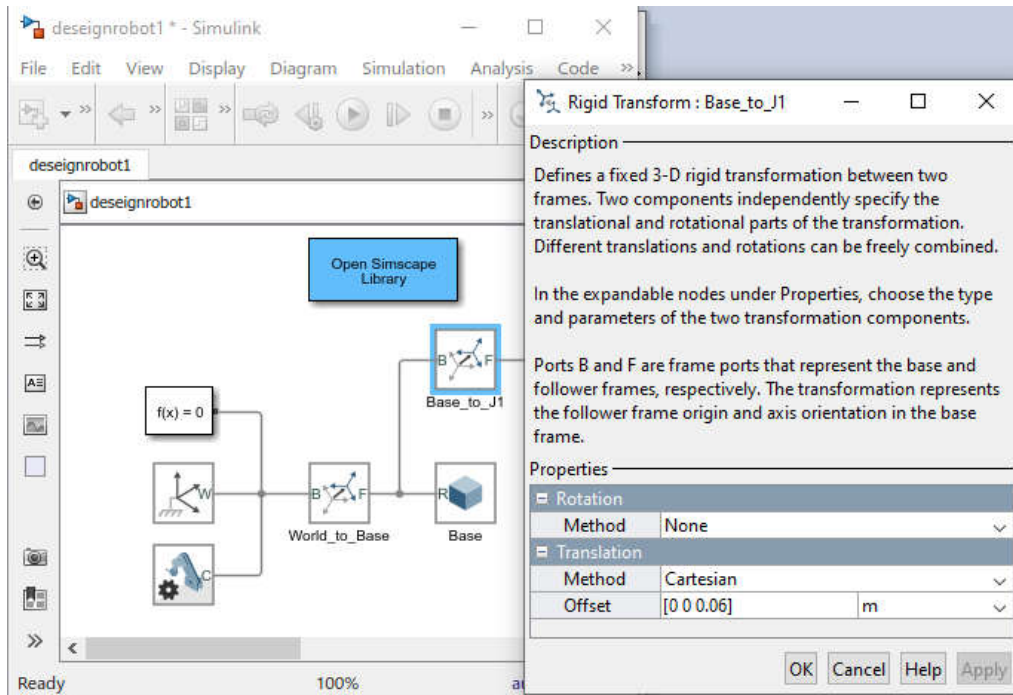
Cliquer une deux fois sur le block Rigid Transform puis configurer les paramètres selon la figure ci-dessous.



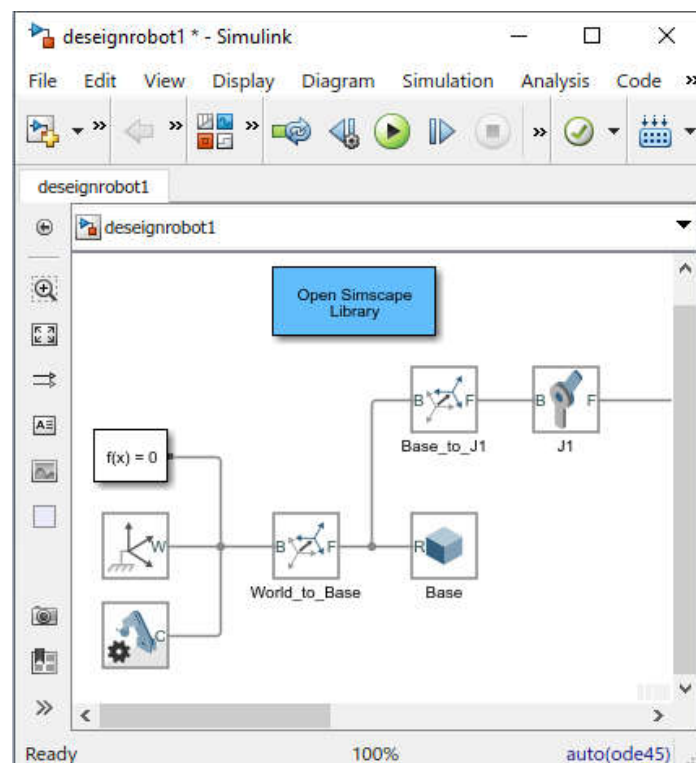
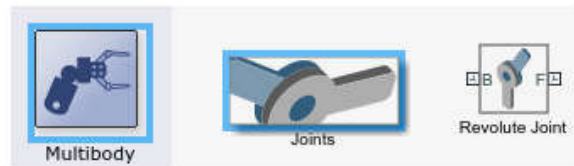
Connecter les différents blocks comme l'indique la figure ci-dessous.



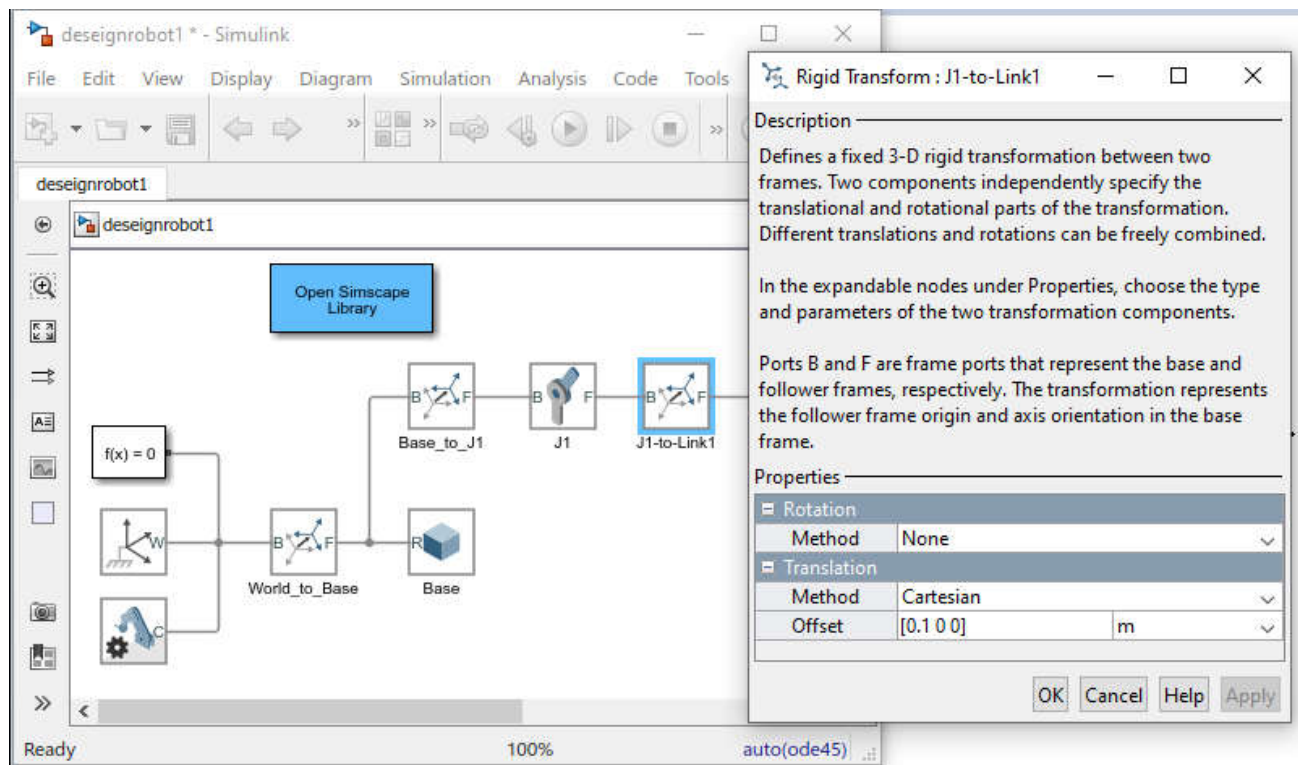
Cliquer sur Multibody puis Frames and Transforms. Sélectionner le block Rigid Transform ensuite glisser et déposer un deuxième block dans la fenêtre de Simulink. Renommer le block par Base_to_J1.



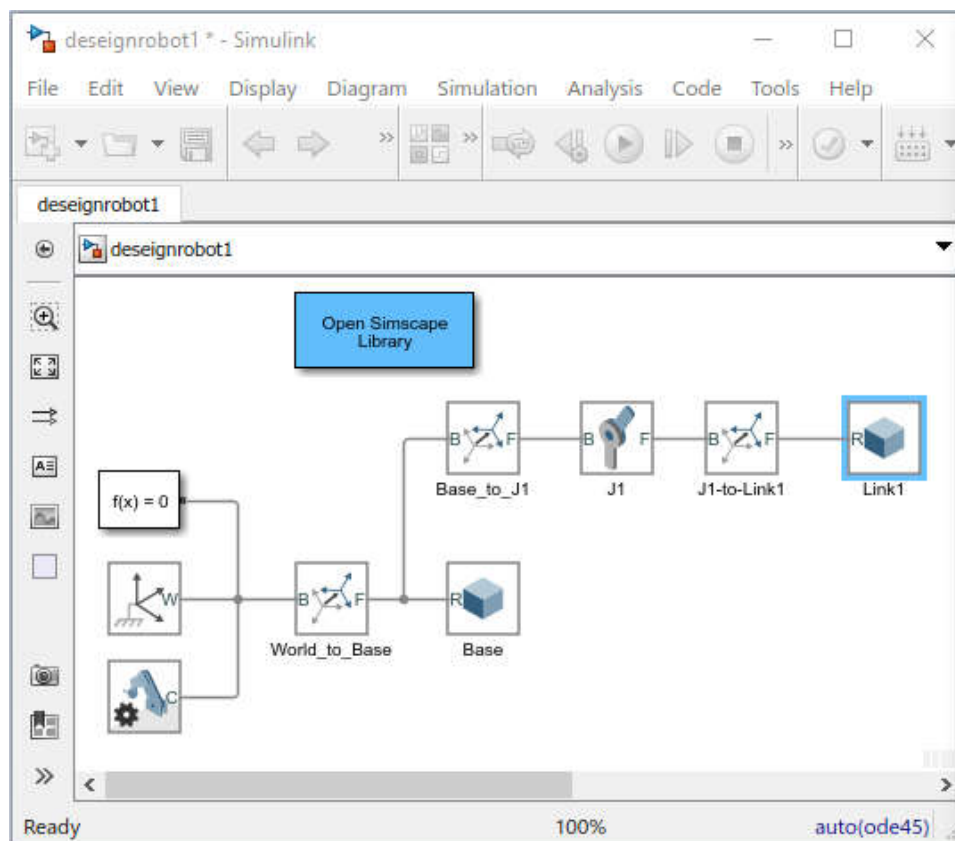
Pour positionner l'articulation sur la base du robot, cliquer sur Multibody puis Joints. Sélectionner le block Revolute Joint ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink. Renommer le block par J1.



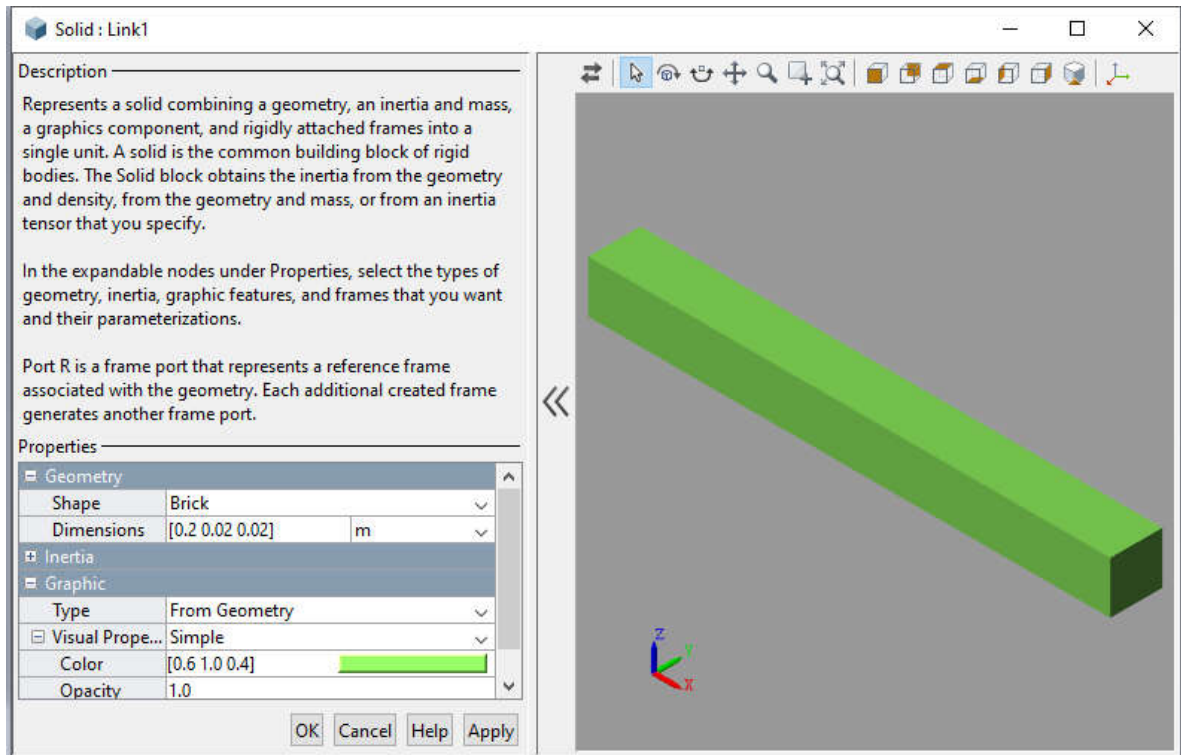
Pour joindre l'articulation **J1** au segment (Link) du robot ajouter un block Rigid Transform et changer son nom à **J1-to_Link1** (le repère sera au milieu du Link1 :Offset [0.1 0 0] m)



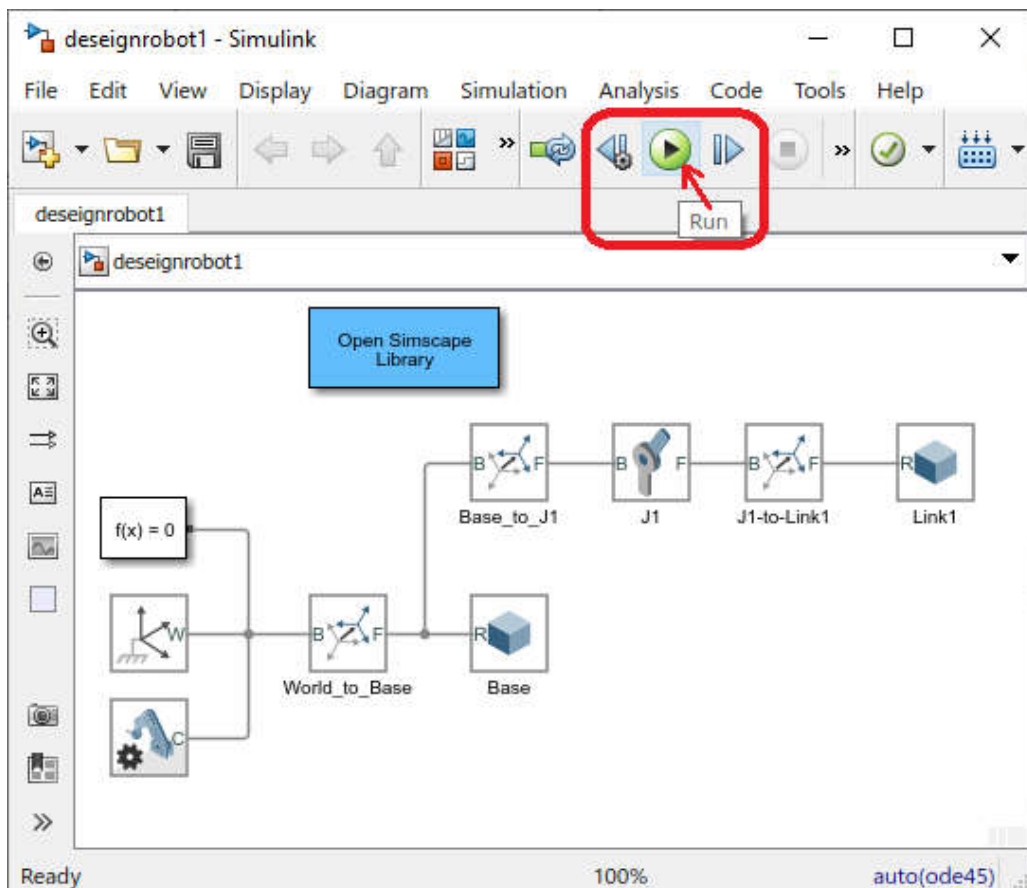
Cliquer sur Multibody puis solid. Sélectionner le block solid ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink. Renommer le block par **Link1**.



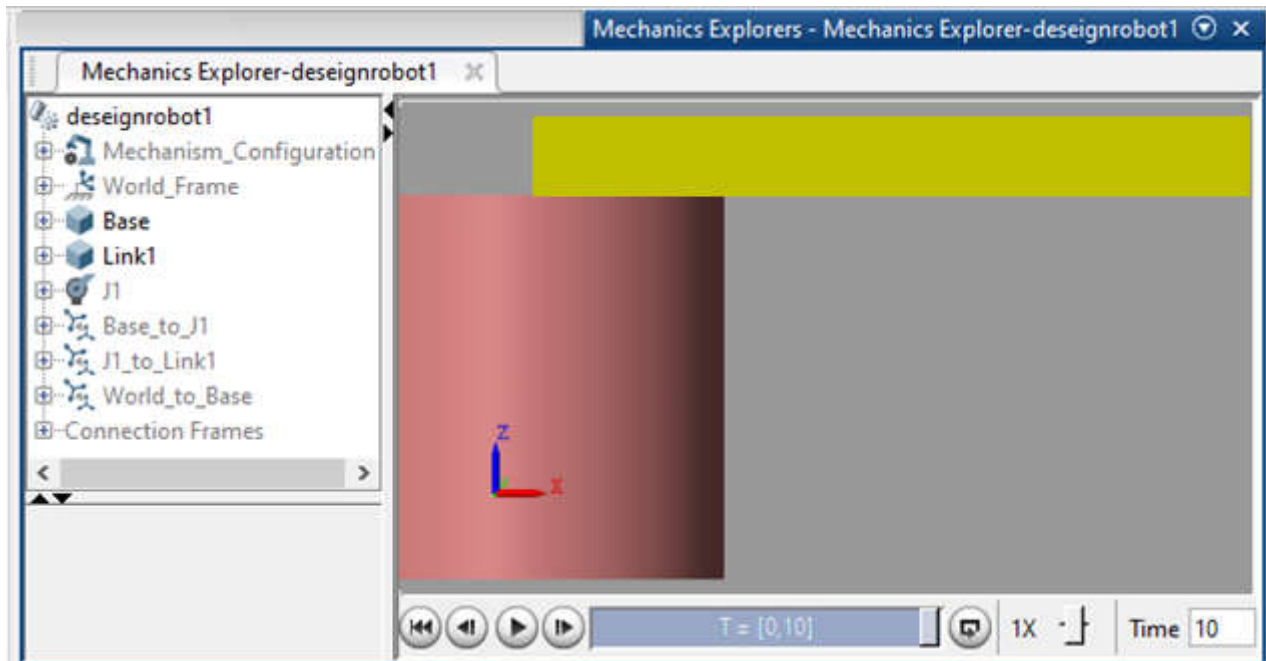
Cliquer une deux fois sur le block **Link1** puis configurer les paramètres (forme, couleur, longueur, etc...) selon la figure ci-dessous.



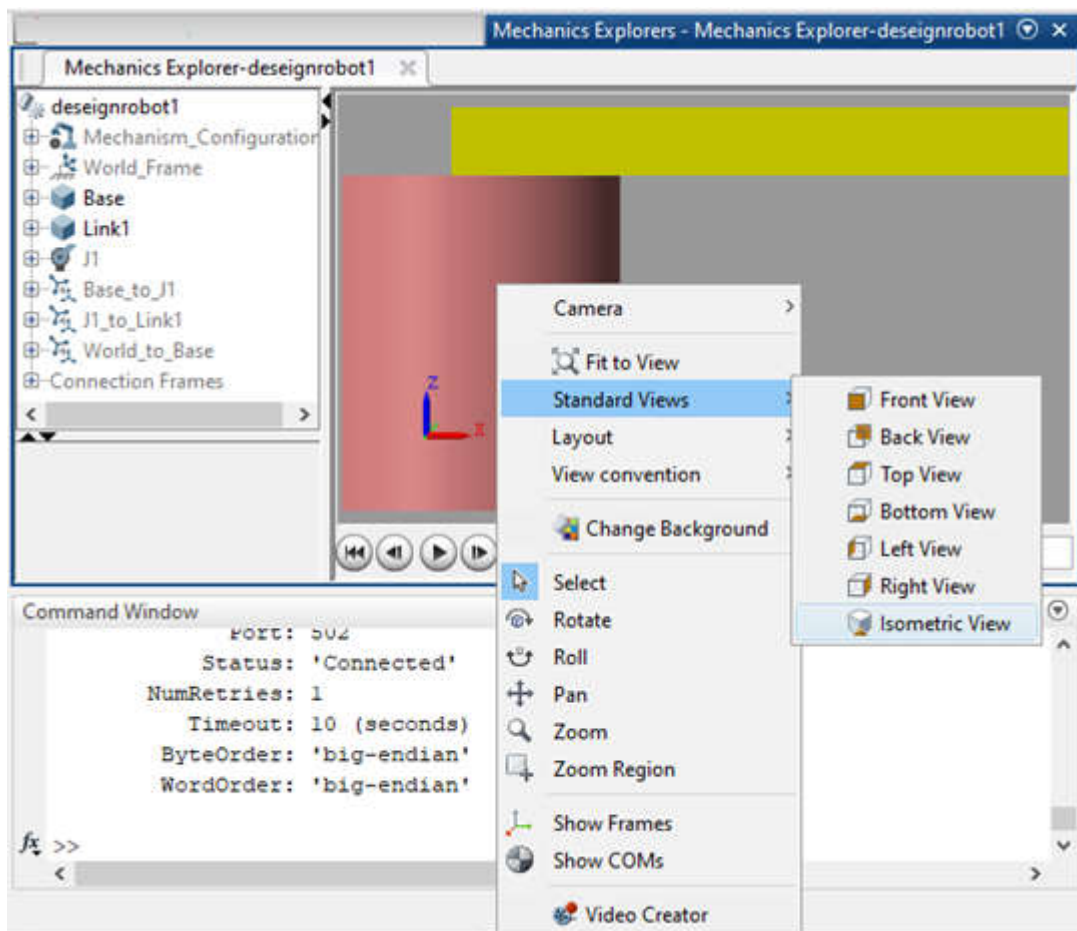
Pour visualiser l'état d'avancement de conception du robot, cliquer sur **Run** dans la fenêtre de simulink



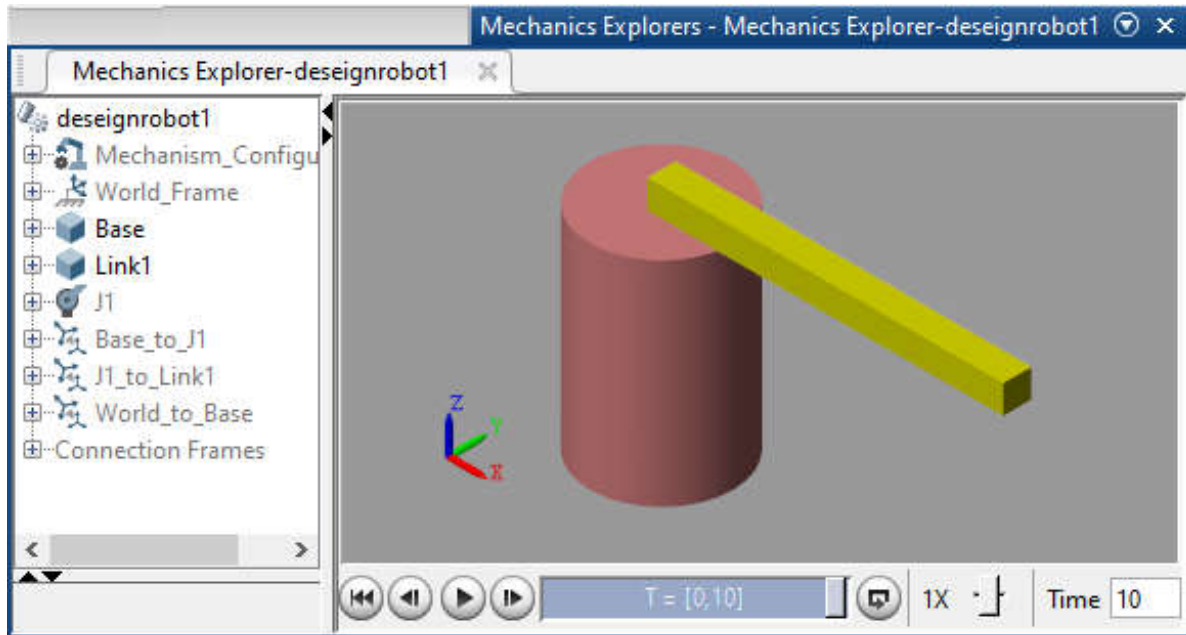
La fenêtre de l'explorateur mécanique s'affiche dans le menu principal de Matlab en montrant la conception du robot vue de face. S'il y a une erreur, on peut la corriger.



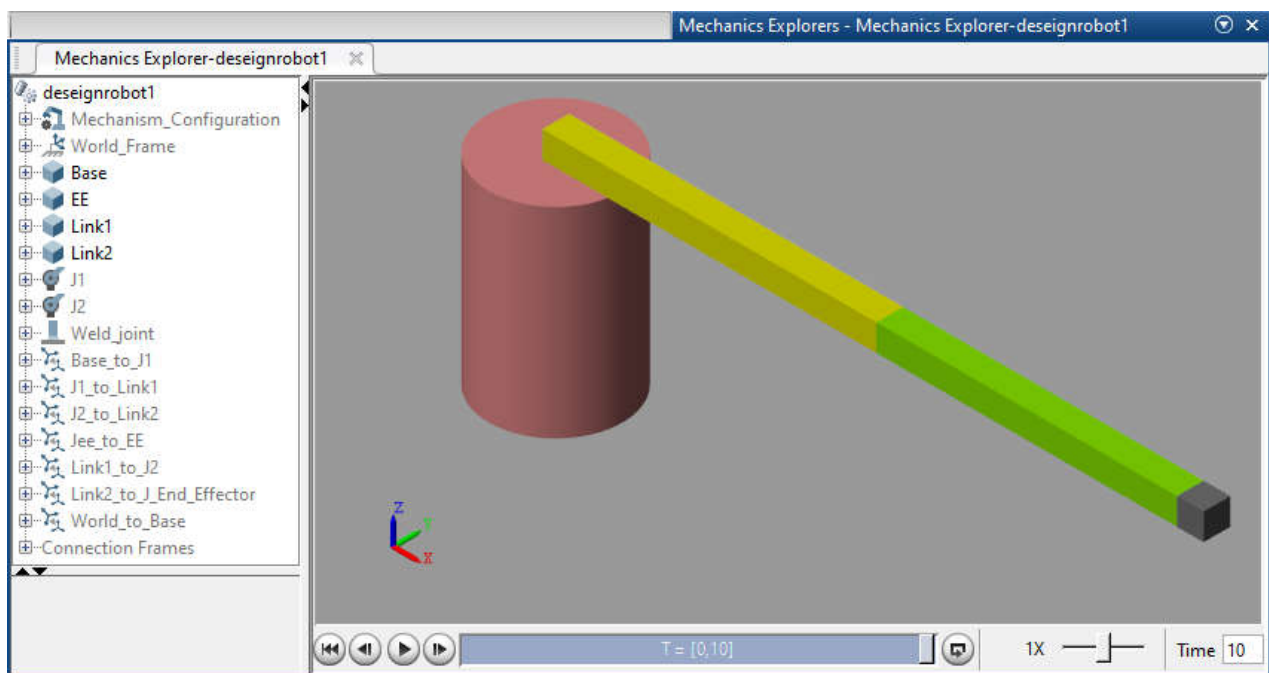
On peut visualiser le robot en 3D. En cliquant par le bouton droite de la souris, sélectionner **standart view** puis **isometric view**.



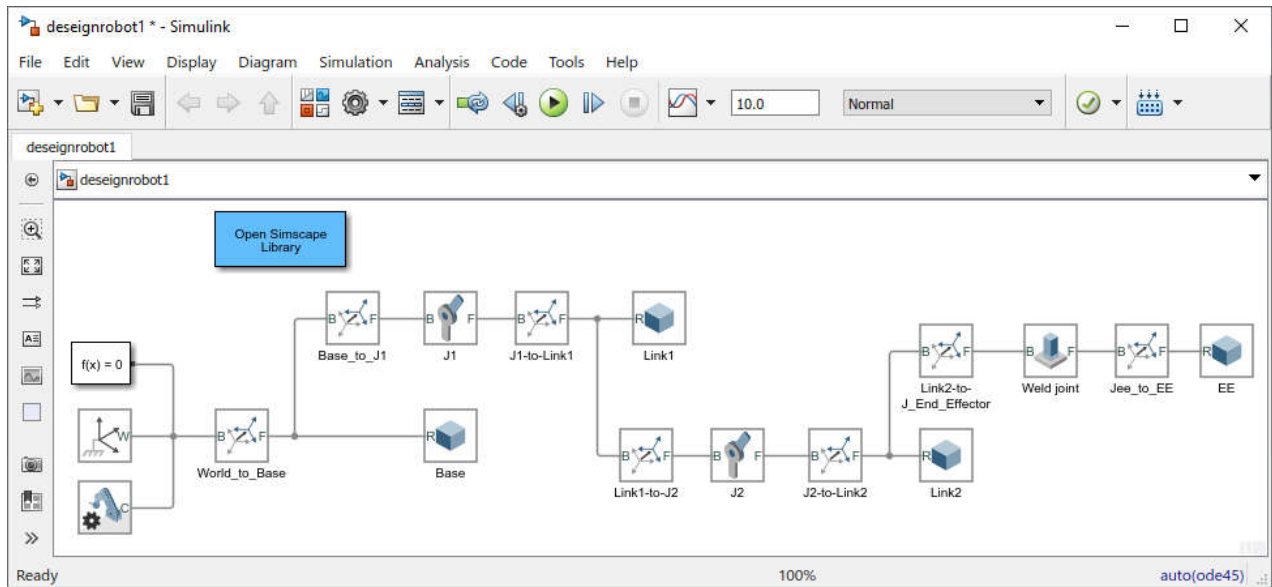
La figure suivante présente l'affichage d'une partie du robot en 3D en visualisant la *base*, l'articulation (*J1*) et le premier segment (*Link1*) du robot. On peut aussi explorer les différents éléments du robot et leur repère



Compléter la conception du deuxième segment (*Link2*) du robot ainsi son partie terminal qui est constituée d'effecteur

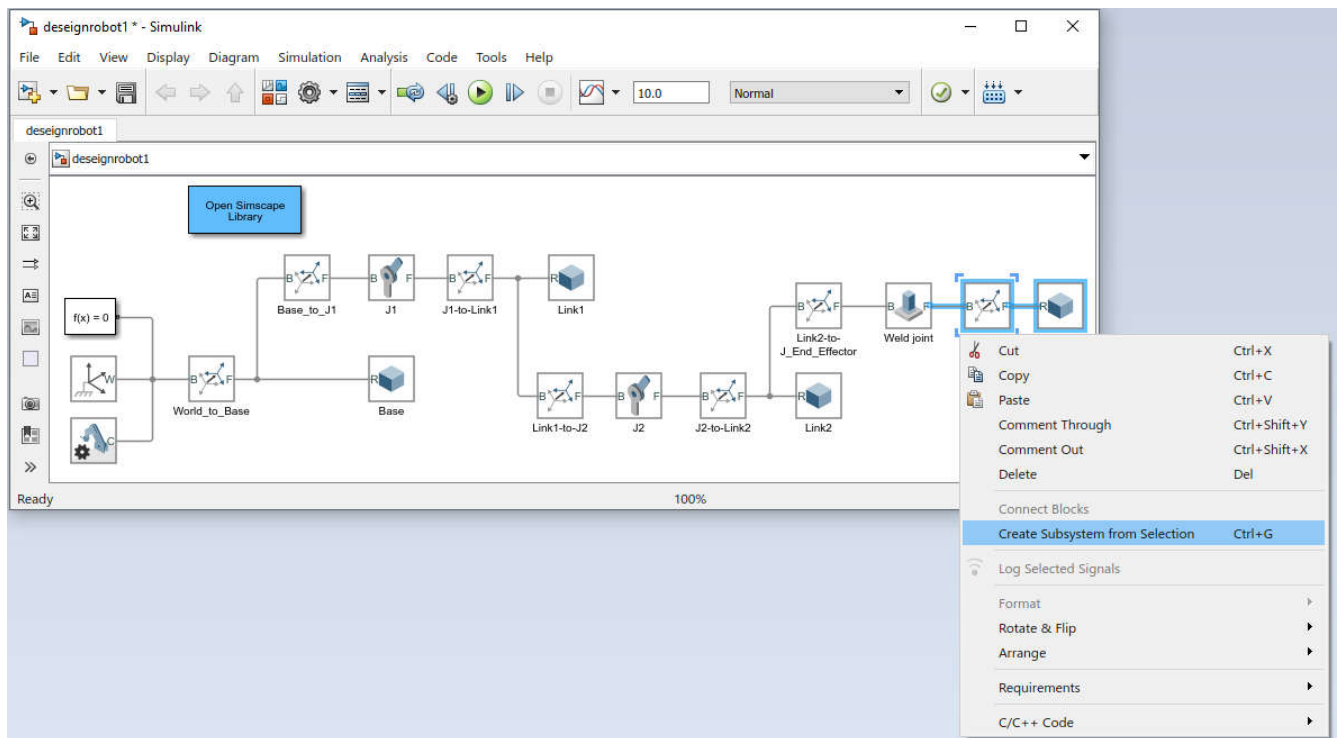


La figure de la page suivante représente la solution finale de la conception.

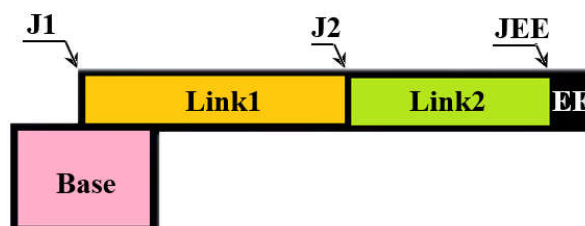
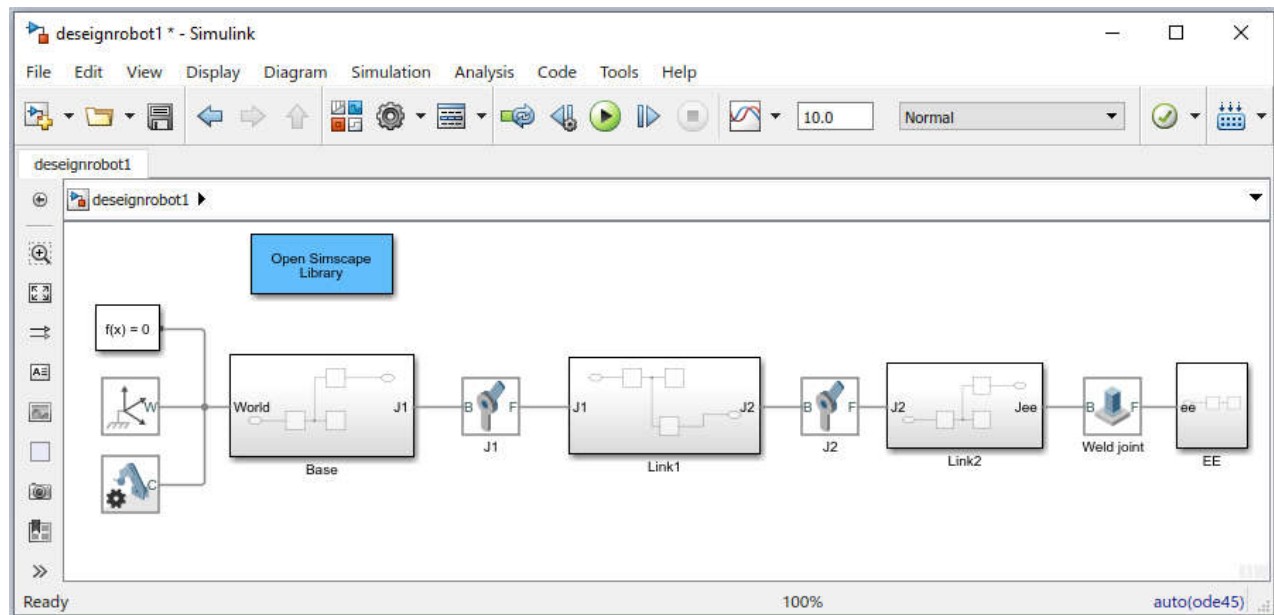
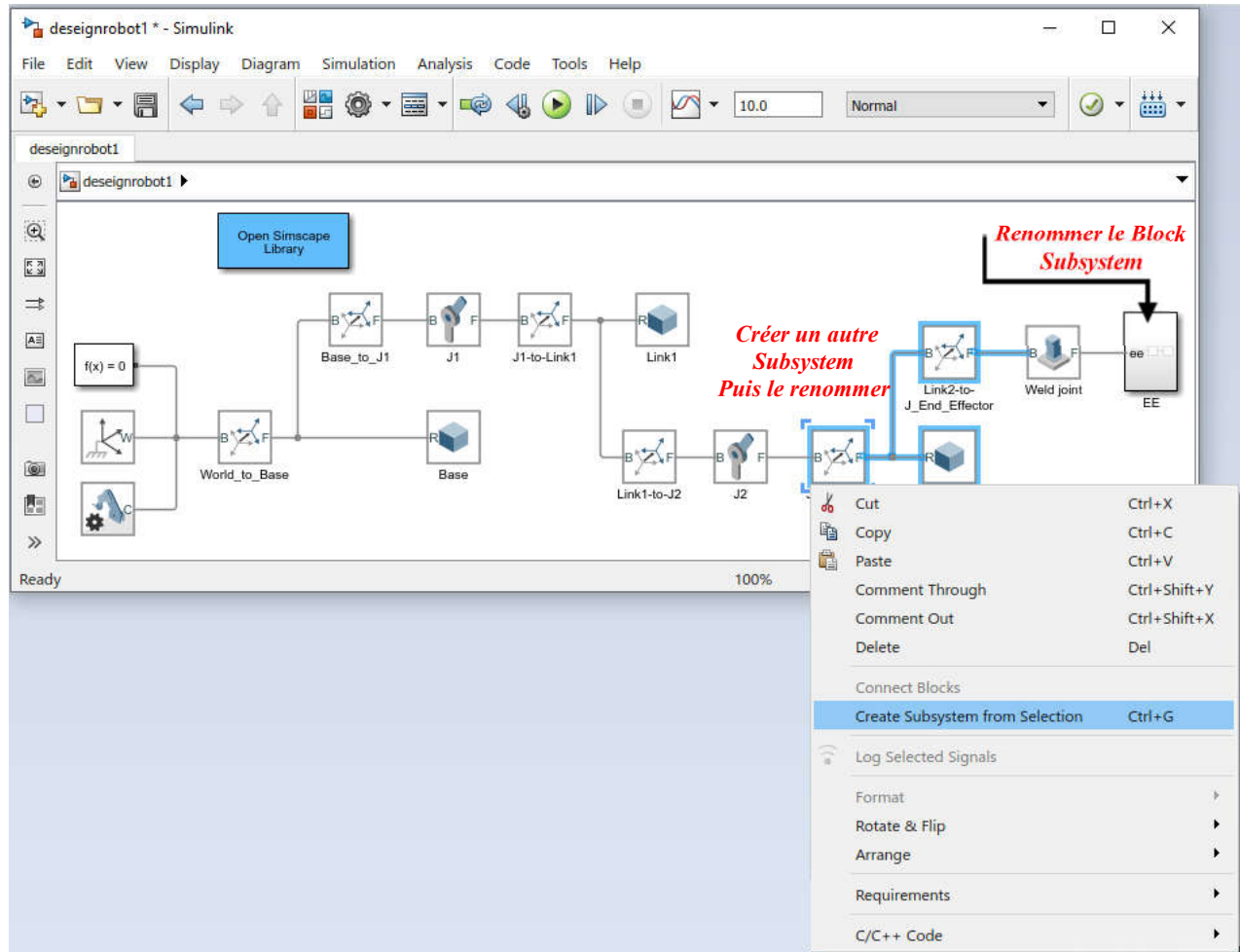


On peut alléger la représentation en Block et la rendre plus lisible en regroupant les block de même type.

Sélectionner les deux blocks **EE** et **Jee_to_EE**, cliquer par le bouton droit de la souris et appuyer sur « create subsystem from selection » Renommer le nouveau Block subsystem .

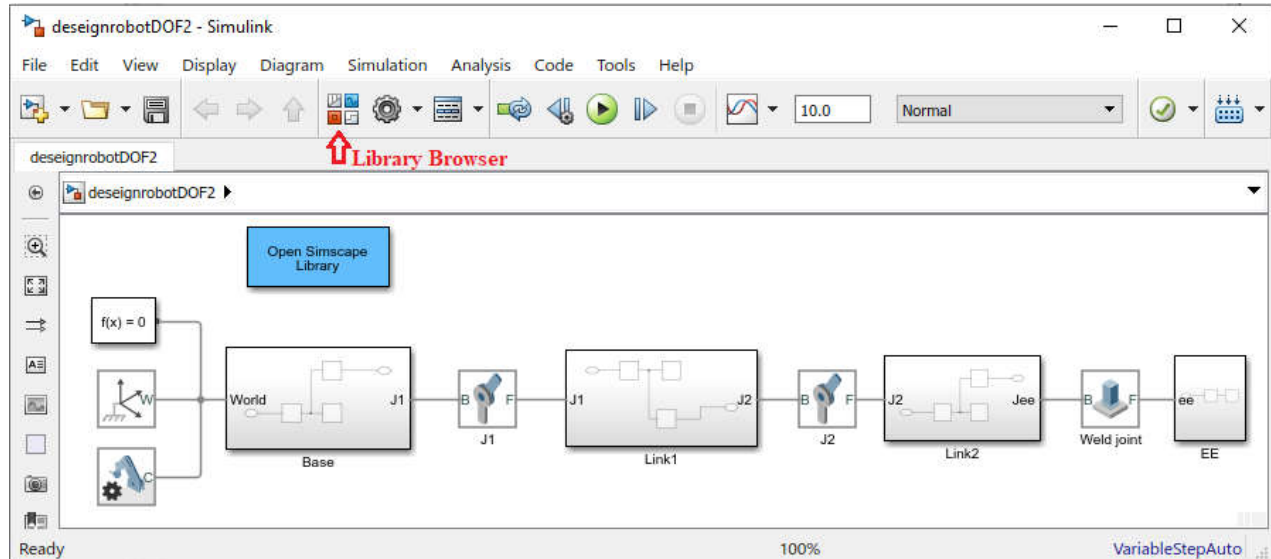


Par la suite regrouper les Blocks **Link2** et les Rigid Transform **J2-to-Link2**, **Link2_to_J_End_Effector**. Répéter les mêmes démarches pour les autres segments (Link). Consulter les figures de la page suivante.

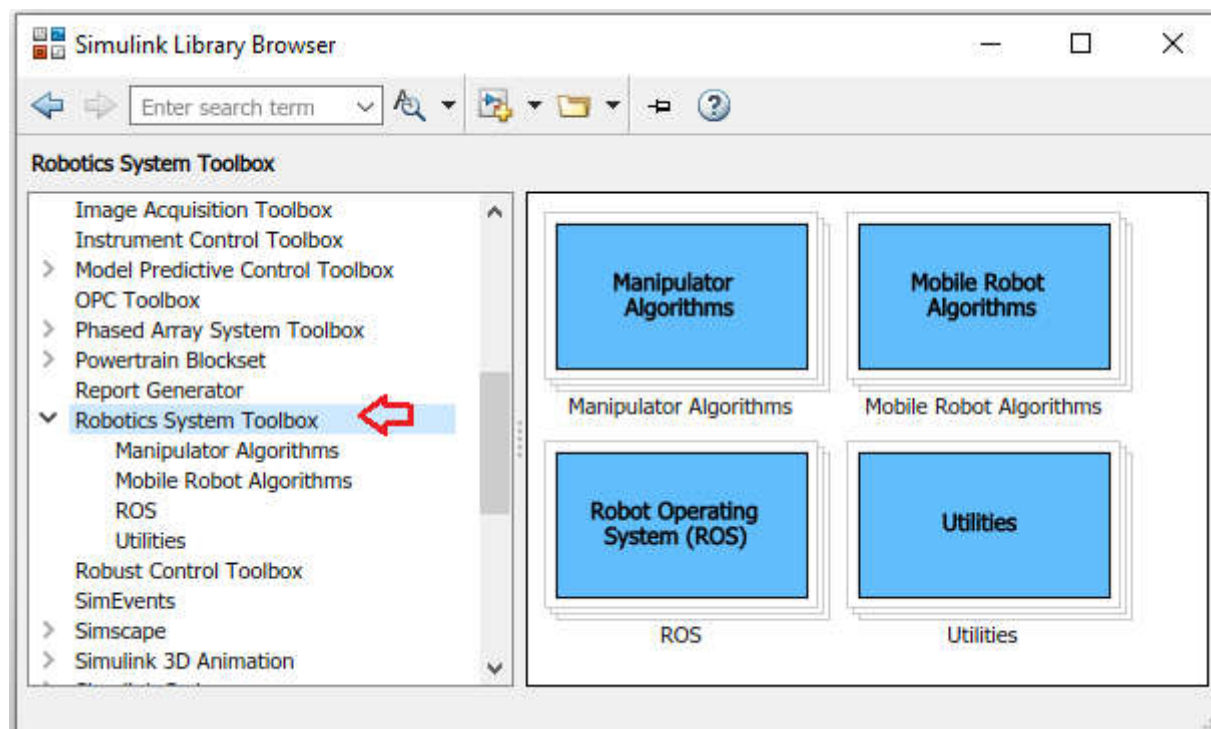


III- Contrôle d'un robot planaire à 2DDL :

- ⇒ Ouvrir Matlab, Cliquer sur l'icône de **Simulink** et charger le fichier du robot planaire à 2DDL déjà conçu avec le toolbox SimScape.
- ⇒ Pour ouvrir la bibliothèque de Simulink, cliquer sur l'icône de **Library Browser**



Pour contrôler un robot planaire à 2 DDL on utilise la bibliothèque de « Robotics System Toolbox » avec l'algorithme du modèle cinématique directe.



Avant de contrôler le robot, il faut importer sa conception de SimScape. La fonction **importrobot** permet d'importer un modèle de corps rigide à partir d'Universal Robot Data Format (URDF), ou d'un fichier ou d'une chaîne d'information.

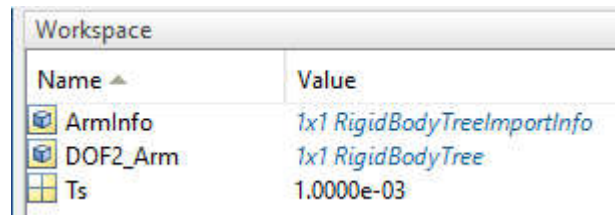
Pour toute information sur **importrobot** taper dans « Command Window »

>> help importrobot

⇒ Lancer un nouveau Script, taper le code suivant, l'enregistrer puis l'exécuter.

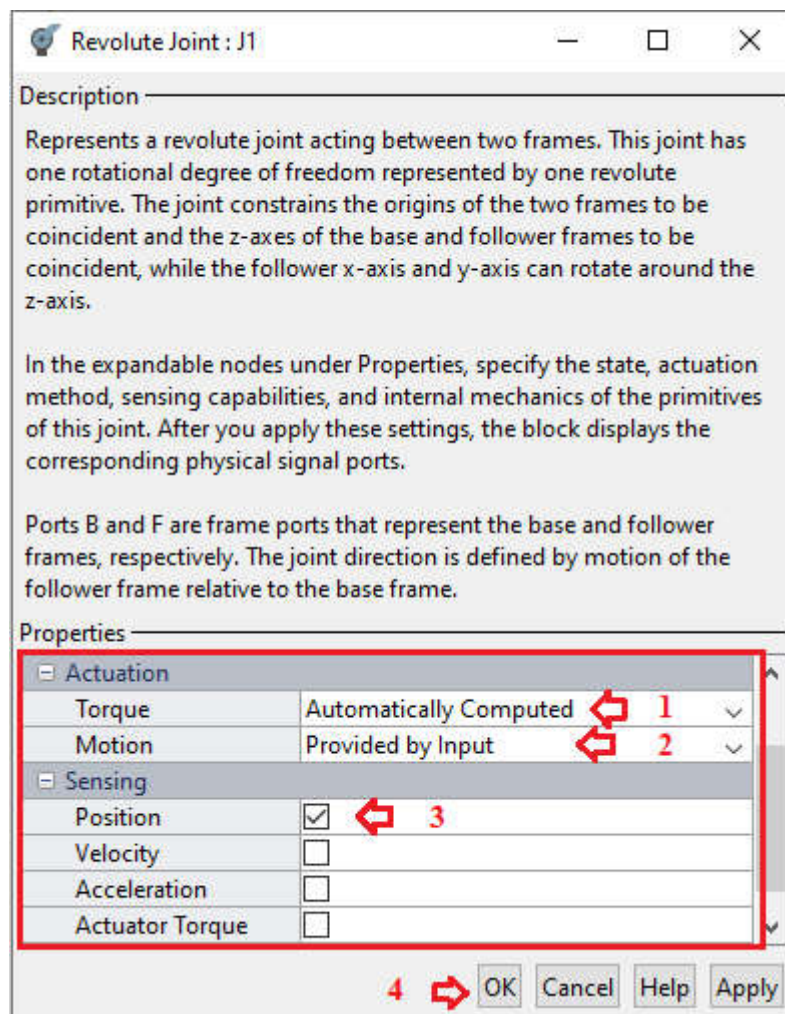
```
Ts=0.001;%temps d'échantillonnage
%Dans la fonction importrobot écrire le nom de votre fichier du
%robot planaire à 2DDL déjà conçu avec le toolbox SimScape
[DOF2_Arm,ArmInfo]=importrobot('deseignrobotDOF2');
```

Après compilation, vérifier dans la fenêtre de Workspace que vous avez les informations présentées dans la figure suivante:



Name	Value
ArmInfo	1x1 RigidBodyTreeImportInfo
DOF2_Arm	1x1 RigidBodyTree
Ts	1.0000e-03

⇒ Revenant au Simulink puis au fichier du robot planaire à 2DDL et cliquer deux fois sur l'articulation « joint » **J1**, la fenêtre suivante s'ouvre :



Revolute Joint : J1

Description

Represents a revolute joint acting between two frames. This joint has one rotational degree of freedom represented by one revolute primitive. The joint constrains the origins of the two frames to be coincident and the z-axes of the base and follower frames to be coincident, while the follower x-axis and y-axis can rotate around the z-axis.

In the expandable nodes under Properties, specify the state, actuation method, sensing capabilities, and internal mechanics of the primitives of this joint. After you apply these settings, the block displays the corresponding physical signal ports.

Ports B and F are frame ports that represent the base and follower frames, respectively. The joint direction is defined by motion of the follower frame relative to the base frame.

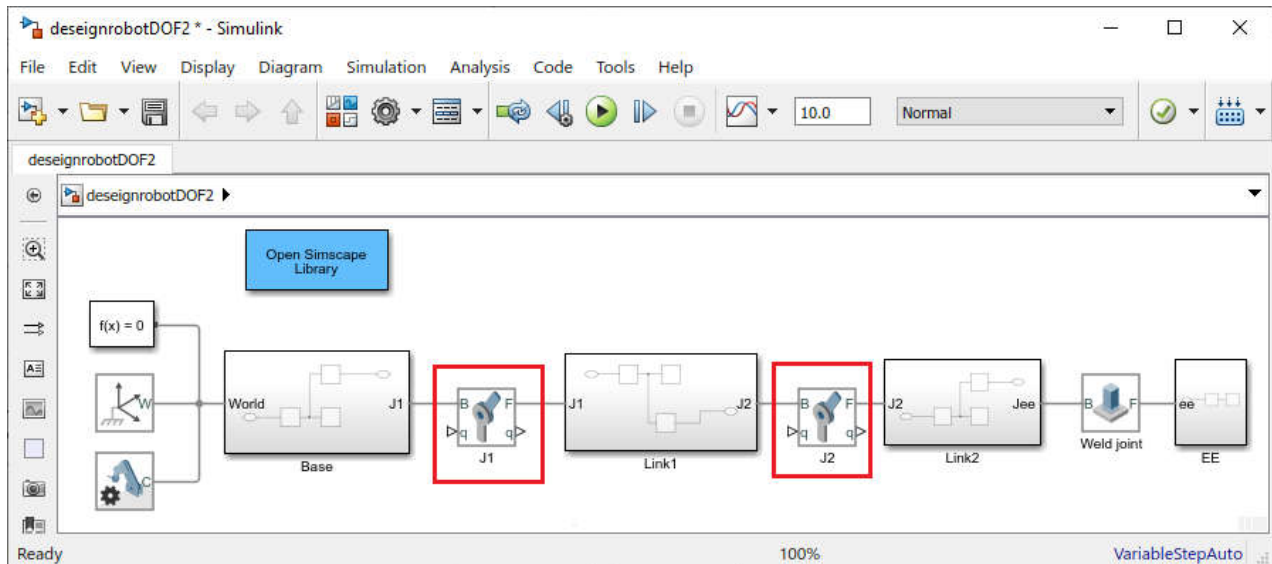
Properties

- Actuation**
 - Torque: Automatically Computed **1**
 - Motion: Provided by Input **2**
- Sensing**
 - Position: ☒ **3**
 - Velocity: ☐
 - Acceleration: ☐
 - Actuator Torque: ☐

4 **OK** Cancel Help Apply

- ⇒ Dans la rubrique actionneur « Actuation » :
 - Choisir le mode de calcul du couple « Torque » à « Automatically Computed »
 - Mettre le mouvement « Motion » qui sera fourni par l'entrée à « Provided by input »
- ⇒ Dans la rubrique capteur « Sensing » cocher position.
- ⇒ Répéter les mêmes étapes pour l'articulation **J2**.

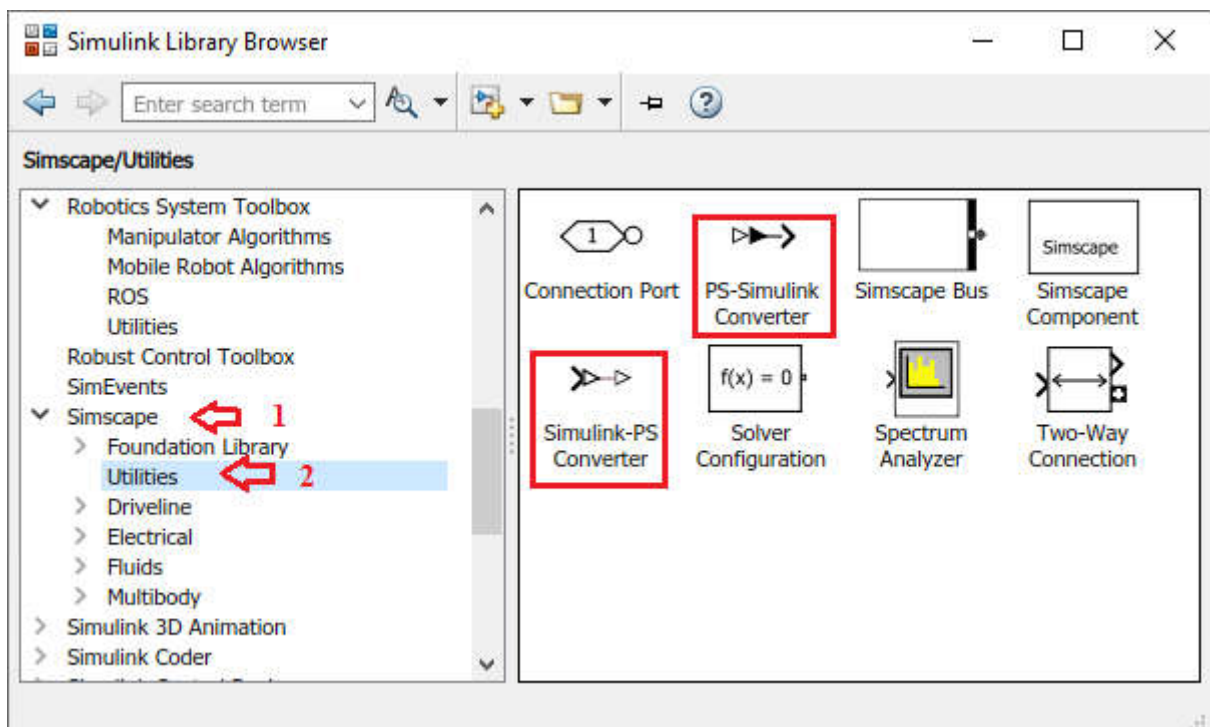
On obtient par suite la figure suivante :



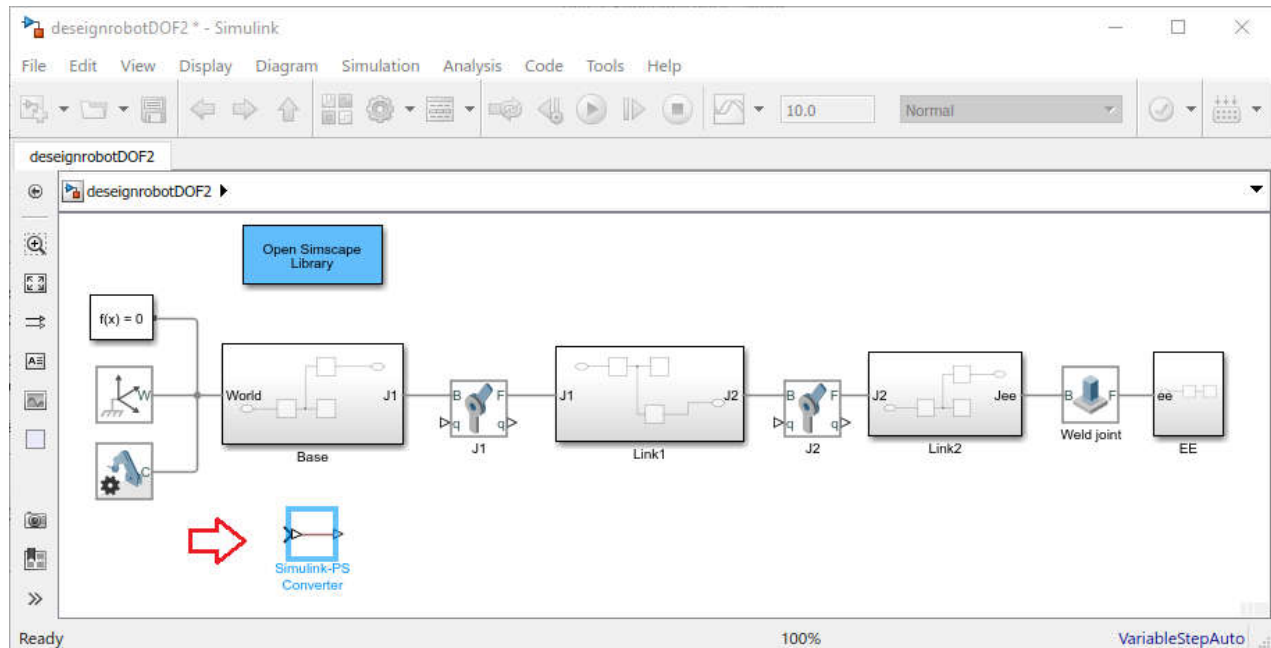
Pour adapter les signaux entre les mouvements fournis par Simulink et le robot conçu, qui représente le système physique, on utilise le block « Simulink-PS converter »

Pour adapter, à partir des capteurs, les valeurs des positions mesuré coté robot et Simulink, on utilise le block «PS -Simulink converter »

Les deux blocks se trouvent dans le toolbox de Simscape à la rubrique « Utilities »

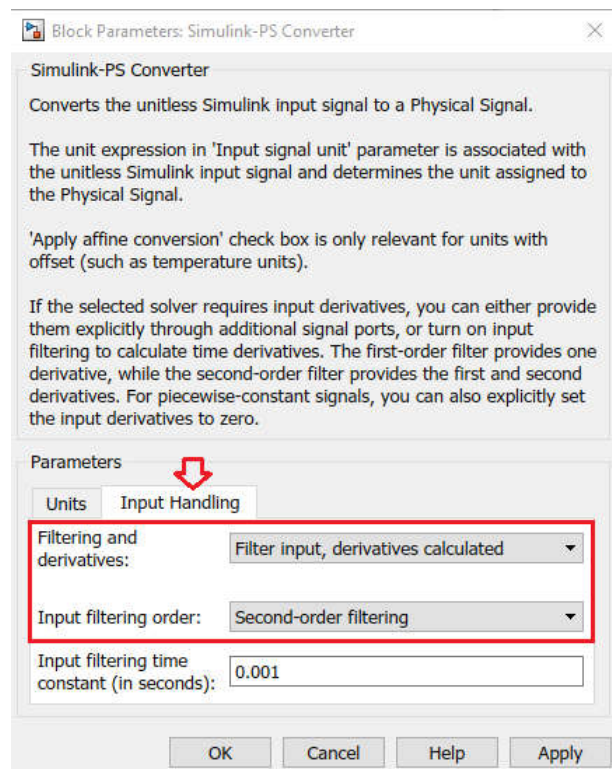
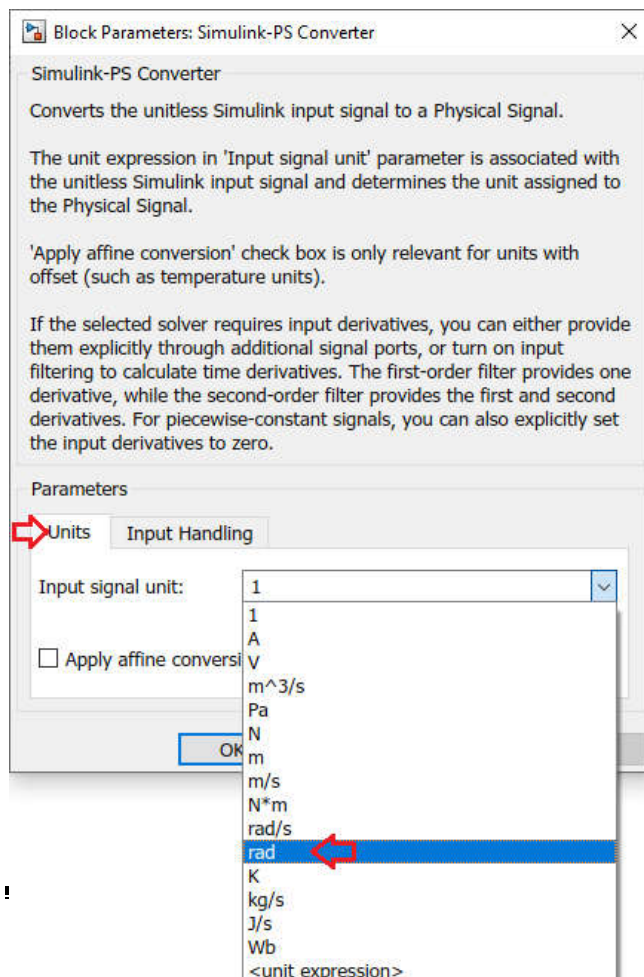


- ⇒ Sélectionner le block « Simulink-PS converter » ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink.

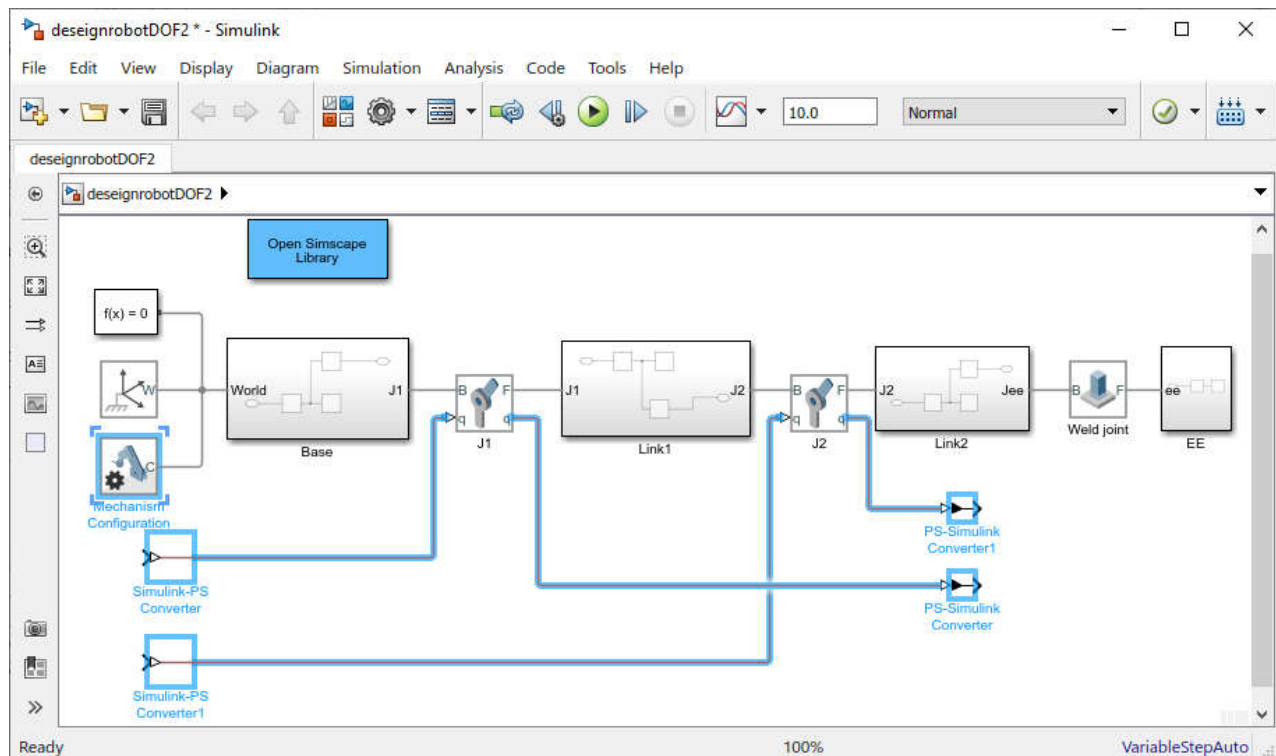


Cliquer deux fois sur le block « Simulink-PS converter » la fenêtre suivante s'affiche :

- ⇒ Choisir l'unité « rad » dans la rubrique « Units », « Input signal unit : »
- ⇒ Pour calculer automatiquement les couples dans les articulations on a besoin de faire le filtrage et les dérivées, alors dans la rubrique gestion des entrées « Input Handling » régler les entrées comme l'indique le deuxième figure



- ⇒ Etablir la connexion entre la sortie du « Simulink-PS converter » et l'entrée de l'articulation **J1**
- ⇒ Répéter les mêmes étapes pour l'articulation **J2**.
- ⇒ Sélectionner le block «PS-Simulink converter » ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink.
- ⇒ Etablir la connexion entre la sortie de l'articulation **J1** et l'entrée du «PS-Simulink converter ».
- ⇒ Etablir la connexion entre la sortie de l'articulation **J2** et l'entrée d'un autre «PS-Simulink converter ».

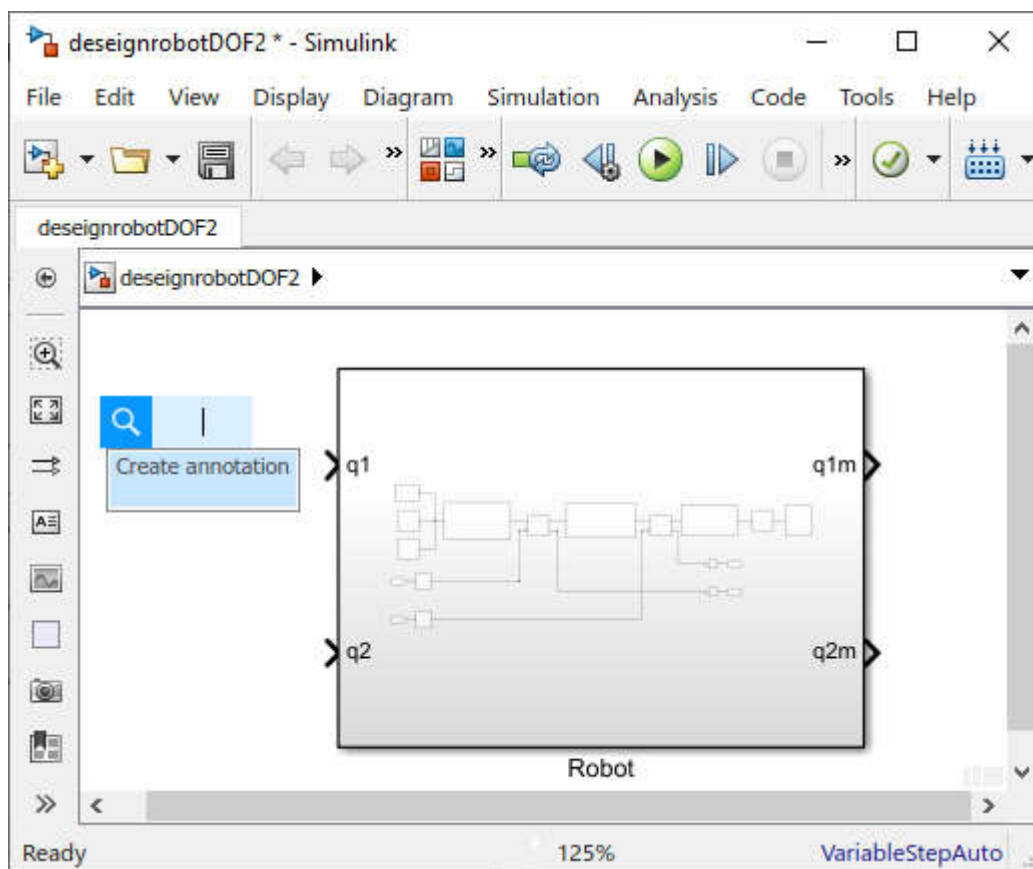
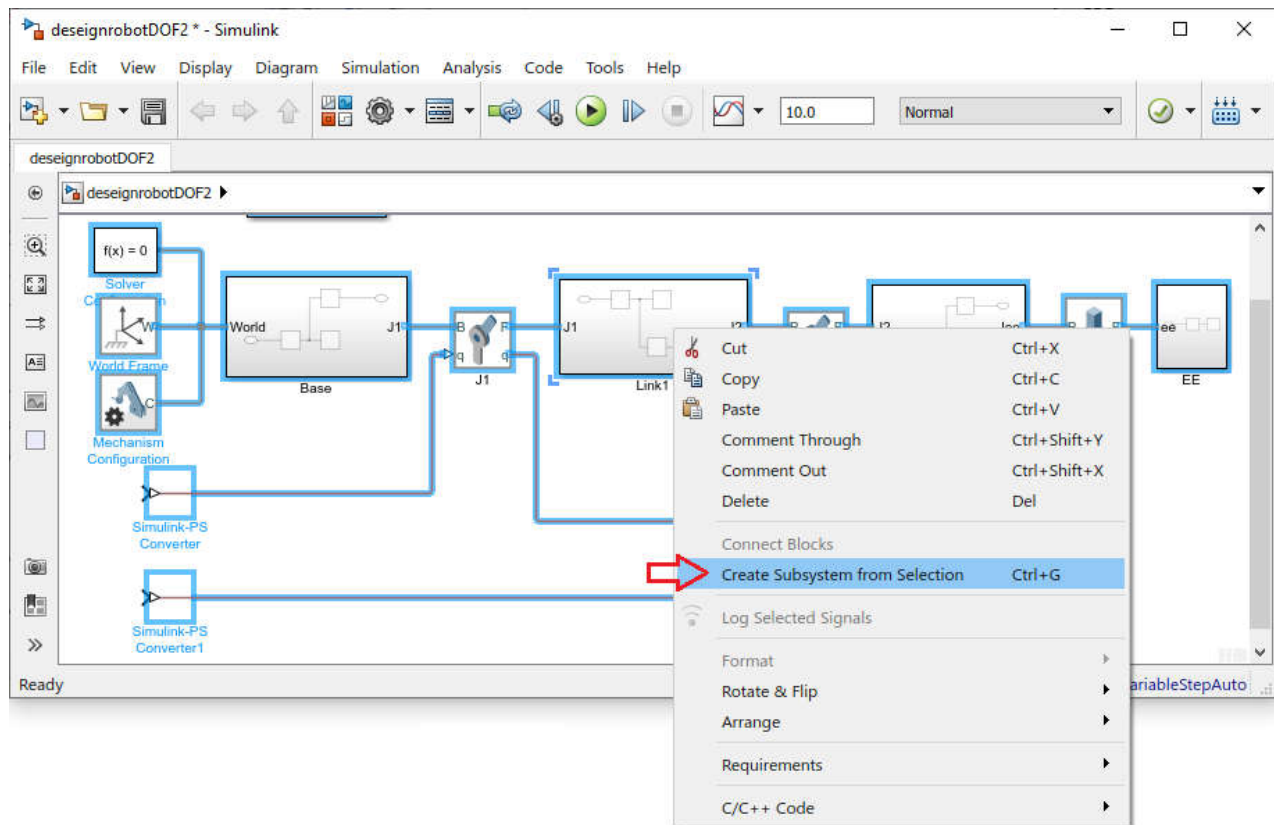


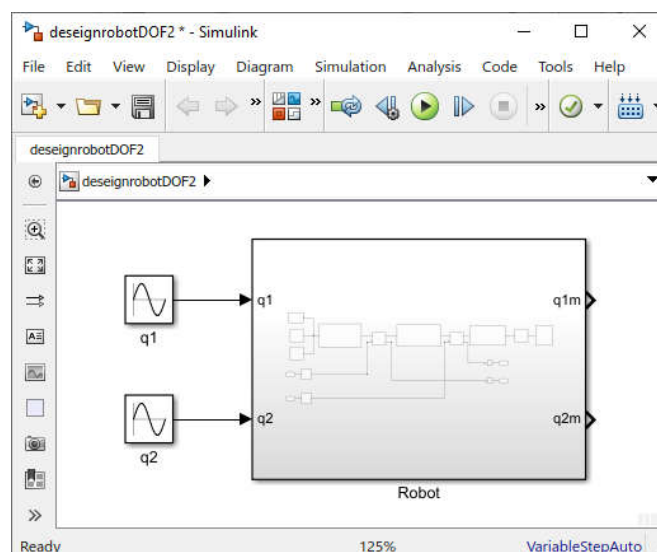
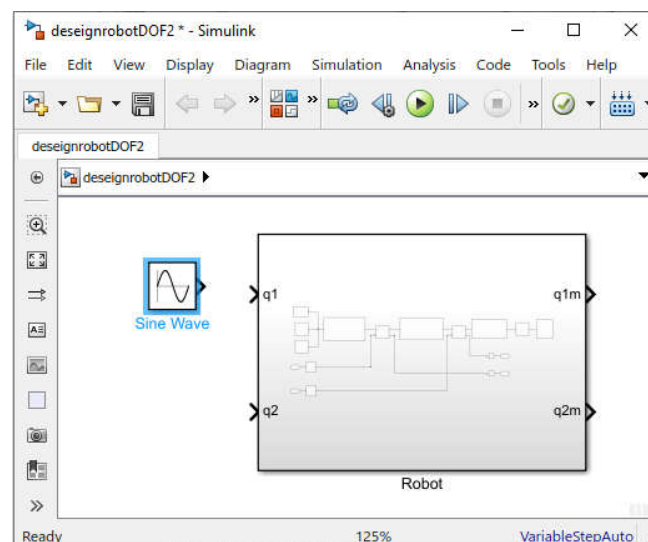
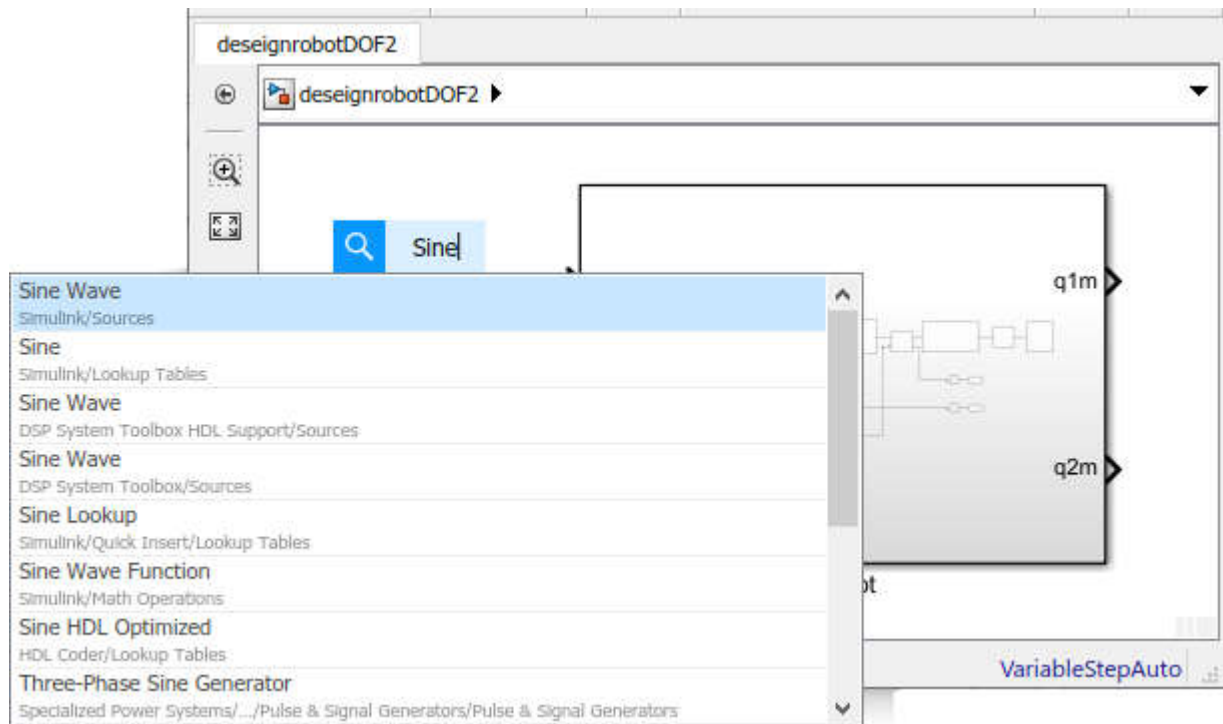
- ⇒ Sélectionner tous les blocks puis créer un sous-système (voire la 1ère figure à la page suivante), donner le nom Robot au sous-système.
- ⇒ Renommer les entrées et les sorties des blocks respectivement **q1**, **q2** et **q1m**, **q2m** : **q1** et **q2** représentent les angles à fournir aux articulations du robot. Quand le robot se met en mouvement, les angles sont mesurés et saisis aux sorties **q1m** et **q2m**.

Les articulations du robot DOF2 se mettent en mouvement selon les valeurs des angles fournis .On va les mesurer et voir si le robot se déplace ou non sur ces angles et on calculera la position physique du robot en coordonnées XYZ

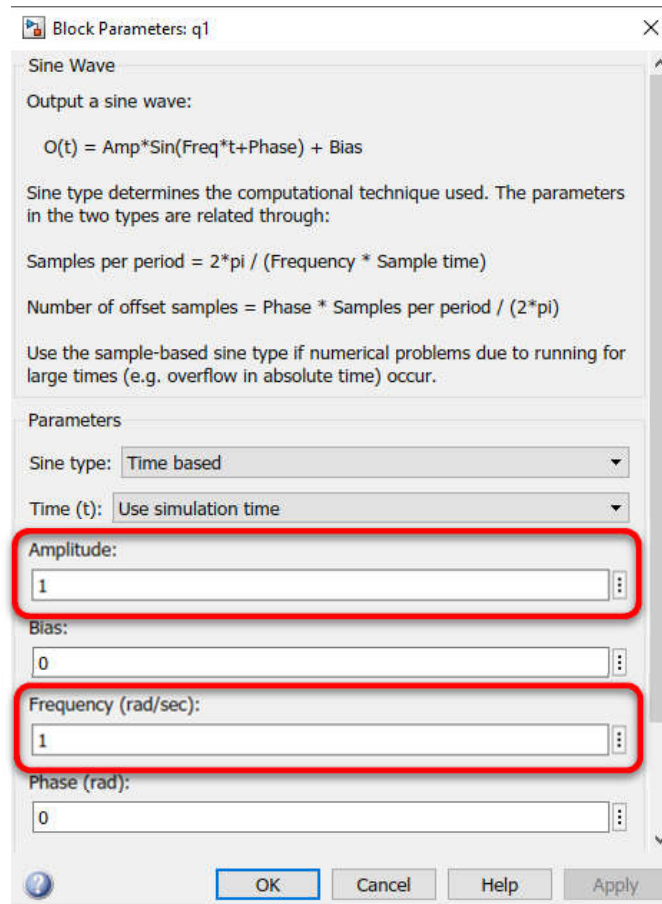
On utilisera un générateur de fonction sinus « Sine block », qui permet de fournir une position d'articulation pour **q1** et un autre pour **q2**.

- ⇒ Cliquer dans la zone de travail du Simulink une annotation va être créée.
- ⇒ Ecrire dans l'annotation le mot à chercher « sine ». (voire la 2^{ème} figure à la page suivante la 3^{ème} figure à la page 23).
- ⇒ Choisir « Sine Wave » et établir les connections aux entrées **q1** et **q2**. (voire la figure à la page 23)



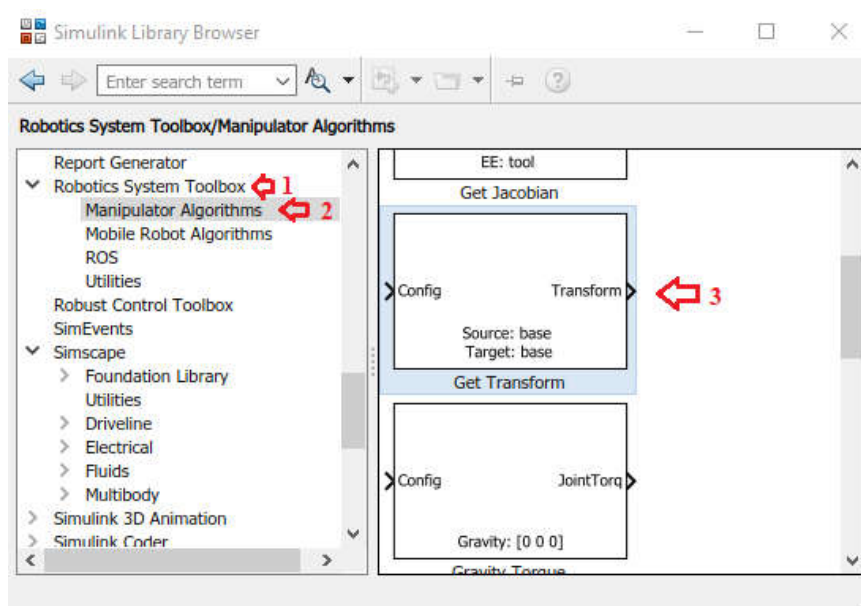


- ⇒ Cliquer sur le block « Sine Wave » à l'entrée q1 et/ou q2, la fenêtre suivante s'affiche.
- ⇒ Dans la simulation on va paramétrer l'amplitude et la fréquence de chaque entrée q1 et q2.



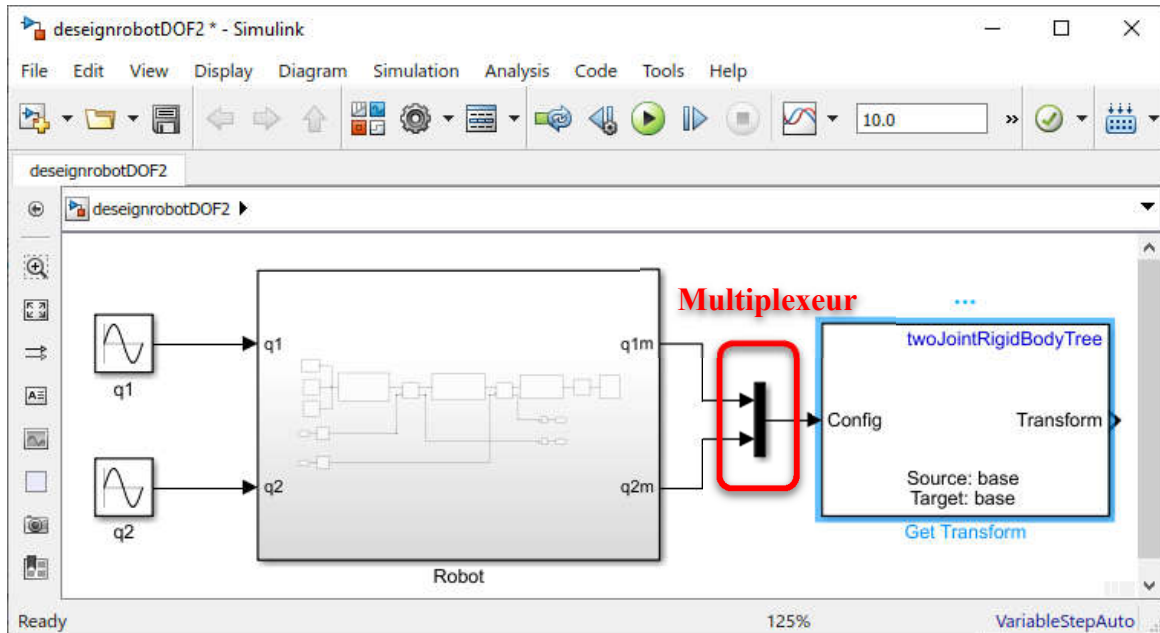
L'algorithme de cinématique directe calculera, à des angles donnés, la position de l'effecteur terminal du robot pour cela on utilisera le block « Get Transform » localisé dans la bibliothèque de « robotic system toolbox » à la rubrique « manipulator Algorithms »

- ⇒ Sélectionner le block « Get Transform » ensuite glisser et déposer le block dans la fenêtre de Simulink.

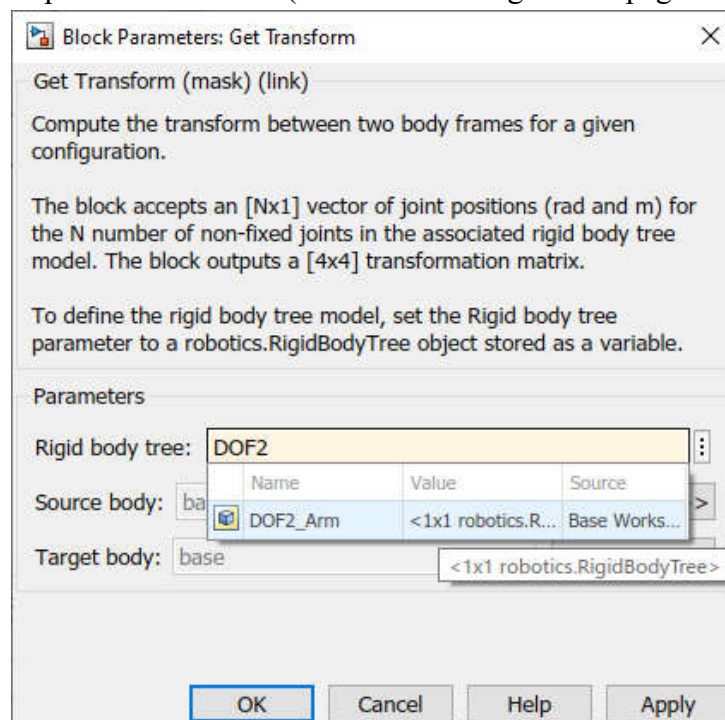


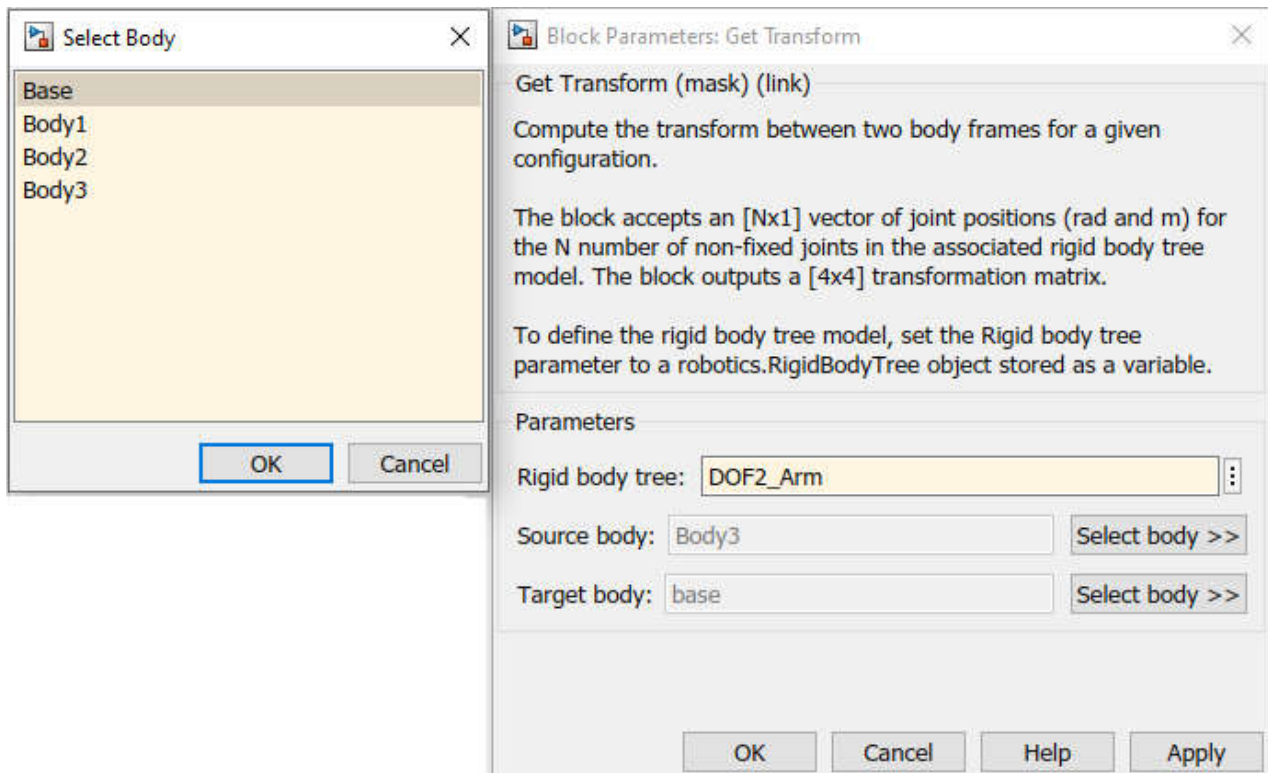
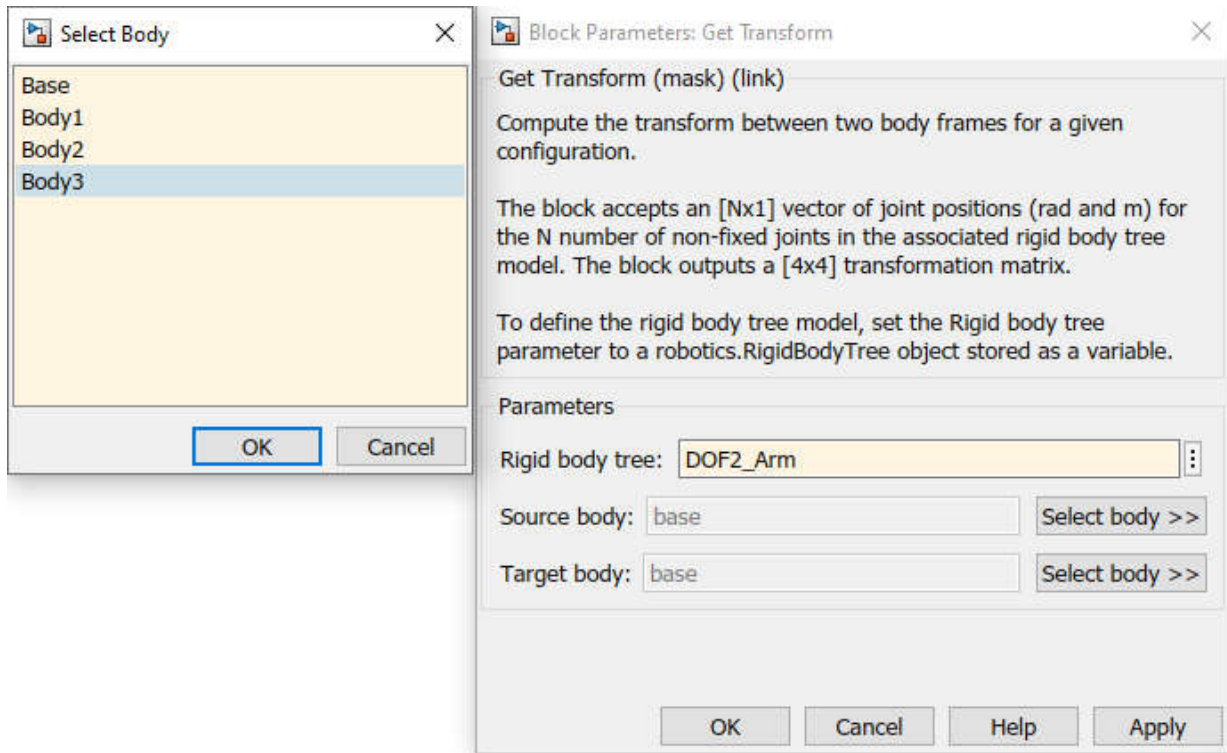
Le bloc « Get Transform » nécessite « rigid body tree » et la configuration du robot, et puisque on possède la mesure de l'angle de chaque articulation, on a besoin de les combiner à l'entrée de « Get Transform » par un multiplexeur.

- ⇒ Cliquer dans la zone de travail du Simulink une annotation va être créée.
- ⇒ Ecrire dans l'annotation le mot à chercher « mux ».
- ⇒ Etablir les connections du multiplexeur entre le block robot et le block « Get Transform »



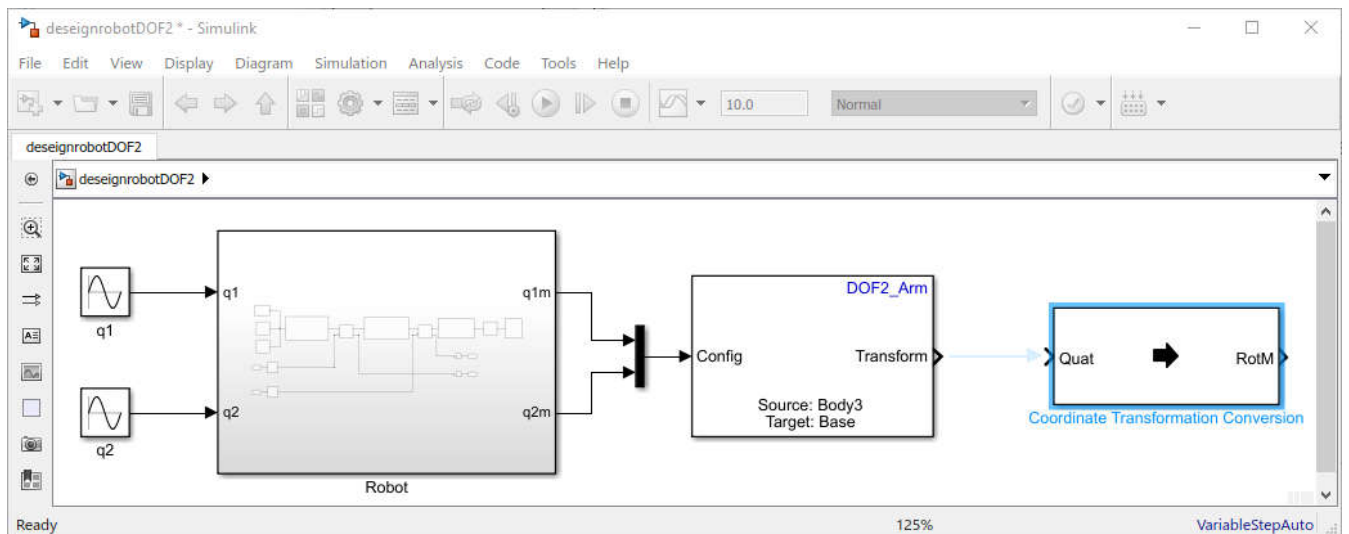
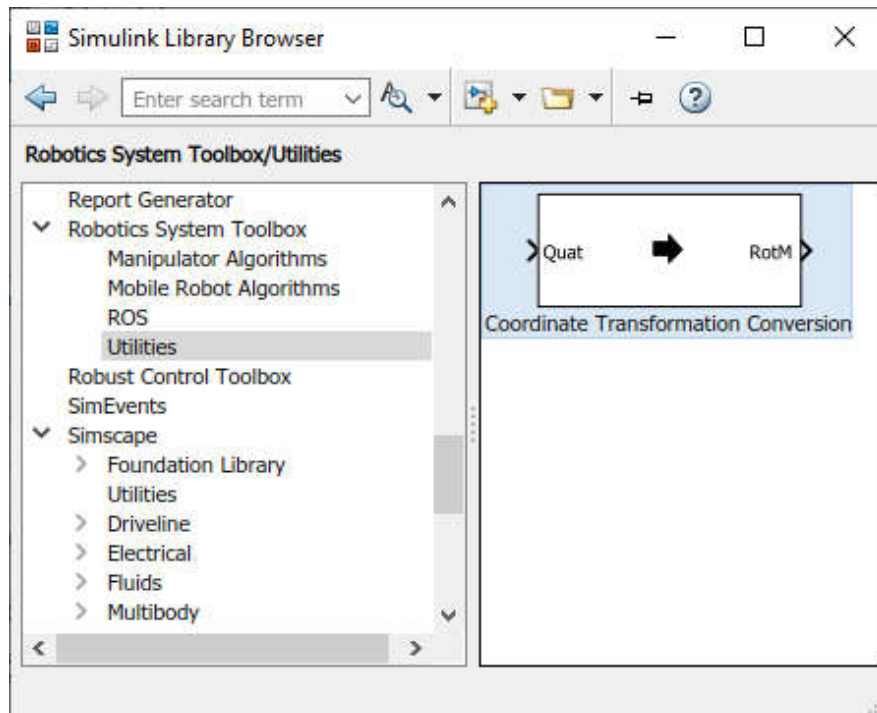
- ⇒ Cliquer deux fois sur « Get Transform » la fenêtre suivante s'affiche :
- ⇒ Dans paramètre sélectionner la case « Rigid body tree » et écrire DOF2_Arm
- ⇒ Dans paramètre à la case « Source body » cliquer sur « Select body » et sélectionner « Body3 » qui représente l'effecteur terminal du robot (voire la 1^{ère} figure à la page suivante)
- ⇒ Dans paramètre à la case « Target body » cliquer sur « Select body » et sélectionner « Base » qui représente le repère zéro du robot (voire la 2^{ème} figure à la page suivante)



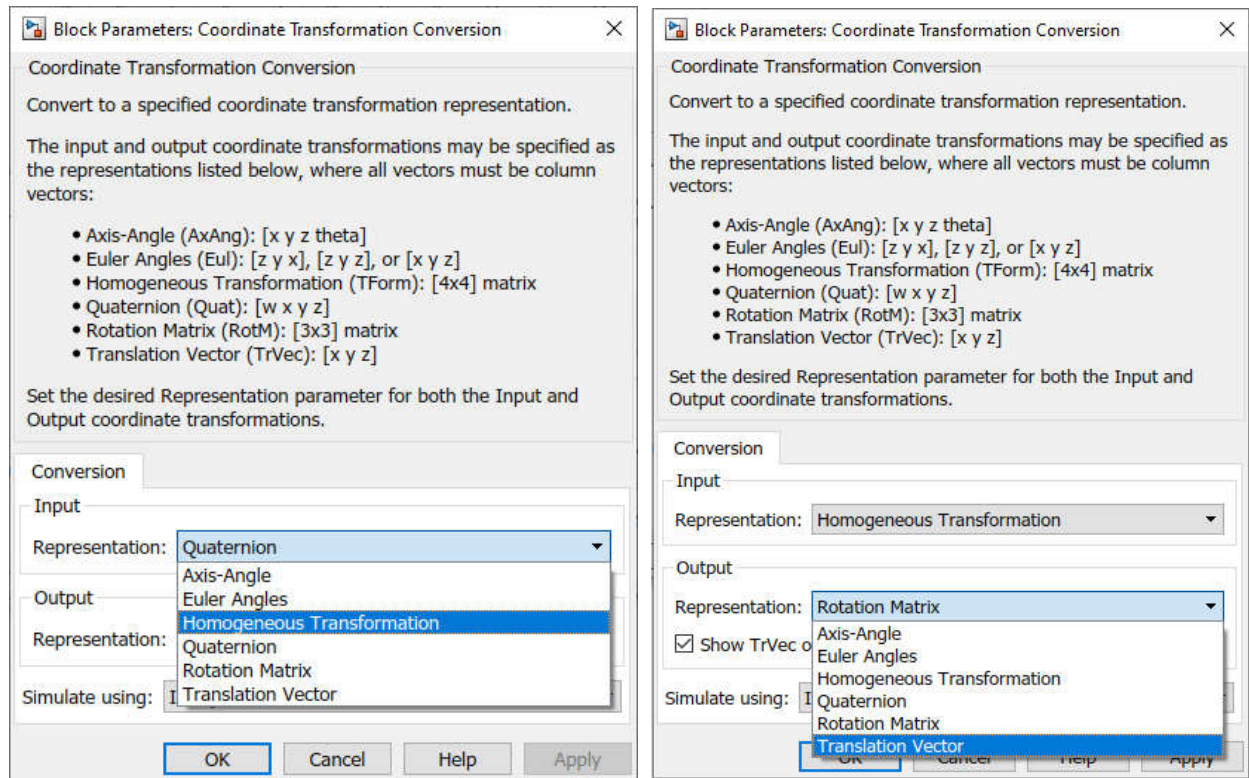


Dans la bibliothèque de Simulink :

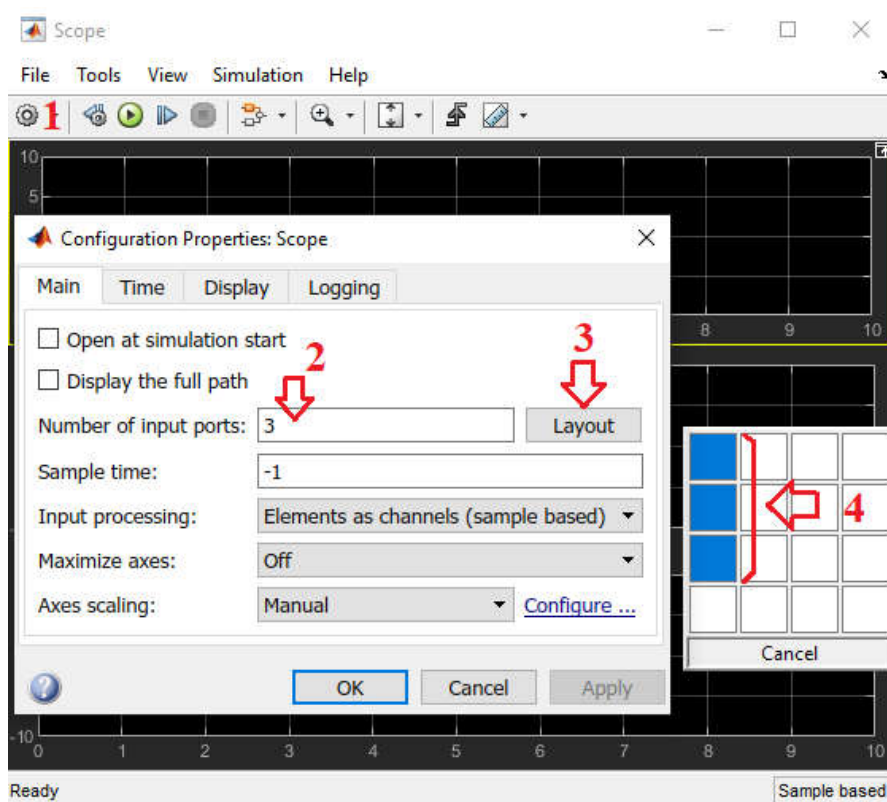
- ⇒ Cliquer sur « Robotics System Toolbox », sélectionner Utilities
- ⇒ Glisser puis déposer le block « Coordinate Transformation conversion » dans la fenêtre de Simulink.



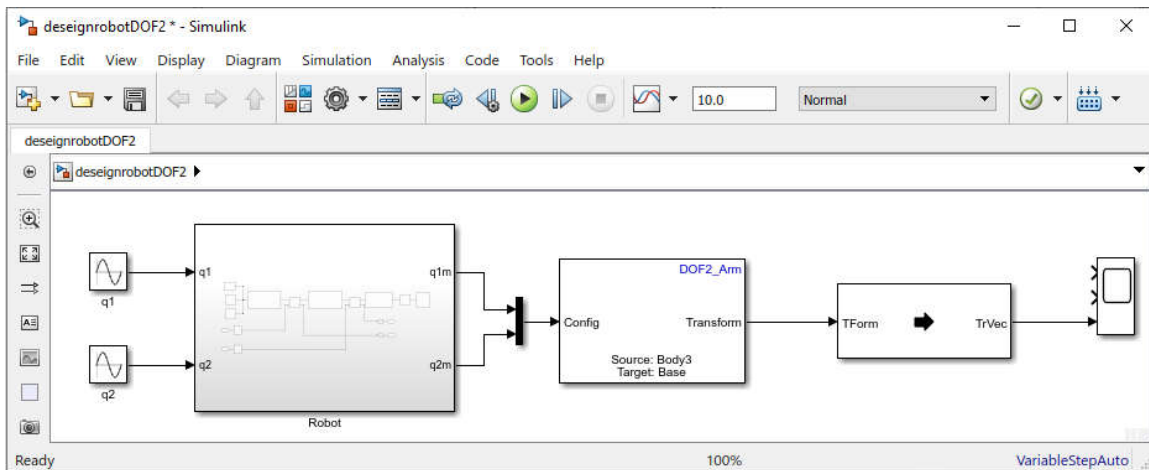
- ⇒ Cliquer deux fois sur le block « Coordinate Transformation conversion » la fenêtre suivante s'affiche à la page suivante :
- ⇒ Paramétrer les entrées et les sorties selon les figures de la page suivante.



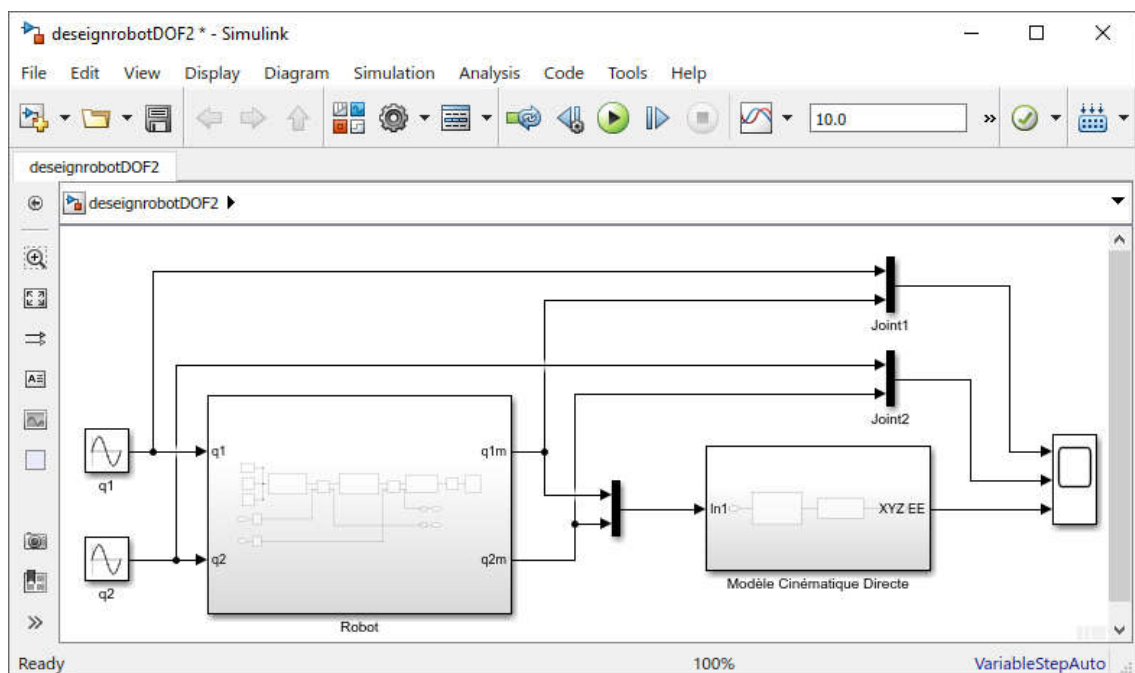
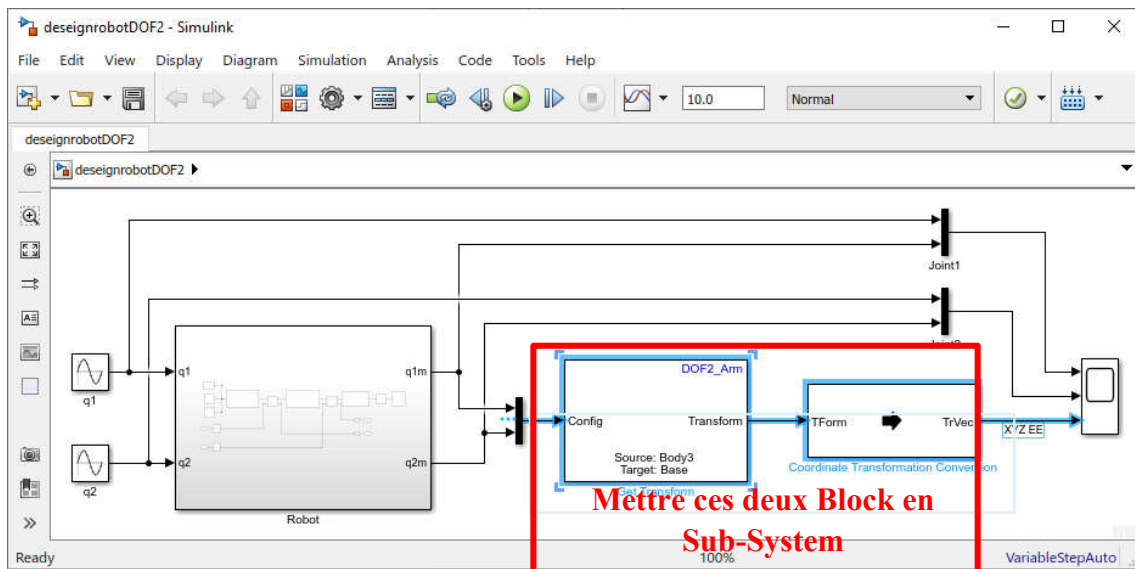
- ⇒ Cliquer dans la zone de travail du Simulink une annotation va être créée.
- ⇒ Ecrire dans l'annotation le mot à chercher « Scope ».
- ⇒ Cliquer sur le block « Scope » deux fois.
- ⇒ à la fenêtre du Scope cliquer sur « Configuration Properties », ensuite fixer le nombre des entrées à trois puis sélectionner trois « Layout ».



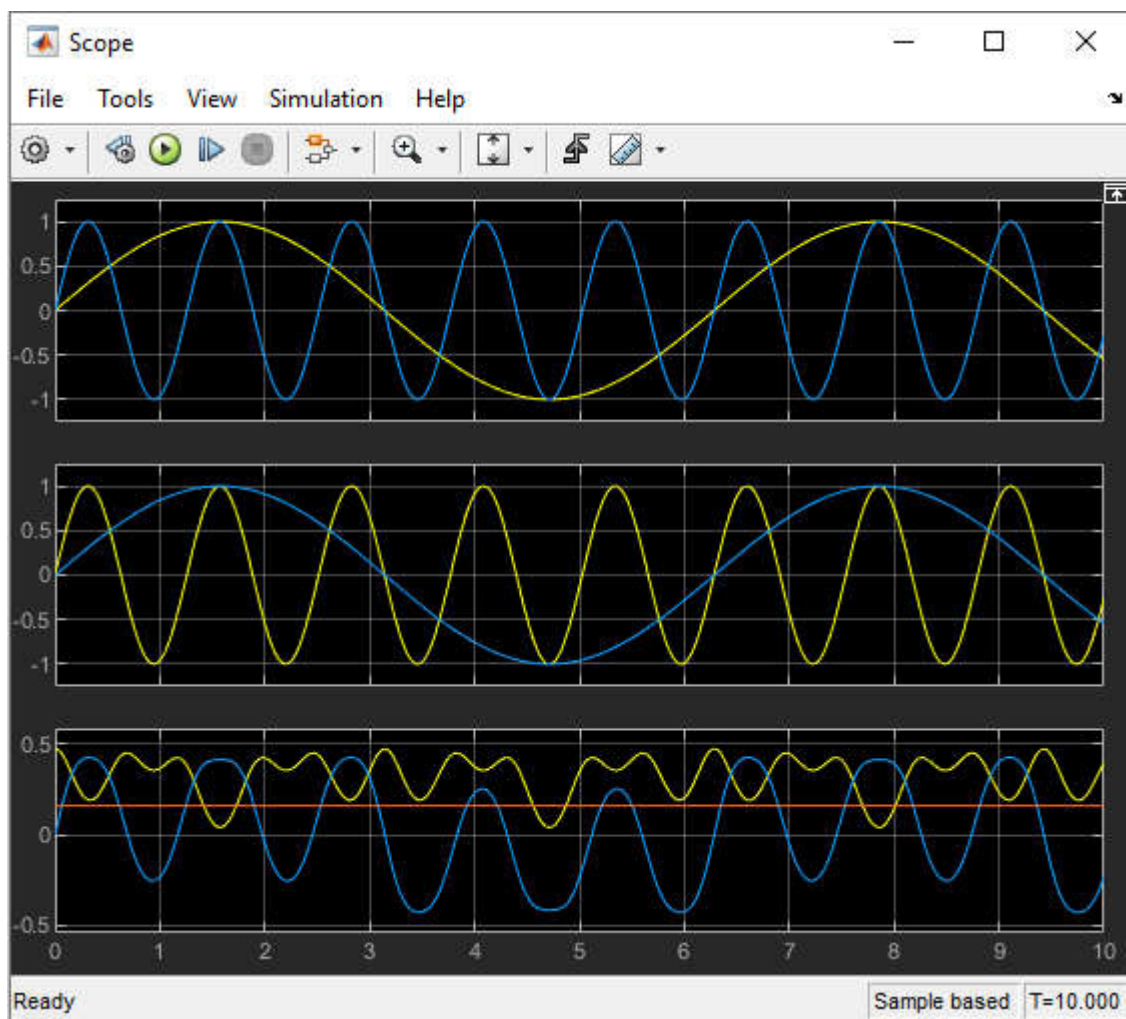
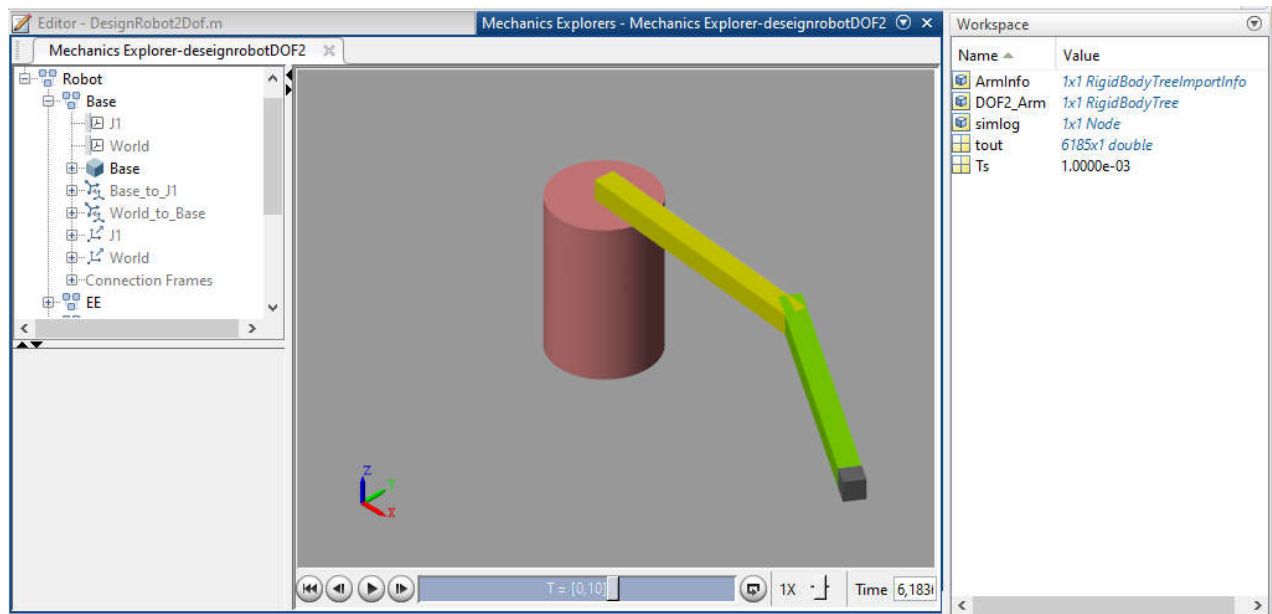
Etablir les connections entre le block « Coordinate Transformation conversion » et l'oscilloscope



⇒ Compléter le schéma de la commande du robot comme l'indique la figure suivante :



- ⇒ Simuler le schéma block de la commande du robot en changeant les entrées q_1 et q_2 de Sine Wave en amplitude et en fréquence.



1. Bibliographie

- [1] «Mathworks,» [En ligne]. Available: <https://fr.mathworks.com/products/simscape.html>. [Accès le 10 10 2022].
- [2] «Mathworks, Inc,» [En ligne]. Available: <https://fr.mathworks.com/products/robotics.html>. [Accès le 10 10 2022].