

TP1 - KUKA KR3 R540 : Reproduction d'un dessin par le robot

Jean-Louis Boimond
Université Angers

Objectif du TP : Après une prise en main du matériel, il s'agit de réaliser un script permettant au robot, muni d'un crayon, de réaliser le dessin représenté ci-dessous.

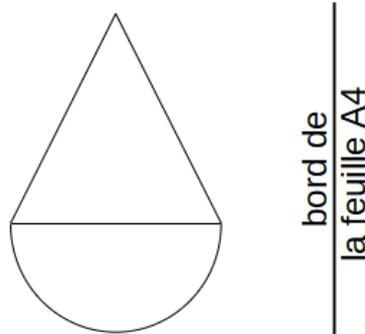


Figure 1 : Représentation du dessin à reproduire par le robot.

La hauteur du triangle, égale à 80 mm, est parallèle à un des bords de la feuille A4 comme indiqué dans la figure précédente. Le rayon du demi-cercle est égal à 40 mm.

⇒ Un premier travail consiste à localiser le repère de base (noté R_0) du robot, également appelé repère World, ainsi que le repère associé à la flasque (noté R_F) en vous aidant de la figure qui suit. Pour information, la posture dans laquelle est le robot résulte de l'exécution de la commande de mouvement PTP HOME (PTP pour Point-to-Point) où $A_1 = 0, A_2 = -90, A_3 = 90, A_4 = A_5 = A_6 = 0$ (en $^\circ$), à différencier de sa posture *initiale* où $A_1 = A_2 = \dots = A_6 = 0^\circ$.

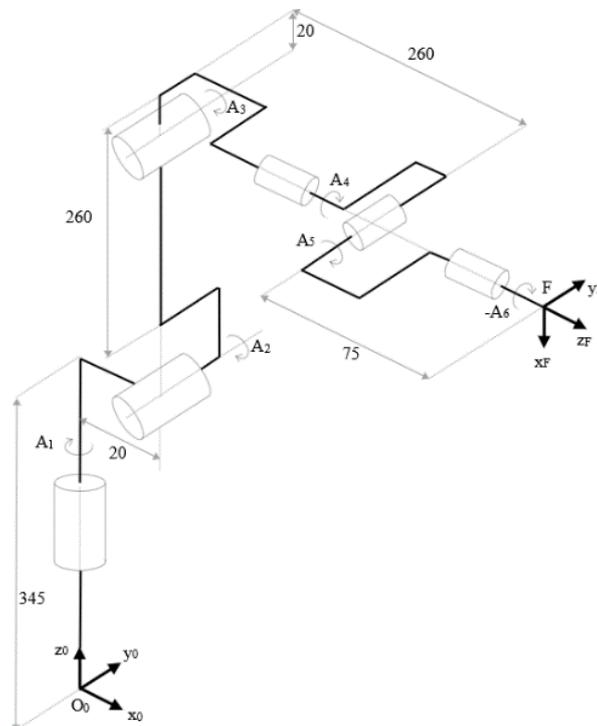


Figure 2 : Représentation de la posture du robot correspondant à l'instruction HOME.

Avant de réaliser le dessin (traité au §II), il s'agit de prendre en main le robot en apprenant *via* le 'teach' (appelé également SmartPAD) du robot à :

- mettre de manière manuelle le bras du robot en mouvement, voir §I.A,

- accéder aux coordonnées du Tool Center Point, voir §I.B,
- écrire et exécuter un script en vue d'une mise en mouvement automatique du bras du robot, voir §I.C.

I) PRISE EN MAIN DU ROBOT

Cette section va vous permettre d'effectuer les manipulations de base du robot permettant la réalisation du TP, à vous de tester ces fonctionnalités **en faisant preuve de prudence**.

Avant tout, il est nécessaire de se placer dans le groupe d'utilisateurs 'Expert', et non pas 'Opérateur' par défaut, pour pouvoir créer/modifier/effacer un script. Pour cela, sélectionner la touche  du menu principal (voir la figure située à gauche qui suit), puis sélectionner **Configuration>Groupe d'utilisateur** (voir encadrés en rouge dans la figure située au centre), introduire alors le mot de passe : **kuka** en le validant *via* la touche 'Return', ou 'Enregistrer', entourée en rouge dans la figure de droite.

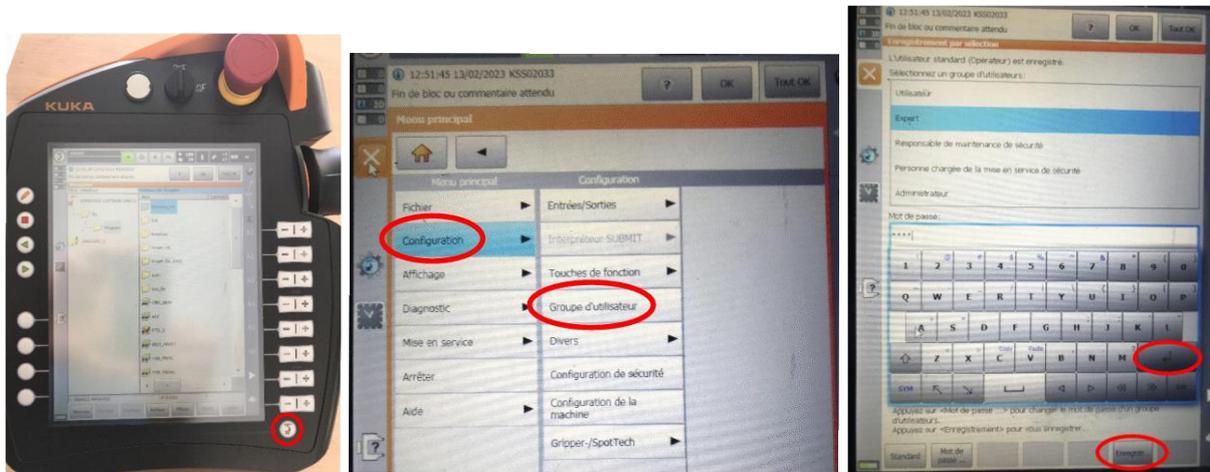


Figure 3 : Sélection du groupe d'utilisateurs.

I.A) Mise en mouvement de manière manuelle du bras du robot

La mise en mouvement manuel du bras du robot est conditionnée par un appui (pas trop prononcé) sur le 'corps mort', situé sur la face arrière du *teach* à droite ou à gauche (au choix), voir 2.2.ii, p. 8 du document 'Robot Kuka KR C3'.

I.A.1) Mise en mouvement dans l'espace articulaire

Pour mettre manuellement en mouvement une articulation du robot (à travers les angles A1, A2, A3, A4, A5 ou A6) :

- Si vous n'êtes pas déjà dans le menu principal, sélectionner l'icône  (voir la figure précédente située à gauche) ;
- Sélectionner l'icône entourée en rouge dans la figure de gauche qui suit, puis sur celle entourée en rouge dans la figure de droite, pour indiquer votre souhait d'effectuer des mouvements selon les 'Axes' ;

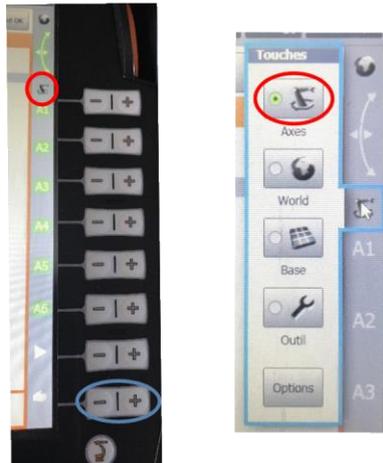


Figure 4 : Mise en mouvement manuel des articulations.

- Le 'corps mort' étant activé, appuyer sur la touche + (ou -) relative à l'articulation que vous voulez faire évoluer (A1, A2, A3, A4, A5 ou A6) dans le sens positif (ou négatif) de rotation.

NB : Les touches - et + entourées en bleu dans la figure précédente permettent de régler la vitesse des mouvements. Ainsi, vous pourrez réduire cette vitesse lorsque la pointe du crayon sera proche du plateau du chariot ... **afin de ne pas écraser le crayon.**

I.A.2) Mise en mouvement dans l'espace opérationnel

Pour mettre manuellement en mouvement le Tool Center Point (TCP) du robot (pour l'instant le TCP correspond au repère associé à la flasque du robot (R_F), voir figure 2) le long d'un axe (X, Y ou Z), ou autour des axes (soient A, B ou C), du repère de base (R_0 /World) du robot :

- Si vous n'êtes pas déjà dans le menu principal, sélectionner l'icône  (voir la figure 3 située à gauche) ;
- Sélectionner l'icône entourée en rouge dans la figure située à gauche qui suit, puis sur celle entourée en rouge dans la figure de droite, pour indiquer votre souhait d'effectuer des mouvements selon les axes du repère R_0 /World ;



Figure 5 : Mise en mouvement manuel du TCP le long/autour des axes du repère R_0 /World.

- Le 'corps mort' étant activé, appuyer sur la touche + (ou -) relative à l'axe X, Y ou Z le long, ou autour, duquel vous voulez faire évoluer le TCP dans le sens positif (ou négatif).

NB : Les touches – et + entourées en bleu dans la figure précédente permettent de régler la vitesse des mouvements. Ainsi, vous pourrez réduire cette vitesse lorsque la pointe du crayon sera proche du plateau du chariot ... **afin de ne pas écraser le crayon.**

I.B) Accès aux coordonnées du Tool Center Point

Le Tool Center Point (TCP) correspond (pour l'instant) au repère associé à la flasque du robot. Pour accéder aux coordonnées du TCP, appuyer sur la touche  du menu principal (située en bas à droite) entourée en rouge dans la figure de gauche qui suit. Puis sélectionner **Affichage>Position réelle** (voir encadrés en rouge dans la figure située au centre) pour accéder aux coordonnées du point dans l'espace articulaire (soient $A1, A2, \dots, A6$) ou dans l'espace opérationnel (soient X, Y, Z, A, B, C), en appuyant successivement sur l'icône 'Cartésien/Spécifique aux axes' entourée en rouge dans la figure de droite.



Figure 6 : Affichage des coordonnées articulaires ou opérationnelles du TCP.

Appuyer sur l'icône  pour revenir au menu principal.

I.C) Mise en mouvement automatique du bras du robot

I.C.1) Ecriture du script

Précautions d'emploi :

- 1) Afin de ne pas modifier les scripts installés dans la baie de commande du robot, travaillez uniquement dans le fichier « **TPEtudiants.src** », situé dans le répertoire 'KRC :\R1\Program', dont les lignes de commande sont les suivantes :

```
DEF TPEtudiants( )
; Emplacement réservé aux déclarations de variables
INI
; Emplacement réservé à l'initialisation de variables
PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
; Emplacement réservé aux codes
PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
END
```

- 2) Pour des raisons de sécurité, le programme sera toujours exécuté en mode manuel **T1** (voir §2.3.i, p. 13 du document 'Robot Kuka KR C3') afin de restreindre la vitesse des

mouvements à moins de 250 mm/s. Le mode, T1 ou T2, en cours est indiqué dans la barre d'état du *teach* (voir encadré de couleur bleue situé dans la figure qui suit).

Une fois le programme **TPEtudiants.src** sélectionné (voir encadré en rouge dans la figure de gauche qui suit), appuyer sur la touche 'Ouvrir' entourée en rouge dans la figure de droite qui suit pour éditer le programme.

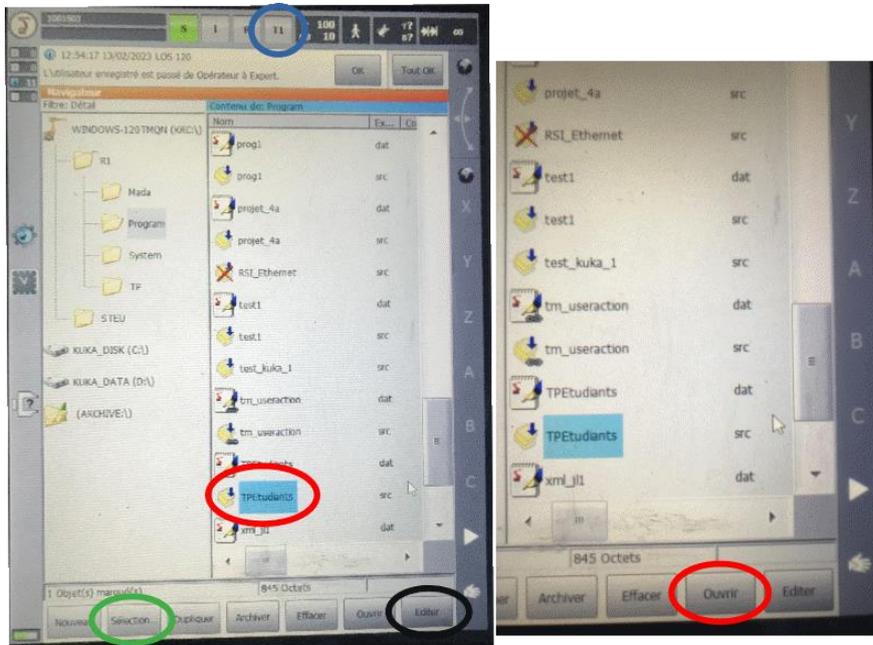


Figure 7 : Edition du fichier **TPEtudiants.src**.

Appuyer sur la touche représentée par un crayon (uniquement accessible en mode 'Expert', cf. p. 2 du document), entourée en rouge dans la figure qui suit, pour permettre d'écrire des lignes de commande (le fait de réappuyer sur la touche 'crayon' va fermer la fenêtre permettant d'écrire les lignes de commande).

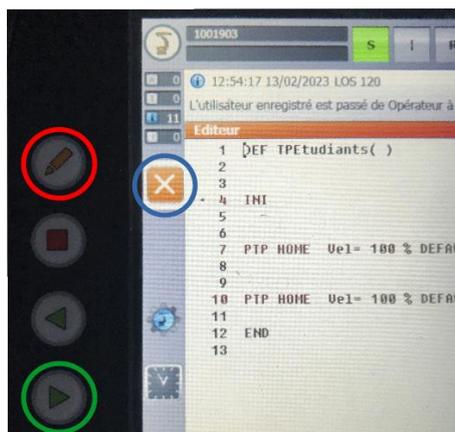


Figure 8 : Manipulations relatives à l'édition du fichier **TPEtudiants.src**.

Le fait de cliquer sur la touche X, entourée en bleu dans la figure précédente, va permettre, avant de fermer la fenêtre, de sauvegarder les modifications réalisées au sein du script.

N.B. : Un fichier qui comporte une erreur apparaît barré d'une croix rouge. La touche 'Liste de défauts', situé dans la barre de Boutons, aide à la compréhension de l'erreur ou des erreurs commises.

I.C.2) Exécution du script contenu dans le fichier TPEtudiants.src

Sélectionner le programme **TPEtudiants.src** *via* la touche « **Sélectionner** » entourée en vert dans la figure 7, tous les fichiers et listes de données nécessaires sont alors *liés* pour créer un programme exécutable.

La position courante du robot coïncide rarement avec le point indiqué dans la première instruction de mouvement à réaliser (indiquée dans le script par le pointeur de bloc (Block pointer)) aussi une ‘coïncidence de bloc’ (notée BCO) doit être réalisée. Sachant que l’exécution du mouvement permettant cette correspondance ne représente pas un mouvement testé et programmé, le mouvement est toujours réalisé à vitesse réduite en appuyant sur la touche **Start** (entourée en vert dans la figure précédente) et en activant le ‘corps mort’ afin de pouvoir arrêter le robot en cas de besoin. Maintenir la touche **Start** enfoncée (afin d’exécuter la coïncidence de bloc) jusqu’à ce que la ‘Fenêtre des messages’ affiche ‘Coïncidence de blocs atteinte’. Le robot s’arrête alors et le script est prêt à être exécuté. Pour exécuter le script, maintenir la touche **Start** enfoncée (il est alors inutile d’activer le ‘corps mort’).

Il suffit de ne plus appuyer sur la touche **Start** pour arrêter l’exécution d’un script lancé manuellement. Appuyer de nouveau sur la touche **Start** (en la maintenant enfoncée) pour reprendre son déroulement.

Appuyer sur la touche **Editer**, entourée en noir dans la figure 7, puis sélectionner (dans le menu qui est apparu) la touche **Abandon du programme** afin de sortir du mode exécution.

II) RÉALISATION DU DESSIN

II.A) Prise en compte de l’outil ‘Porte crayon + crayon’

La prise en compte de l’outil ‘Porte crayon + crayon’ va permettre de *situer* (positionner et orienter) le TCP au niveau de la pointe du crayon (et non, au niveau de la flasque du robot, comme précédemment).

L’outil est décrit dans la figure qui suit.

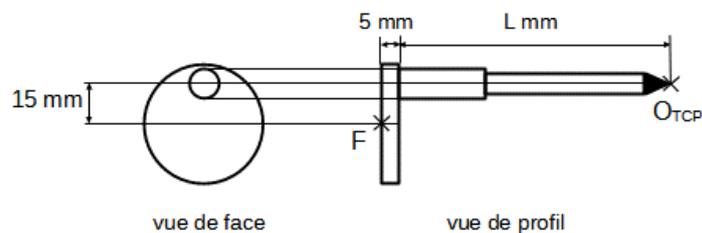


Figure 9 : Vues de face et de profil de l’outil.

L’outil est fixé à la flasque du robot comme indiqué dans la figure qui suit.

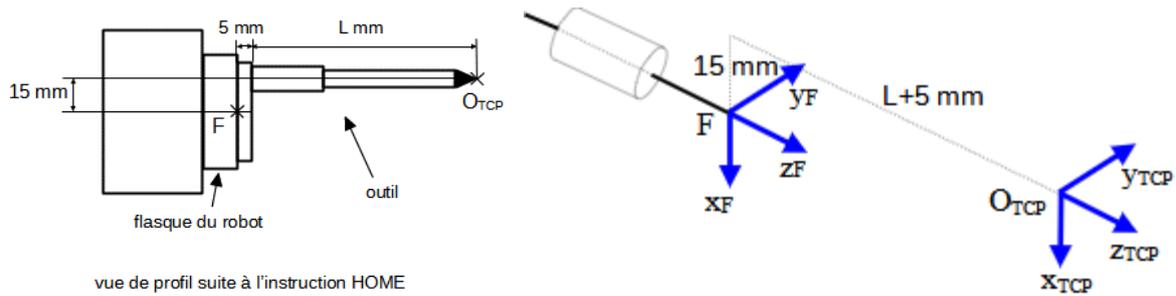


Figure 10 : Liaison de l'outil à la flasque du robot.

La prise en compte de l'outil se fait à travers l'instruction

$$\text{\$TOOL}=\{\text{FRAME:X } ??, \text{ Y } ??, \text{ Z } ??, \text{ A } ??, \text{ B } ??, \text{ C } ??\}$$

dans laquelle est définie la variable Kuka $\text{\$TOOL}$ où X, Y, Z fixent les coordonnées (en mm) de O_{TCP} exprimées dans le repère R_F et A, B, C sont les angles (en $^\circ$), définis selon la convention z, y, x , à même d'orienter le TCP par rapport au repère R_F . Par exemple, l'instruction $\text{\$TOOL}=\{\text{FRAME:X } 100, \text{ Y } 100, \text{ Z } 100, \text{ A } 0, \text{ B } 0, \text{ C } 0\}$ est telle que $X = Y = Z = 100 \text{ mm}$ et $A = B = C = 0^\circ$.

Q1) Donner les valeurs de X, Y, Z, A, B, C correspondant à l'outil utilisé. **ATTENTION** : ajoutez 10 mm à la longueur (L) du crayon afin de ne pas risquer de l'endommager. Ainsi le TCP sera positionné à +10 mm de la pointe du crayon le long de l'axe Z_{TCP} .

⇒ Placer l'instruction précédente juste après la première instruction du script (à savoir, PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT) afin que les points définis par la suite pour réaliser le dessin prennent bien en compte l'outil.

II.B) Définition d'un repère associé à la feuille A4

Un repère lié à la feuille A4, fixée sur le plateau du chariot, va être défini afin de ne pas avoir à réapprendre tous les points (utilisés pour réaliser le dessin) en cas de changement, volontaire ou non, de la *situation* (position et orientation) de la feuille A4 par rapport au bras du robot.

⇒ Fixer/scotcher la feuille A4 (sur laquelle va être réalisée le dessin) parallèlement à l'axe x_0 du repère R_0 (bien sûr la feuille sera placée dans l'espace atteignable du robot !!).

Une première idée (pour faire au plus simple) consiste à définir le repère associé à la feuille A4, noté $R_{Feuille}$, en prenant une orientation identique à celle du repère R_0 et une origine correspondant à un point, noté P_0 , appartenant au dessin à réaliser, comme indiqué dans la figure qui suit.

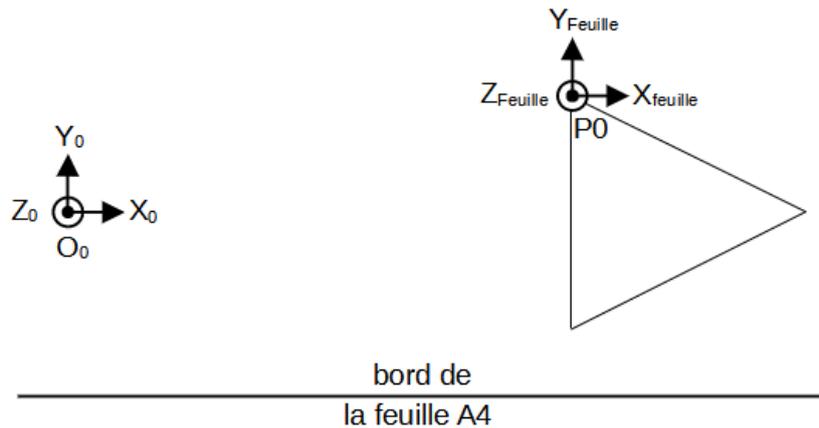


Figure 11 : Orientation du repère $R_{Feuille}$ identique à celle du repère R_0 .

- Q2) Donner les valeurs A, B, C du repère $R_{Feuille}$ qui en résulte sachant qu'elles correspondent aux angles de rotation (en $^\circ$) autour des axes **successivement** z, y, x à même d'orienter les vecteurs du repère $R_{Feuille}$ par rapport au repère R_0 .
- Q3) Quel problème se poserait si l'on appliquait la commande de mouvement PTP $R_{Feuille}$ laquelle permet au repère associé au Tool Center Point (TCP), dans notre cas la flasque du robot, de se confondre avec le repère $R_{Feuille}$ (l'instruction PTP est détaillée au §2.7.i, 'Point-to-Point motions', p. 26 du document 'Robot Kuka KR C3') ?
- Q4) Comment modifier les valeurs A, B, C du repère $R_{Feuille}$ pour résoudre ce problème, c-à-d, pour permettre l'application de la commande PTP $R_{Feuille}$?
- Q5) Il s'agit de donner les valeurs X, Y, Z du repère $R_{Feuille}$ sachant qu'elles correspondent aux coordonnées (en mm) du point $O_{Feuille}$ dans le repère R_0 . Expliquer pourquoi la valeur de Z est égale à 0. Une solution pour déterminer les valeurs de X, Y consiste à *localiser* (situer et orienter) le TCP au point correspondant au repère $R_{Feuille}$, pour cela on procède en 4 étapes :
- déclarer et définir dans le script **TPEtudiants.src** un point, noté P , tel que :
 - sa *position* (indiquée à travers les valeurs X, Y, Z) soit proche de celle de l'origine du repère $R_{Feuille}$,
 - son *orientation* (indiquée à travers les valeurs A, B, C) corresponde à celle souhaitée pour le repère $R_{Feuille}$.
- Voir à titre d'exemple le script décrit p. 23, ainsi que le §2.6, 'Variables and declarations', p. 19 ;
- appliquer la commande PTP P , ainsi l'*orientation* du TCP sera la même que celle du repère $R_{Feuille}$;
 - déplacer la pointe du crayon vers le point d'origine du repère $R_{Feuille}$ en effectuant des mouvements manuels selon les axes du repère R_0 /World du robot (c-à-d, dans l'espace opérationnel, voir §I.A.2) afin de ne pas modifier l'orientation du TCP, ainsi la *position* du TCP sera la même que celle du repère $R_{Feuille}$;
 - prendre comme valeurs de X, Y, Z, A, B, C du repère $R_{Feuille}$ celles du TCP (puisque le TCP correspond au repère $R_{Feuille}$).

⇒ A présent, orienter de manière quelconque la feuille A4 de sorte que l'axe x_0 ne soit plus parallèle à l'axe $x_{Feuille}$. Mesurer l'angle, noté α , fait entre ces deux axes à l'aide d'un rapporteur ou d'une règle.

Q6) Modifier les valeurs A, B, C du repère $R_{Feuille}$ trouvées à la question Q4 afin de prendre en compte l'angle α .

II.C) Réalisation du script

Soient $P1, P2$ les points définis dans le repère $R_{Feuille}$, représentés dans la figure qui suit, que l'on va utiliser pour réaliser le dessin.

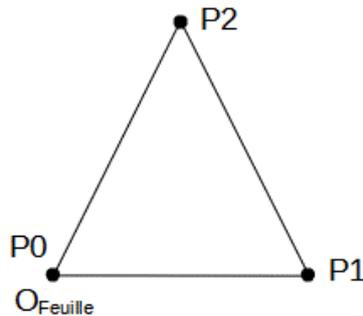


Figure 12 : Représentation des points $P1, P2$.

II.C.1) Programmation du robot

⇒ 1. Déplacement du crayon au point $P0$: Compléter le script permettant de déplacer le robot au point $P0$, voir §2.7.i, 'Point-to-Point motions', p. 26 concernant la commande à appliquer ;

⇒ 2. Réalisation du triangle : Compléter le script pour permettre de dessiner le triangle. Vous utiliserez pour cela les points $P1, P2$ (définis dans le repère $R_{Feuille}$, voir p. 22-23 concernant leurs utilisations) sachant que le bras du robot devra se déplacer en ligne droite pour réaliser le triangle, voir §2.7.ii, 'Linear motions', p. 27 concernant les commandes à appliquer ;

⇒ 3. Réalisation du demi-cercle : Compléter le script afin de reproduire le demi-cercle en prenant soin de définir un point auxiliaire ($P3$) défini dans le repère $R_{Feuille}$, voir §2.7.ii, 'Circular motions', p. 27-28 concernant la commande à appliquer.

II.C.2) Calcul de la position du point $P2$ dans le repère $R_0/World$

Q7) Calculer la position du point $P2$ dans le repère R_0 en vous basant sur les coordonnées de ce point dans le repère $R_{Feuille}$ et de celles du repère $R_{Feuille}$ dans le repère R_0 . Rappelons que les angles A, B, C , exprimant l'orientation d'un repère, sont définis selon la convention (z, y, x) .

⇒ Prélever les coordonnées du point $P2$ dans le repère R_0 afin de valider votre calcul. Pour cela insérer l'instruction WAIT SEC 5 après celle permettant le déplacement du bras au point $P2$ (le fait d'arrêter le mouvement durant 5 secondes après avoir atteint ce point va vous laisser le temps pour stopper l'exécution du script et ainsi permettre de prélever ces coordonnées).