

Partie 1 : Base mobile d'un robot d'assemblage de l'industrie aéronautique (extrait d'un sujet CCS)**Présentation**

On étudie une base mobile capable de recevoir différents types de bras robotisés — dont des bras collaboratifs — mais aussi de se déplacer de manière autonome dans un environnement industriel complexe composé de robots et d'humains.

Cette base est utilisée dans le cadre du vissage automatisé de pièces d'avionique dans une carlingue.

La base est le support d'un robot de vissage équipé de sa propre commande pour ses mouvements et d'une reconnaissance d'image par caméra afin de bien identifier les emplacements où devront être réalisés les vissages

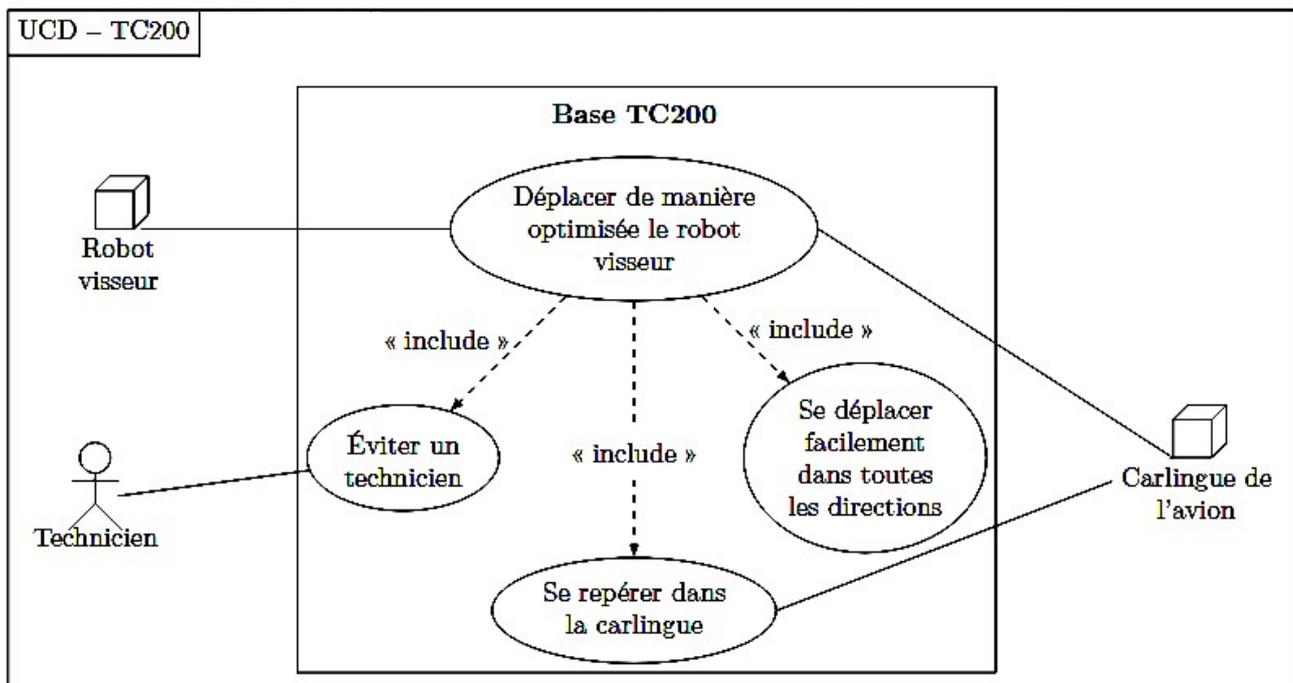
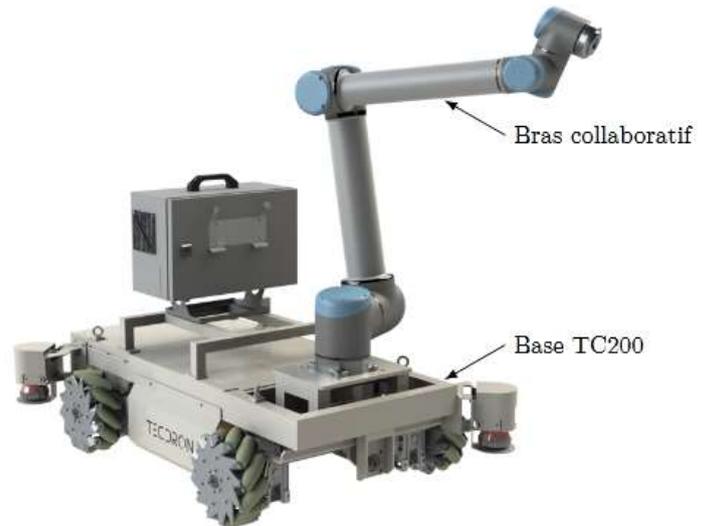


Figure 1

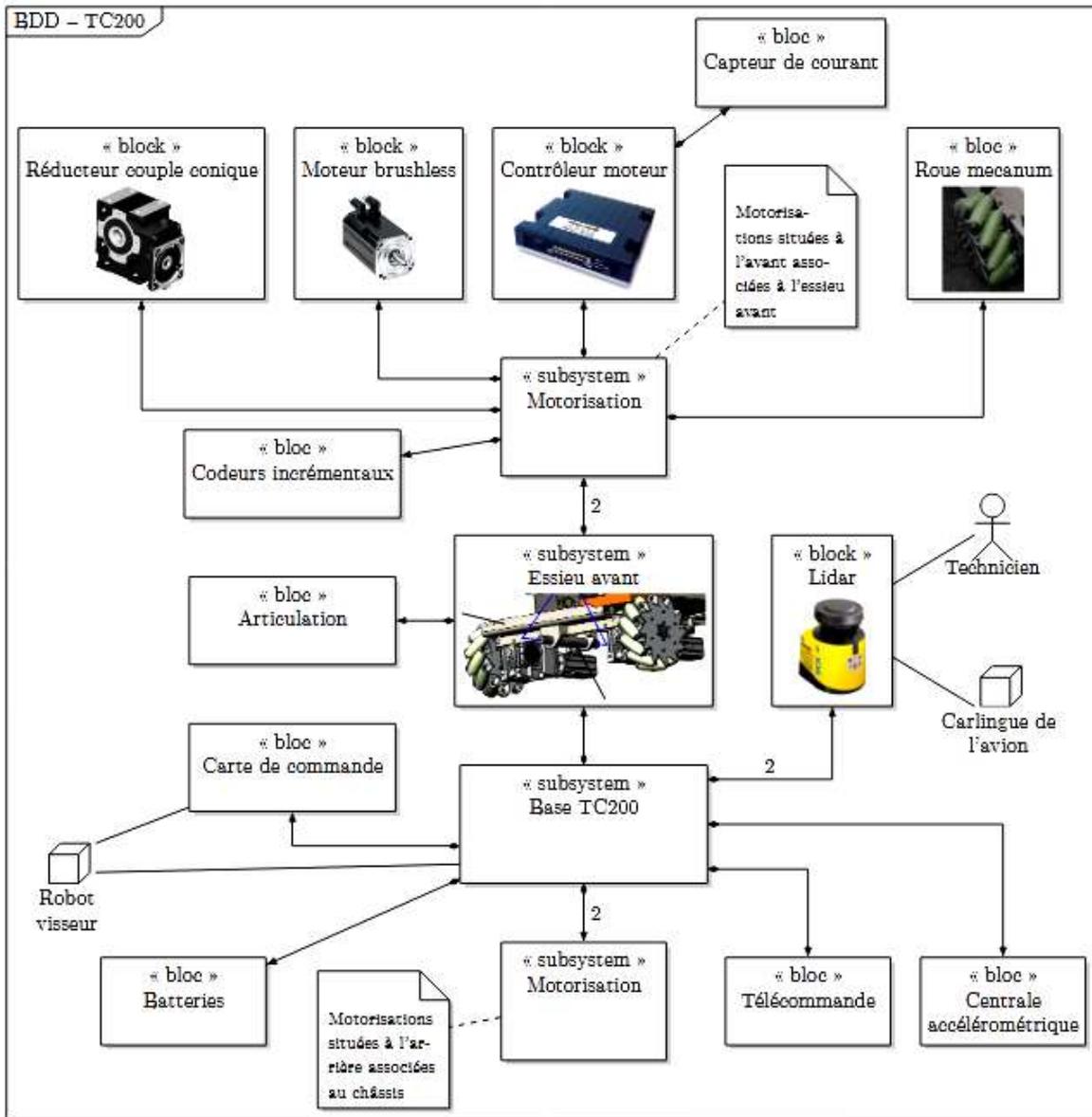


Figure 2

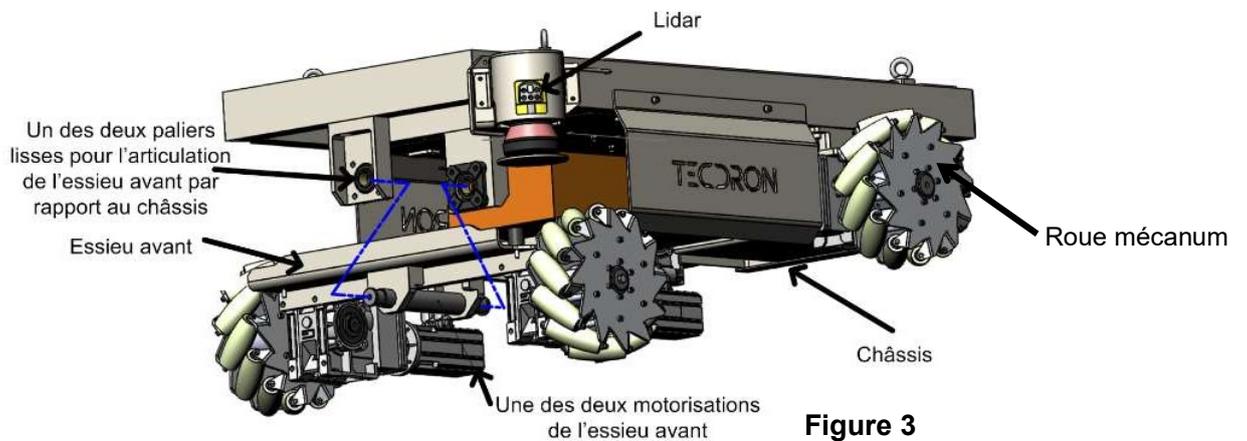


Figure 3

Schéma cinématique étudié :

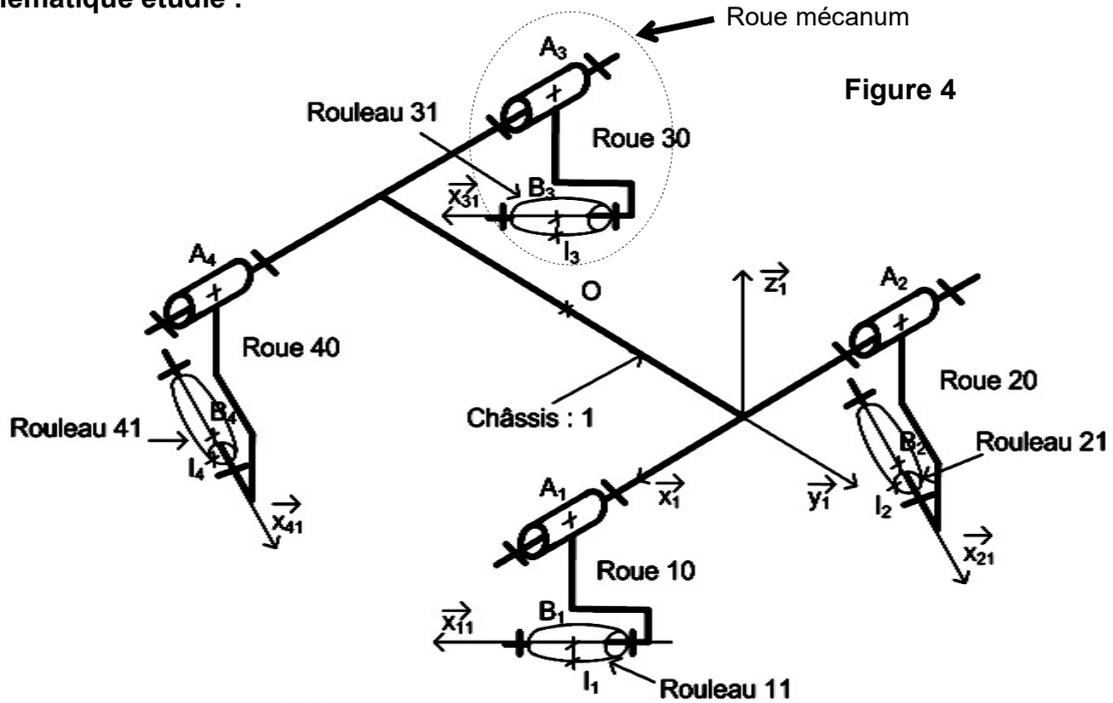


Figure 4

Paramétrage

Solide	Base associée	Paramétrage
Sol 0	$(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$	
Châssis 1	$(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$	$(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = \theta, (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = \theta, \vec{z}_0 = \vec{z}_1$ $\vec{V}_{1/0}(O) = V_x \vec{x}_1 + V_y \vec{y}_1, \vec{\Omega}_{1/0} = \dot{\theta} \vec{z}_1 = \omega \vec{z}_1$
Roue 10 (avant droite)	$(\vec{x}_{10}, \vec{y}_{10}, \vec{z}_{10})$	$\vec{\Omega}_{10/1} = \omega_{10} \vec{x}_1, \vec{OA}_1 = a \vec{x}_1 + b \vec{y}_1, \vec{B}_1 \vec{A}_1 = R \vec{z}_1, (\vec{y}_{10}, \vec{y}_1) = \gamma_1$
Rouleau 11 (en contact avec le sol en I_1)	$(\vec{x}_{11}, \vec{y}_{11}, \vec{z}_{11})$	$(\vec{x}_1, \vec{x}_{11}) = (\vec{y}_1, \vec{y}_{11}) = \alpha_{11}, \vec{\Omega}_{11/10} = \dot{\beta}_{11} \vec{x}_{11},$ $\vec{I}_1 \vec{B}_1 = r \vec{z}_1$
Roue 20 (avant gauche)	$(\vec{x}_{20}, \vec{y}_{20}, \vec{z}_{20})$	$\vec{\Omega}_{20/1} = \omega_{20} \vec{x}_1, \vec{OA}_2 = -a \vec{x}_1 + b \vec{y}_1, \vec{B}_2 \vec{A}_2 = R \vec{z}_1, (\vec{y}_{20}, \vec{y}_1) = \gamma_2$
Rouleau 21 (en contact avec le sol en I_2)	$(\vec{x}_{21}, \vec{y}_{21}, \vec{z}_{21})$	$(\vec{x}_1, \vec{x}_{21}) = (\vec{y}_1, \vec{y}_{21}) = \alpha_{21}, \vec{\Omega}_{21/20} = \dot{\beta}_{21} \vec{x}_{21},$ $\vec{I}_2 \vec{B}_2 = r \vec{z}_1$
Roue 30 (arrière gauche)	$(\vec{x}_{30}, \vec{y}_{30}, \vec{z}_{30})$	$\vec{\Omega}_{30/1} = \omega_{30} \vec{x}_1, \vec{OA}_3 = -a \vec{x}_1 - b \vec{y}_1, \vec{B}_3 \vec{A}_3 = R \vec{z}_1, (\vec{y}_{30}, \vec{y}_1) = \gamma_3$
Rouleau 31 (en contact avec le sol en I_3)	$(\vec{x}_{31}, \vec{y}_{31}, \vec{z}_{31})$	$(\vec{x}_1, \vec{x}_{31}) = (\vec{y}_1, \vec{y}_{31}) = \alpha_{31}, \vec{\Omega}_{31/30} = \dot{\beta}_{31} \vec{x}_{31},$ $\vec{I}_3 \vec{B}_3 = r \vec{z}_1$
Roue 40 (arrière droite)	$(\vec{x}_{40}, \vec{y}_{40}, \vec{z}_{40})$	$\vec{\Omega}_{40/1} = \omega_{40} \vec{x}_1, \vec{OA}_4 = a \vec{x}_1 - b \vec{y}_1, \vec{B}_4 \vec{A}_4 = R \vec{z}_1, (\vec{y}_{40}, \vec{y}_1) = \gamma_4$
Rouleau 41 (en contact avec le sol en I_4)	$(\vec{x}_{41}, \vec{y}_{41}, \vec{z}_{41})$	$(\vec{x}_1, \vec{x}_{41}) = (\vec{y}_1, \vec{y}_{41}) = \alpha_{41}, \vec{\Omega}_{41/40} = \dot{\beta}_{41} \vec{x}_{41},$ $\vec{I}_4 \vec{B}_4 = r \vec{z}_1$

Paramètre	Valeur
Rayon des roues (sans rouleau)	R=127 mm
Rayon des rouleaux	r=19,1 mm
Demi-voie avant ou arrière	a=350 mm
Demi-empattement	b=376,5 mm
Angles des rouleaux 11 et 31	$\alpha_{11}=\alpha_{31}=-45^\circ$
Angles des rouleaux 21 et 41	$\alpha_{21}=\alpha_{41}=45^\circ$

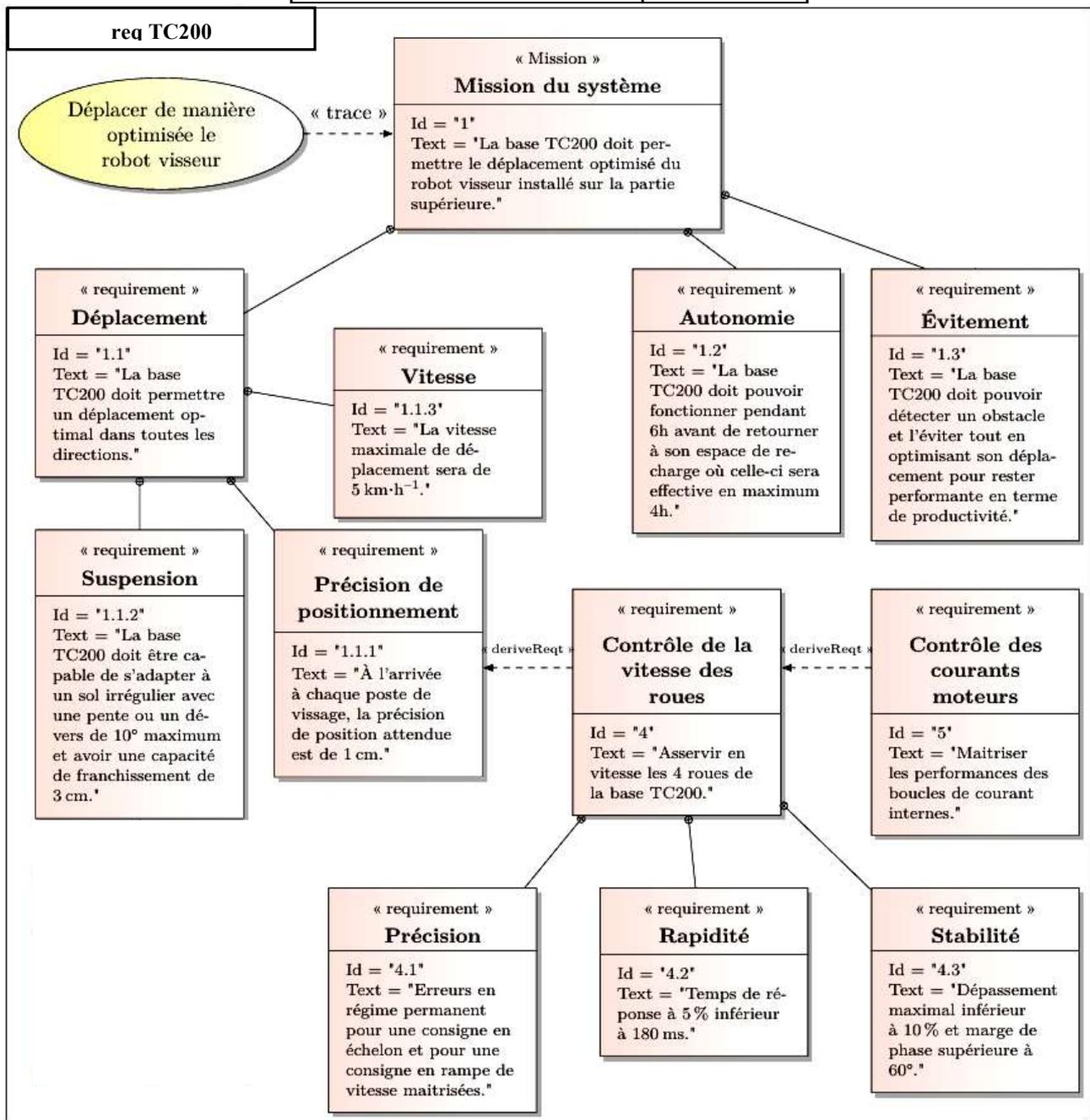


Figure 5

Question 1 : Donner le nom des diagrammes présentés figure1, figure 2 et figure 5. Pour chacun d'entre eux indiquer ce à quoi ils servent.

Question 2 : Recopier et compléter le texte suivant sur la copie :

La base T200 est associée à qui est fixé dessus. La fonction principale du T200 est de La précision de déplacement de la base T200 doit être au decm. Le T200 est constitué d'un châssis, sur lequel sont fixées quatre..... Une roue mécanum est constituée de éléments principaux, qui sont et La motorisation de la plateforme est assurée par moteurs Deux sont solidaires du et les deux autres solidaire de La vitesse de déplacement du T200 sera au plus égale à

Question 3 : Dessiner le graphe des liaisons de la base T200, indiquer précisément le type de liaison, leur repérage et le paramètre qui définit leur position.

Question 4 : Dessiner la figure de changement de base du châssis 1 par rapport au sol 0.

Dessiner la figure de changement de base de la roue 10 par rapport au châssis 1.

Dessiner la figure de changement de base du rouleau 11 par rapport à la roue 10.

Question 5 : Ecrire le vecteur $\overrightarrow{OI_1}$ dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ puis donner son expression dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

Question 6 : On suppose un point fixe au sol nommé O_0 , on suppose que la base T200 est en déplacement rectiligne dans la direction \vec{y}_0 . Quelle est la valeur de θ ? Donner l'expression du vecteur position du châssis dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ si $d(O_0, O) = \lambda$. Dans ce cas de déplacement donner la valeur de V_y .

Partie 2 : Stabilisateur gyroscopique de bateau (extrait d'un sujet Mines Pont)

Description du mouvement de roulis

Le système étudié est un dispositif de stabilisation gyroscopique pour bateau permettant de neutraliser le mouvement de roulis (voir Figure 1). Cette rotation suivant l'axe longitudinal du navire est la première cause du mal de mer. Dans tout le sujet, seul ce mouvement de roulis, rotation autour de l'axe (O, \vec{x}_0) , sera considéré. Si l'idée d'utiliser un gyroscope pour stabiliser un bateau remonte à plus d'un siècle, sa mise en œuvre n'est que très récente notamment grâce à la société Seakeeper. Les principaux verrous technologiques étaient la capacité à mettre et maintenir en rotation un volant d'inertie à des vitesses très élevées ainsi qu'à développer des moyens de contrôle actif afin de s'adapter à toutes les conditions de houle. La demande concerne en particulier la navigation de plaisance avec une exigence de performance forte lors de la phase de fonctionnement bateau à l'arrêt, ancre descendue.

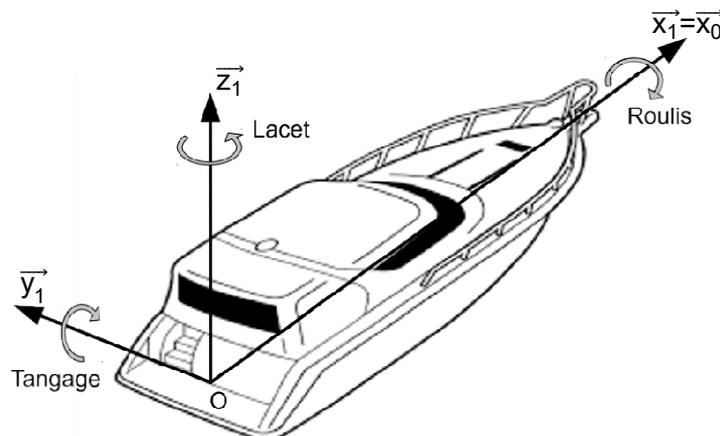


Figure 1 : Définition des 3 rotations orientant le bateau par rapport au référentiel terrestre

Description du fonctionnement du stabilisateur gyroscopique

Les stabilisateurs gyroscopiques peuvent être adaptés à tous les types d'embarcation grâce à un encombrement réduit et une masse limitée par rapport aux caractéristiques des navires. Le maintien de leur efficacité est assuré pour une grande variété de positionnement sur le bateau. Ainsi, leur installation peut être envisagée directement lors de la construction du navire aussi bien que par une intégration en cours de cycle de vie de l'embarcation. La **Figure 2** représente l'installation d'un stabilisateur dans le plan de symétrie du bateau (O, \vec{x}_1, \vec{z}_1), configuration retenue par la suite de l'étude.

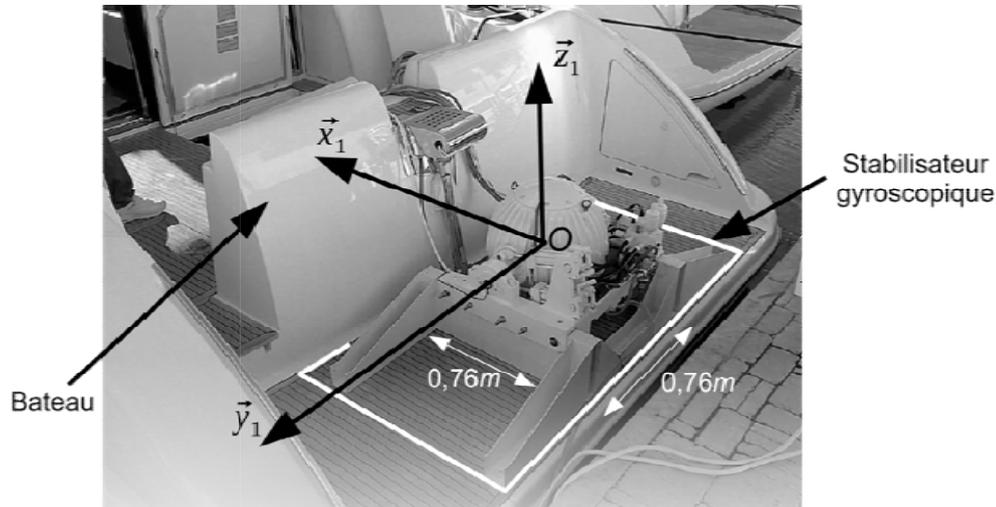


Figure 2 : Stabilisateur gyroscopique monté sur un bateau

Le stabilisateur (voir **Figure 3**) est constitué d'une enceinte **2** en liaison pivot selon l'axe de Cardan (O, \vec{y}_1) par rapport au bateau **1**. Un volant d'inertie **3**, en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_2) par rapport à l'enceinte **2**, est maintenu en rotation grâce à un moteur électrique.

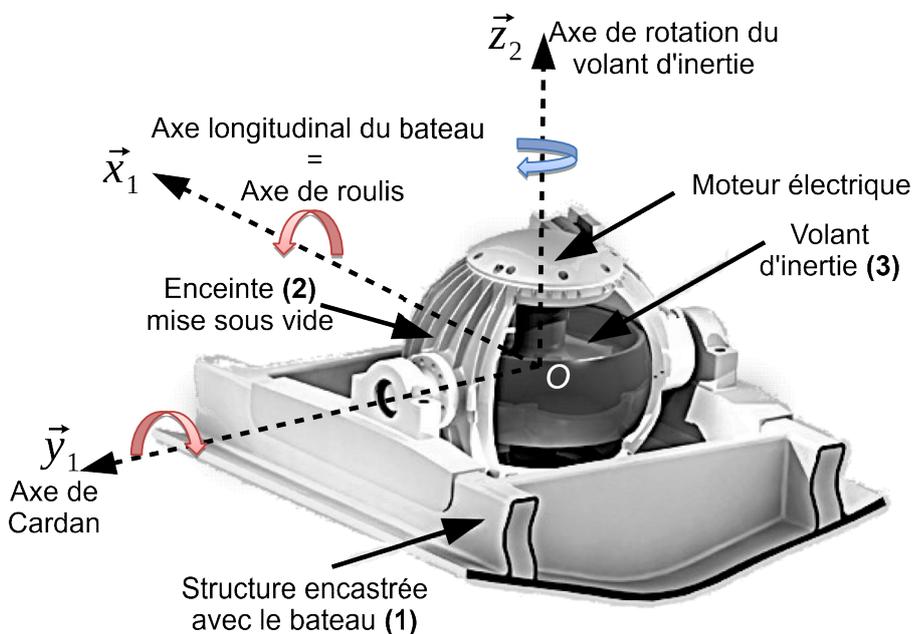


Figure 3 : Structure interne du stabilisateur gyroscopique

Les vitesses angulaires très élevées (de l'ordre de $10000 \text{ tr.min}^{-1}$ au maximum) du volant nécessitent :

- la mise sous vide de l'enceinte **2** afin de limiter les actions mécaniques aérodynamiques qui s'exercent sur le volant d'inertie **3** lors de son mouvement de rotation et ainsi minimiser la consommation électrique ;
- le développement d'une motorisation spécifique avec entraînement direct ;
- un guidage en rotation de haute précision (de l'ordre du micromètre) réalisé par des roulements à billes en céramique.

Le découpage dans le temps du fonctionnement peut être décrit de la manière suivante :

- l'initiation d'un mouvement de roulis du bateau **1** engendre un basculement de l'ensemble {enceinte **2**, volant d'inertie **3**} autour de l'axe de Cardan (basculement du à l'effet gyroscopique);
- la combinaison de la rotation du volant et de celle de l'axe de Cardan génère alors un couple gyroscopique suivant la direction de roulis ;
- ce couple tend à s'opposer au mouvement du bateau **1** et ainsi à lui assurer une stabilisation suivant la direction de roulis ;
- il apparait ainsi que les mouvements de roulis et de tangage sont couplés. En contrôlant le mouvement de rotation de l'axe de Cardan de façon active par un système hydraulique, les performances de stabilisation de roulis sont optimisées.

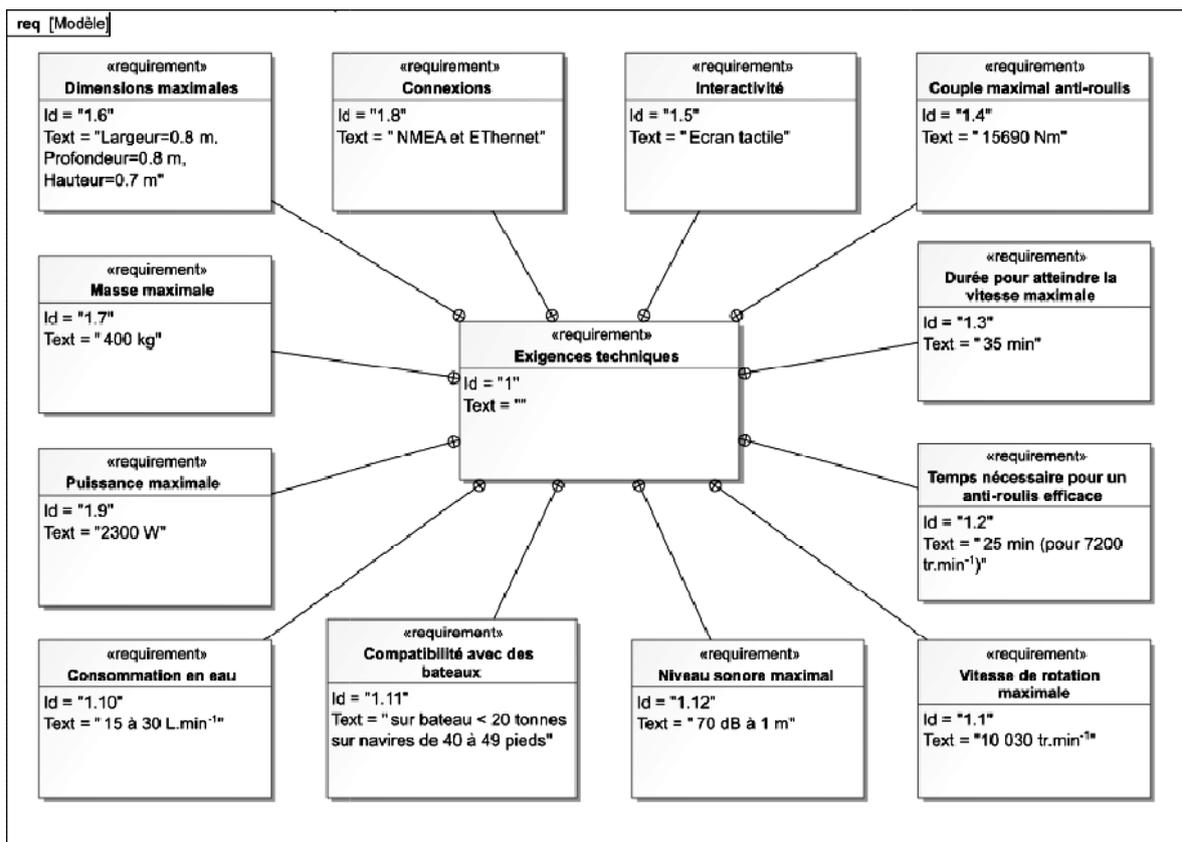


Figure 4

Figure 5 : Mesure des oscillations du bateau en roulis sans, puis avec, stabilisateur gyroscopique

La figure 5 présente l'architecture du régulateur hydraulique.

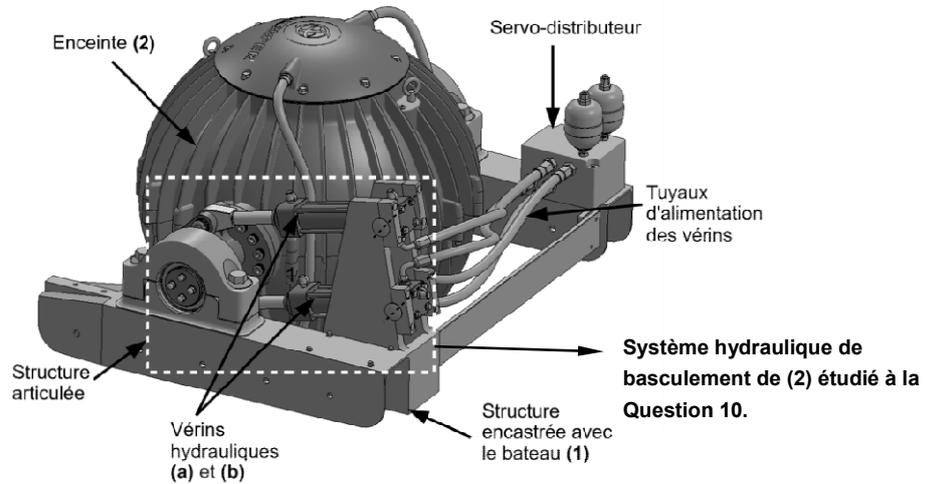


Figure 5

L'inclinaison suivant l'axe de Cardan du stabilisateur gyroscopique est commandée par un contrôleur électronique et un dispositif hydraulique de manière à optimiser le couple fourni pour diminuer le roulis du bateau.

Ce régulateur hydraulique est constitué d'un servo-distributeur commandé par le contrôleur électronique. Le servo-distributeur module le débit d'alimentation des deux vérins. La translation des vérins est transformée par la structure articulée en une rotation de l'ensemble enceinte **2** et volant d'inertie **3** autour de l'axe de Cardan. Un couple gyroscopique est alors généré sur l'axe de roulis du bateau afin de le stabiliser.

Stabilisateur gyroscopique et bateau

Un schéma cinématique partiel du stabilisateur gyroscopique est fourni **Figure 6**. Il sera enrichi au fur et à mesure de l'étude du sujet. Le paramétrage s'établit de la manière suivante :

- $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, repère supposé galiléen lié à la terre ;
- $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, repère lié au bateau **1**. La configuration cinématique retenue est un bateau **1** soumis à un unique mouvement de roulis d'axe (O, \vec{x}_0) par rapport à R_0 . Par souci de simplicité, on modélise la liaison entre le bateau et le repère terrestre par une liaison pivot d'axe (O, \vec{x}_0) .
 $\alpha(t) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$,
- $R_2(O, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$, repère lié à l'enceinte **2**. L'enceinte **2** est en liaison pivot d'axe (O, \vec{y}_1) avec le bateau **1**, paramétrée par $\beta(t) = (\vec{z}_1, \vec{z}_2) = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$.

$$\vec{\Omega}_{2/1} = \frac{d\beta(t)}{dt} \vec{y}_1 ;$$

- $R_3(O, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$, repère lié au volant d'inertie **3**. Le volant **3** est en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_2) avec l'enceinte **2**, paramétrée par $\gamma(t) = (\vec{x}_2, \vec{x}_3) = (\vec{y}_2, \vec{y}_3)$,
 $\vec{\Omega}_{3/2} = \frac{d\gamma(t)}{dt} \vec{z}_2 = \omega_m \vec{z}_2$ avec ω_m la vitesse angulaire du volant **3** par rapport à **2** supposée connue et constante.

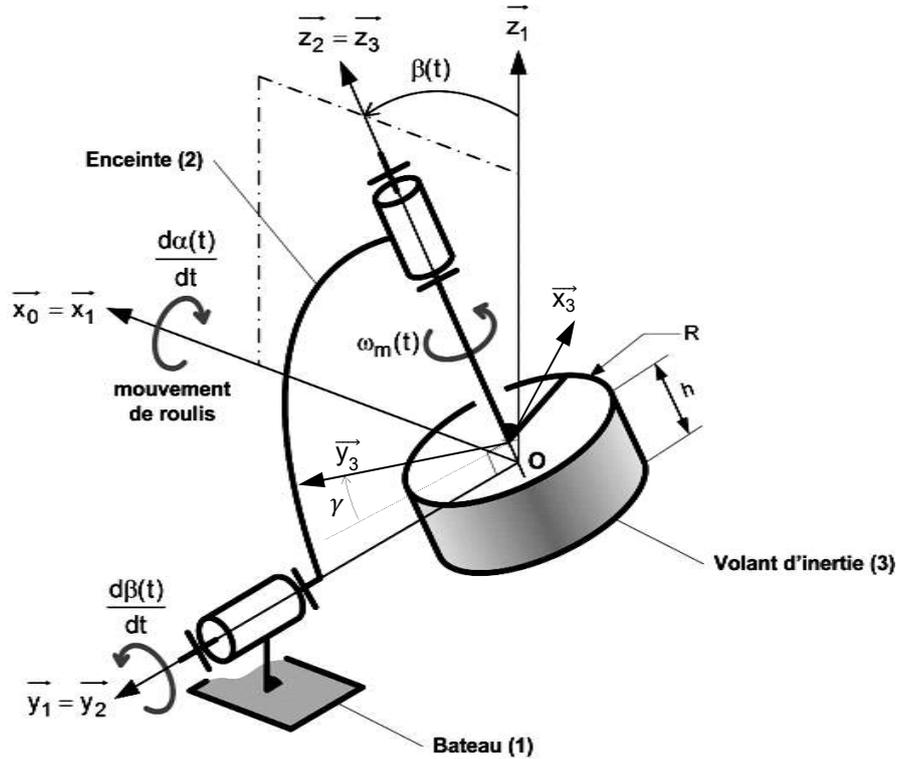


Figure 6 : Schéma cinématique partiel du stabilisateur gyroscopique (motorisation non représentée)

Question 7 : Quel est la fonction principale du système étudié ? Quel est le paramètre qui va être affecté par le système étudié ? Quel critère on peut imaginer pour évaluer la performance de ce système ?

Question 8 : En se référant à la figure 6 et au paramétrage, tracer le graphe des liaisons du système en étant le plus précis possible.

Question 9 : Tracer les deux figures de changement de bases associées au paramétrage des 2 rotations. C'est à dire du solide 2 par rapport 1 et de 3 par rapport à 2.

Pour compléter le modèle de la chaîne d'action globale, il est nécessaire de déterminer les équations qui caractérisent le système hydraulique entouré en pointillés sur la figure 5. Le système est modélisé par le schéma cinématique de la **Figure** .

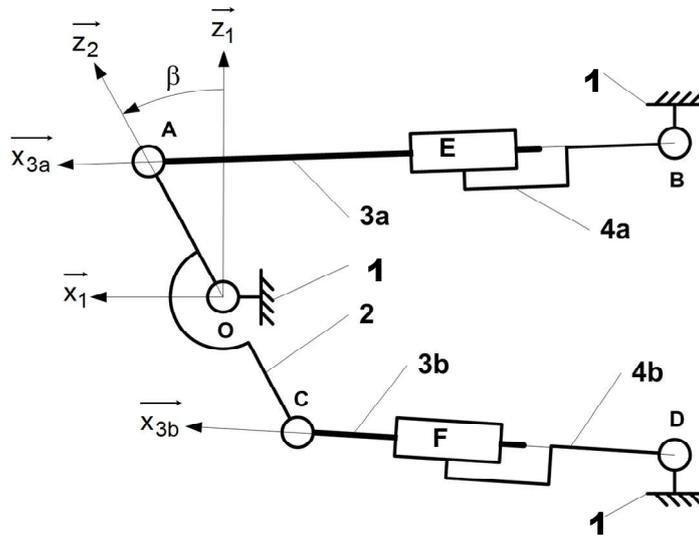


Figure 7 : Schéma cinématique de la structure articulée

On associe :

- le repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ au carter du système lié au bateau **1** ;
- le repère $R_2(O, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ lié à l'enceinte **2**. On note $\beta = (\vec{z}_1, \vec{z}_2) = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$ l'angle de l'enceinte **2** par rapport à **1** selon \vec{y}_1 ;
- le repère $R_{3a}(A, \vec{x}_{3a}, \vec{y}_{3a}, \vec{z}_{3a})$ au vérin **a** (constitué d'une tige notée **3a** et d'un corps noté **4a**)
- et le repère $R_{3b}(C, \vec{x}_{3b}, \vec{y}_{3b}, \vec{z}_{3b})$ au vérin **b** (tige **3b** et corps **4b**).

Les angles formés par ces vérins avec \vec{x}_1 sont notés :

$$\gamma_a = (\vec{z}_1, \vec{z}_{3a}) = (\vec{x}_1, \vec{x}_{3a}) \text{ et } \gamma_b = (\vec{z}_1, \vec{z}_{3b}) = (\vec{x}_1, \vec{x}_{3b}).$$

On donne :

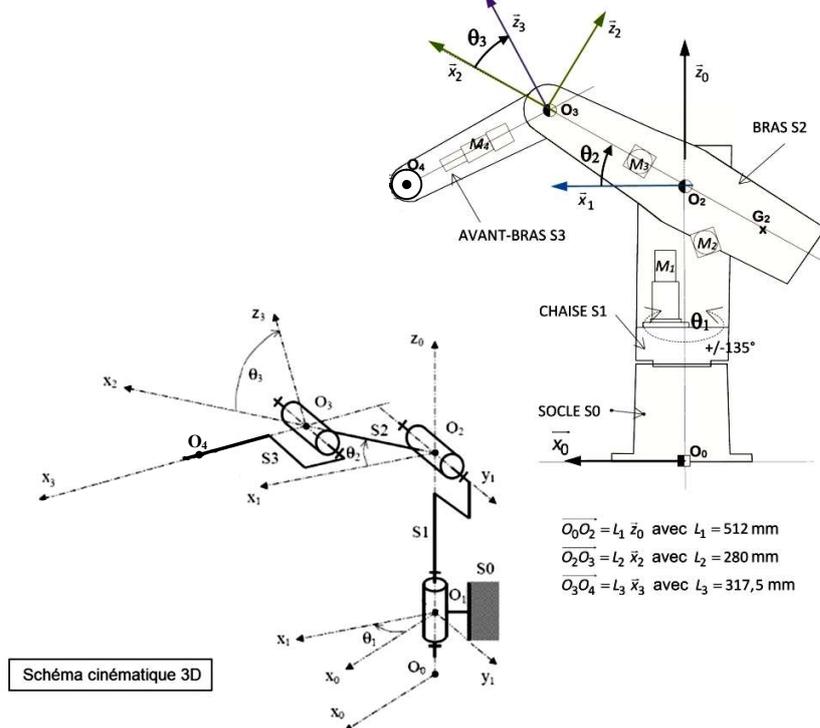
$$\vec{OA} = \vec{CO} = e \vec{z}_2 \quad \vec{BA} = \lambda_a(t) \vec{x}_{3a} \quad \vec{DC} = \lambda_b(t) \vec{x}_{3b} \quad \vec{OB} = -L\vec{x}_1 + d\vec{z}_1 \text{ et } \vec{OD} = -L\vec{x}_1 - d\vec{z}_1.$$

Question 10 : Indiquer le nom des liaisons mécaniques en A, B, C, D, E et F.

Question 11 : Ecrire la relation de Chasles vectorielle $\vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BO} = \vec{0}$, puis projeter tous les vecteurs dans le repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$. Ecrire les deux égalités scalaire données par les projections sur les axes \vec{x}_1 et \vec{z}_1 .

Question 12 : Sur chacune des équations obtenues à la question 11 isoler d'un côté de l'égalité $\sin(\gamma_a)$ ou $\cos(\gamma_a)$. En utilisant la propriété $\cos^2(\gamma_a) + \sin^2(\gamma_a) = 1$, trouver une relation de λ_a en fonction de β .

Partie 3 : Etude du système de coordonnées directes d'un robot



Attention à la définition de l'angle θ_3 , non usuelle. Utiliser un angle $\beta = (\vec{x}_2, \vec{x}_3) = \frac{\pi}{2} + \theta_3$

Pour le mouvement étudié, $\theta_1 = 0$.

Les coordonnées cartésiennes X, Y et Z et sont définies par: $\vec{O_0O_4} = X.\vec{x}_0 + Y.\vec{y}_0 + Z.\vec{z}_0$

Question 13 : Déterminer le modèle géométrique direct, c'est-à-dire les équations permettant de déterminer les coordonnées X, Y et Z en fonction de θ_2 et β , puis remplacer β pour obtenir des fonctions de θ_2 et θ_3 . Ecrire dans un premier temps le vecteur position $\vec{O_0O_4}$. Puis le projeter dans $(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ et enfin identifier avec X, Y et Z.

Question 14 : On suppose toujours $\theta_1=0$, dans quel plan a lieu la trajectoire de O_4 ? Dessiner sur la figure ci-dessous la position du mécanisme si le point O_4 descend verticalement de 20 mm. Déterminer graphiquement les valeurs des angles θ_2 et β .

