

DS2 MP (3H) : DYNAMIQUE (only)**SUJET 2**

UN DEVOIR SURVEILLE COMMENCE TOUJOURS
PAR LA LECTURE ENTIERE DE L'ENONCE

ATTENTION : LES RESULTATS DOIVENT ETRE **ENCADRES**

UNE ATTENTION PARTICULIERE SERA PORTEE
SUR LA PRESENTATION ET LA LISIBILITE DES COPIES,
CALCULATRICES AUTORISEES

MERCI DE RESPECTER LES CONSIGNES SUIVANTES.
Si vous ne les respectez pas, je ne corrige pas votre copie.

Composer à l'encre BLEUE ou NOIRE non effaçable.

Pas de stylo plume ni de stylos "friction".

Si vous souhaitez réaliser des schémas ou mettre des résultats en évidence, vous pouvez utiliser des couleurs, SAUF LE VERT et le TURQUOISE. Vous pouvez également utiliser des feutres ou des surligneurs.

Ne pas utiliser de correcteur (tipex par exemple)

Bon courage à tous. Ne stressez pas, les 3 exercices sont indépendants. VOUS SAVEZ FAIRE LES CALCULS, soyez juste rigoureux, prenez le temps de développer vos calculs si besoin. N'hésitez pas à utiliser un brouillon... Vérifiez bien l'homogénéité de vos résultats pour bien vérifier que vous n'avez pas oublié de recopier une grandeur dans les lignes précédentes.

Vous simplifierez au maximum les résultats et rangerez les vecteurs par ordre croissant, MERCI !!!

Exemple : hejheh.X1 + bebe.Y1 + hbe.Z2 + huecuc.X4 + hbeib.Y4 + dfdf.Z4

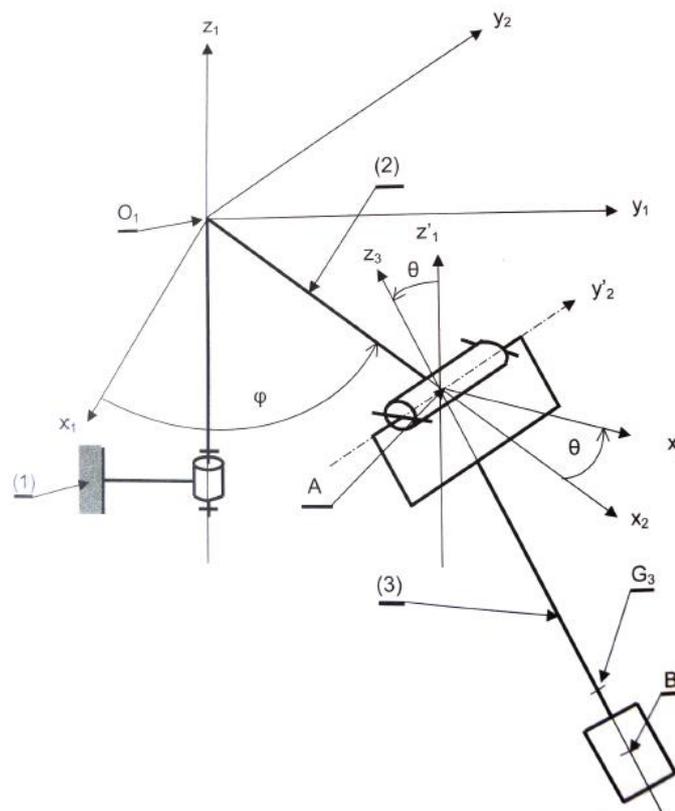
Exercice 1 : Chaises volantes

1 Présentation

Un manège est constitué d'un socle **1**, d'un fût central **2** qui supporte dix potences. Au bout de chacune d'elles, est suspendu l'ensemble noté **3** constitué d'une barre et du passager. Le siège est situé en B et fait partie intégrante de cet ensemble **3** rigide. La direction \vec{z}_1 est verticale. Les liaisons sont parfaites et sans frottement.

On donne :

- $\overrightarrow{O_1A} = R \cdot \vec{x}_2$ $\overrightarrow{AG_3} = -L \cdot \vec{z}_3$ $\vec{y}_2 = \vec{y}_2' = \vec{y}_3$
- Solide **3** : masse m_3 , centre d'inertie G_3 , $\bar{I}_{(A,3)} = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{b_3}$
- La schématisation cinématique :



? Problématique

L'objectif est de déterminer l'angle d'inclinaison θ correspondant à une vitesse de rotation du manège donnée.

2 Travail demandé

Question 1 Tracer le graphe des liaisons en plaçant l'ensemble des informations nécessaires à l'étude.

Question 2 Réaliser les figures de changement de bases.

Question 3 Préciser le torseur des actions mécaniques de **2** sur **3** en A dans la base b_2 .

Question 4 Déterminer la stratégie d'isolement et de projection afin d'étudier les variations de l'angle θ .

La vitesse de rotation $\dot{\varphi}$ est constante. De plus, on suppose que le moment d'inertie C_3 est négligeable devant les autres.

Question 5 Déterminer le torseur cinétique en A de **3** dans R_1 .

Question 6 Déterminer le torseur dynamique en A de **3** dans R_1 .

Question 7 Déterminer l'équation différentielle qui gouverne les variations de l'angle θ .

A une vitesse de rotation constante, la barre **3** se stabilise par rapport à **2** : θ est alors constant et noté θ_s .

Question 8 Déterminer l'expression de cet angle d'inclinaison en supposant qu'en première approximation A_3 peut être négligé devant le produit m_3LR . Réaliser l'application numérique avec $R = 4$ m et $\dot{\varphi} = 1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Exercice 2 : Lokomat

Système robotisé d'entraînement à la marche Lokomat®**Présentation générale**

Ces dernières années, l'intérêt pour les dispositifs robotiques automatisés pour l'entraînement à la marche pour les patients atteints de troubles locomoteurs d'origines diverses s'est développé.

Le Lokomat® fait partie des premiers outils associant une rééducation sur tapis roulant avec allègement corporel à une orthèse robotisée pour les membres inférieurs. Cet outil a été principalement développé afin de pallier l'insuffisance motrice des membres inférieurs chez des patients présentant des troubles de la marche. L'orthèse permet de positionner et de soutenir le patient dans sa verticalité, ce qui présente une utilité avérée pour les sujets se déplaçant majoritairement en fauteuil roulant à cause, par exemple, de leur insuffisance musculaire. Le but principal de cet outil est de travailler sur le schéma de marche dans sa totalité afin d'en améliorer la qualité, la performance et l'efficacité et ainsi de permettre une meilleure autonomie du patient lors de ses déplacements quotidiens. Cette méthode de rééducation se fonde principalement sur un processus d'automatisation du mouvement cyclique, permettant ainsi un (ré)apprentissage sensori-moteur actif et progressif pour le patient. Ce processus se caractérise par des programmes adaptés de (ré)apprentissage des différentes phases de marche et des différents paramètres locomoteurs (vitesse de marche, cadence, longueur et symétrie des pas, etc.). Le travail par répétition intensive du cycle locomoteur permet également, outre la récupération d'une marche autonome, un renforcement musculaire, cardiovasculaire et respiratoire important. En effet, la rééducation intensive et répétitive consiste à réaliser une activité ciblée avec un nombre élevé de répétitions modulables dans des conditions qui en augmentent la charge comparativement à l'intensité habituellement proposée.

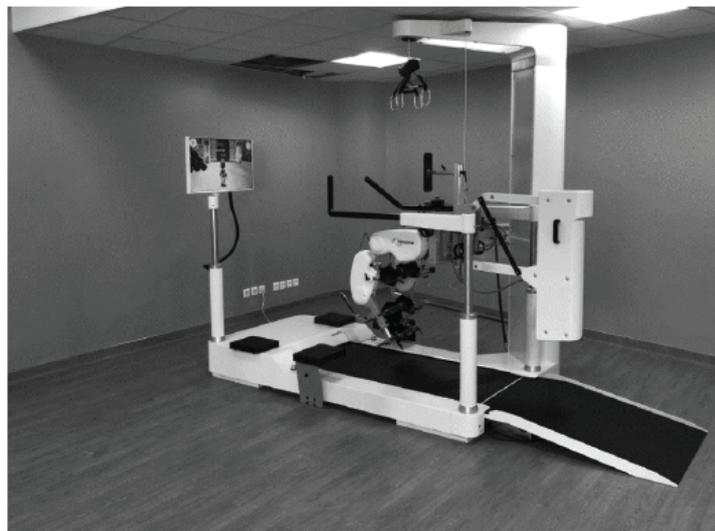


Figure 1 - Lokomat®

Description de l'outil

Le Lokomat® se compose (figures 1 et 2) :

- d'un exosquelette motorisé et programmable à 2 articulations (hanches et genoux). L'exosquelette est composé de capteurs intégrés au moteur au niveau des articulations, mesurant ainsi en permanence le degré d'amplitude articulaire, le degré de participation ou de résistance du patient au cours des cycles de marche. Les mouvements locomoteurs sont donc guidés par l'exosquelette. La programmation de l'orthèse se fait selon la vitesse du tapis roulant et selon le temps des phases de marche correspondant progressivement au schéma de marche normalisée ;
- d'un harnais de suspension assurant un allègement réglable du poids du corps du patient. Cet allègement corporel, de 40 % du poids du corps au maximum, permet de pallier le déficit musculaire du patient tout en gardant une stimulation sensitive suffisante. Au fil des séances et selon les capacités fonctionnelles du patient, l'allègement est progressivement diminué ;
- d'un tapis roulant de marche motorisé proposant une vitesse de déplacement de 0,5 à 5 km/h. Le tapis roulant est synchronisé avec les mouvements articulaires de l'exosquelette. Sa vitesse peut être ajustée au cours de la séance et/ou variée de façon aléatoire proposant ainsi, lors des exercices, une fréquence de marche adaptable ;
- de deux écrans :
 - l'un permettant au rééducateur de visualiser et de contrôler chaque articulation (feedback visuel) gauche et droite de l'exosquelette, et d'intervenir sur les différents exercices à proposer au patient en fonction de ses capacités ;
 - l'autre proposant une interface entre le patient et les mouvements de l'exosquelette via des exercices spécifiques sous forme de jeux interactifs.

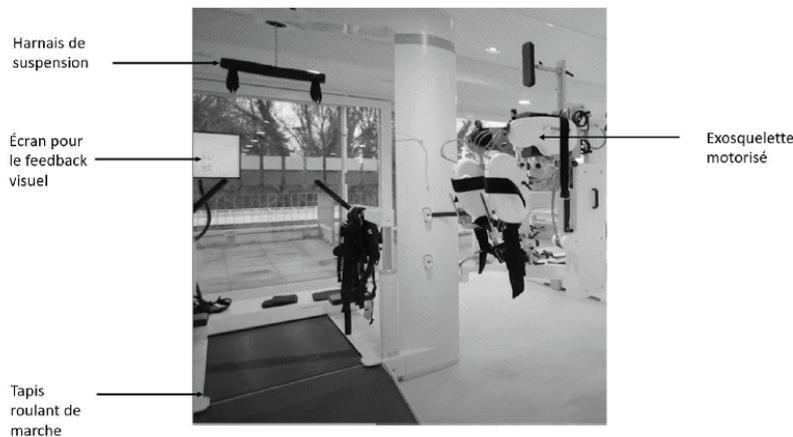


Figure 2 - Sous-ensembles constitutifs du Lokomat®

L'objectif principal du système est de reproduire un geste le plus naturellement possible, de manière répétitive et identique. Le thérapeute est en mesure de créer une séance sur mesure pour le patient en adaptant l'exosquelette en termes de vitesse de marche, de poids supporté par le patient et ainsi du poids compensé par la machine.



Figure 4 - Modèle numérique

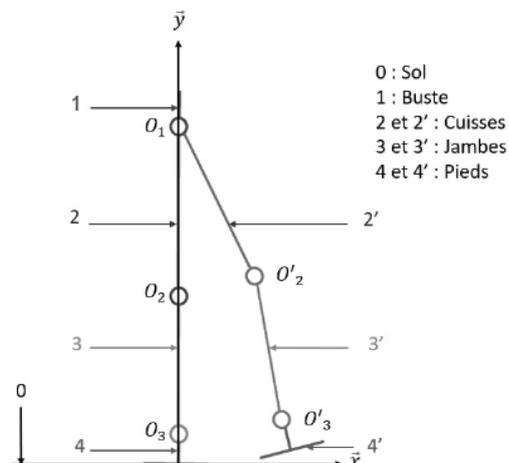


Figure 5 - Modèle d'étude

Partie II - Exigence fonctionnelle " Assurer le positionnement de la hanche "

Objectif : vérifier que le moteur choisi est en capacité de fournir le couple à la hanche.

Cette partie vise à déterminer l'équation dynamique qui permet d'obtenir le couple moteur en fonction des caractéristiques géométriques dans une phase critique du cycle de marche : la phase où le patient équipé de l'exosquelette est en appui unipode et le genou est verrouillé (phase 4 de l'activité du genou).

On suppose donc le patient en appui sur une jambe et l'autre étant tendue. On cherche à obtenir l'équation de mouvement de la jambe oscillante. Le modèle d'étude de l'exosquelette dans cette phase est celui représenté à la figure 11.

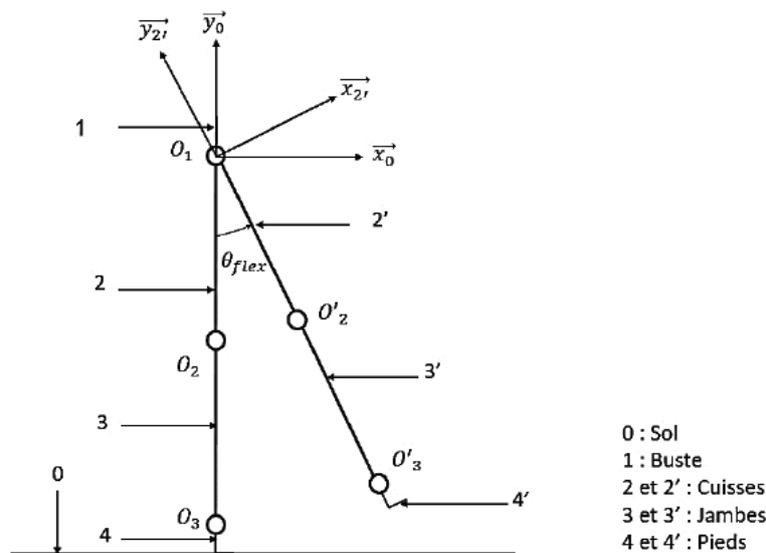


Figure 11 - Schéma cinématique de l'exosquelette lors de la phase oscillante en appui unipodal et genou verrouillé (phase 4 de l'activité du genou)

Hypothèses et données :

- les liaisons sont considérées comme parfaites ;
- la vitesse du tapis est réglée par le praticien de sorte que la cinématique souhaitée pour l'exosquelette soit respectée ;
- les solides 1, 2, 3 et 4 sont considérés comme fixes par rapport au sol 0 (tapis) ;
- le repère $R_0(O_1, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ associé au sol 0 est supposé galiléen ;
- on associe à la cuisse 2' le repère $R_2(O_1, \vec{x}_{2'}, \vec{y}_{2'}, \vec{z}_0)$ tel que $(\vec{x}_0, \vec{x}_{2'}) = \theta_{flex}$;
- on note θ_m l'angle du moteur de l'articulation de la hanche et ω_m la vitesse de rotation du moteur ;
- on note θ_{flex} l'angle de l'articulation de la hanche et $\omega_{flex/0}$ la vitesse de rotation de la hanche ;
- le couple fourni par le moteur est noté $C_m(t)$ et l'inertie axiale du rotor moteur est notée J_m ;
- le rendement global du système de réduction en régime permanent est de 1 ;
- on note k le rapport de réduction global de l'articulation de la hanche tel que : $k = \frac{\omega_{flex}}{\omega_m}$;
- la masse du patient est notée M et vaut : $M = 70$ kg.

Solides	Caractéristiques géométriques	Caractéristiques cinétiques
Jambe 1		
Solide $\Sigma = \{2 + 3 + 4\}$	$\overrightarrow{O_1O_2} = -L_2\overrightarrow{y_0}$ $\overrightarrow{O_2O_3} = -L_3\overrightarrow{y_0}$ $\overrightarrow{O_1G_1} = -h\overrightarrow{y_0}$	Masse M_1 Centre de gravité G_1 Matrice d'inertie $I(G_1, \Sigma) = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})}$
Jambe 2		
Solide 2'	$\overrightarrow{O_1O_2'} = -L_2\overrightarrow{y_2'}$ $\overrightarrow{O_1G_2} = -\frac{L_2}{2}\overrightarrow{y_2'}$	Masse m_2 Centre de gravité G_2 Matrice d'inertie $I(G_2, 2') = \begin{bmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{x_2'}, \overrightarrow{y_2'}, \overrightarrow{z_0})}$
Solide 3'	$\overrightarrow{O_2'O_3'} = -L_3\overrightarrow{y_2'}$ $\overrightarrow{O_2'G_3} = -\frac{L_3}{2}\overrightarrow{y_2'}$	Masse m_3 Centre de gravité G_3 Matrice d'inertie $I(G_3, 3') = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{x_2'}, \overrightarrow{y_2'}, \overrightarrow{z_0})}$
Solide 4'	$\overrightarrow{O_3'G_4} = -\frac{L_4}{2}\overrightarrow{y_2'}$	Masse m_4 Centre de gravité G_4 Matrice d'inertie $I(G_4, 4') = \begin{bmatrix} A_4 & 0 & 0 \\ 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & C_4 \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{x_2'}, \overrightarrow{y_2'}, \overrightarrow{z_0})}$

Figure 12 - Notations et paramètres pour la modélisation dynamique

- Q13.** Quelle(s) hypothèse(s) mise(s) en place justifie(nt) la forme des matrices d'inertie des solides 2', 3' et 4' ?
- Q14.** On considère le système $\Sigma' = \{\text{rotor} + 2' + 3' + 4'\}$. Déterminer les énergies cinétiques de chacun des solides du système Σ' dans leur mouvement par rapport au repère R_0 .
- Q15.** Isoler l'ensemble Σ' et déterminer les puissances des actions mécaniques extérieures agissant sur Σ' .
- Q16.** Déterminer les puissances des efforts intérieurs au système Σ' .

Q17. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique (Énergie Puissance) au système Σ' .

Q18. Mettre la relation de la Q17 sous la forme :

$$J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$$

où les termes J_{eq} et $C_r(t)$ seront à expliciter.

Q19. Sans faire de calculs, donner très clairement et précisément la démarche qui permet d'obtenir l'équation précédente à partir de l'application du principe fondamental de la dynamique.

Préciser quel(s) est(sont) le(s) système(s) étudié(s), quel(s) est(sont) le(s) théorème(s) ou principe(s) utilisé(s) et quels sont les termes qu'il faudrait calculer. Justifier clairement vos choix.

Q20. Le réducteur utilisé est un réducteur de type train épicycloïdal à trois étages. Un schéma cinématique est fourni en figure 13.

On note D_i le diamètre de la roue dentée i , $i \in \llbracket 0,3 \rrbracket$.

Donner les relations entre les différents diamètres des roues dentées permettant de garantir la coaxialité des planétaires, des couronnes et des porte-satellites.

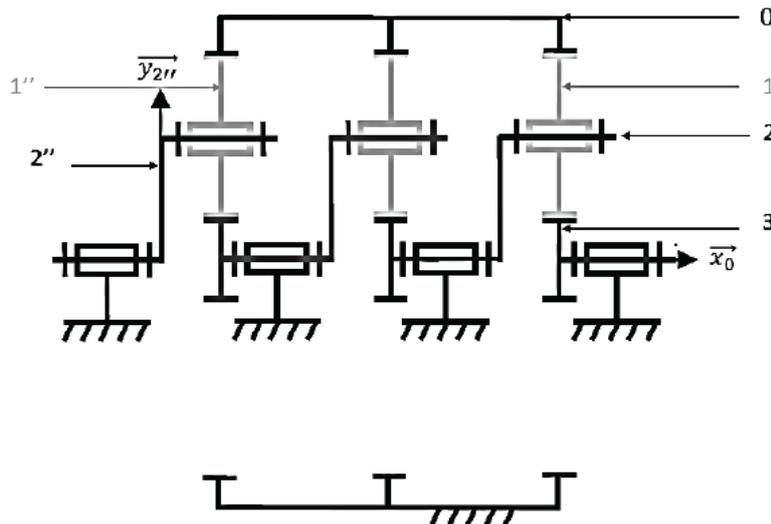


Figure 13 - Modèle du train épicycloïdal

On donne le nombre de dents Z_i des éléments constitutifs i du premier étage du train épicycloïdal :

$Z_0 = 60$ dents,

$Z_1 = 18$ dents,

$Z_2 = 45$ dents,

$Z_3 = 24$ dents.

Q21. Calculer le rapport de transmission du premier étage.

Q22. Les étages étant tous identiques, en déduire le rapport de transmission global du réducteur

Exercice 3 : Système de télé-échographie

Présentation

1. Mise en situation

L'échographie est une technique d'imagerie médicale basée sur l'exploitation de la réflexion d'une onde ultrasonore au niveau des interfaces physiologiques entre organes. Non irradiante, peu coûteuse et mobile, elle représente l'examen d'imagerie médicale le plus pratiqué au monde. En contrepartie, sa réalisation nécessite un manipulateur expert en imagerie médicale, capable d'analyser les images échographiques en temps réel afin d'orienter la sonde en conséquence. L'analyse et l'expertise sont donc réalisées pendant l'examen. De ce fait, cette technique d'imagerie est qualifiée de " manipulateur dépendant " : sa mise en œuvre est difficilement envisageable sur des sites isolés.

La robotisation de cette technique permet toutefois d'en élargir le champ d'application. Grâce à la télé-échographie robotisée (**figure 1**), il devient possible de réaliser une échographie sur un patient situé sur un site isolé (appelé site patient), alors même que le spécialiste en imagerie médicale se trouve sur un site distant de celui où est pratiqué l'examen (appelé site expert).

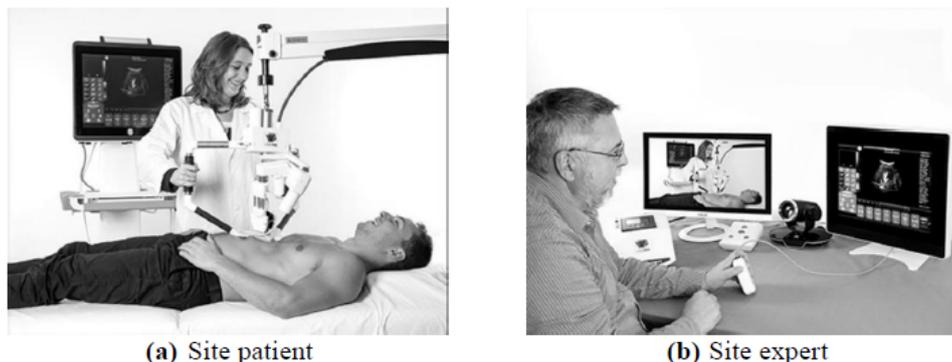


Figure 1 - Principe de la télé-échographie

Sur le site patient (**figure 1a**) équipé du robot porte-sonde, d'un échographe et d'un système de visioconférence, un professionnel de santé est chargé de positionner le robot porte-sonde sur le patient et de le maintenir au cours de l'examen. Depuis le site expert distant (**figure 1b**), le médecin dirige l'examen échographique. En manipulant une sonde fictive, il donne une consigne de position pour la sonde, que le robot exécute au contact du patient. Réalisant le lien entre les deux sites, le réseau de communication (ISDN, 4G, satellite...) permet en temps réel, le contrôle du robot, la visioconférence ainsi que la transmission des images échographiques.

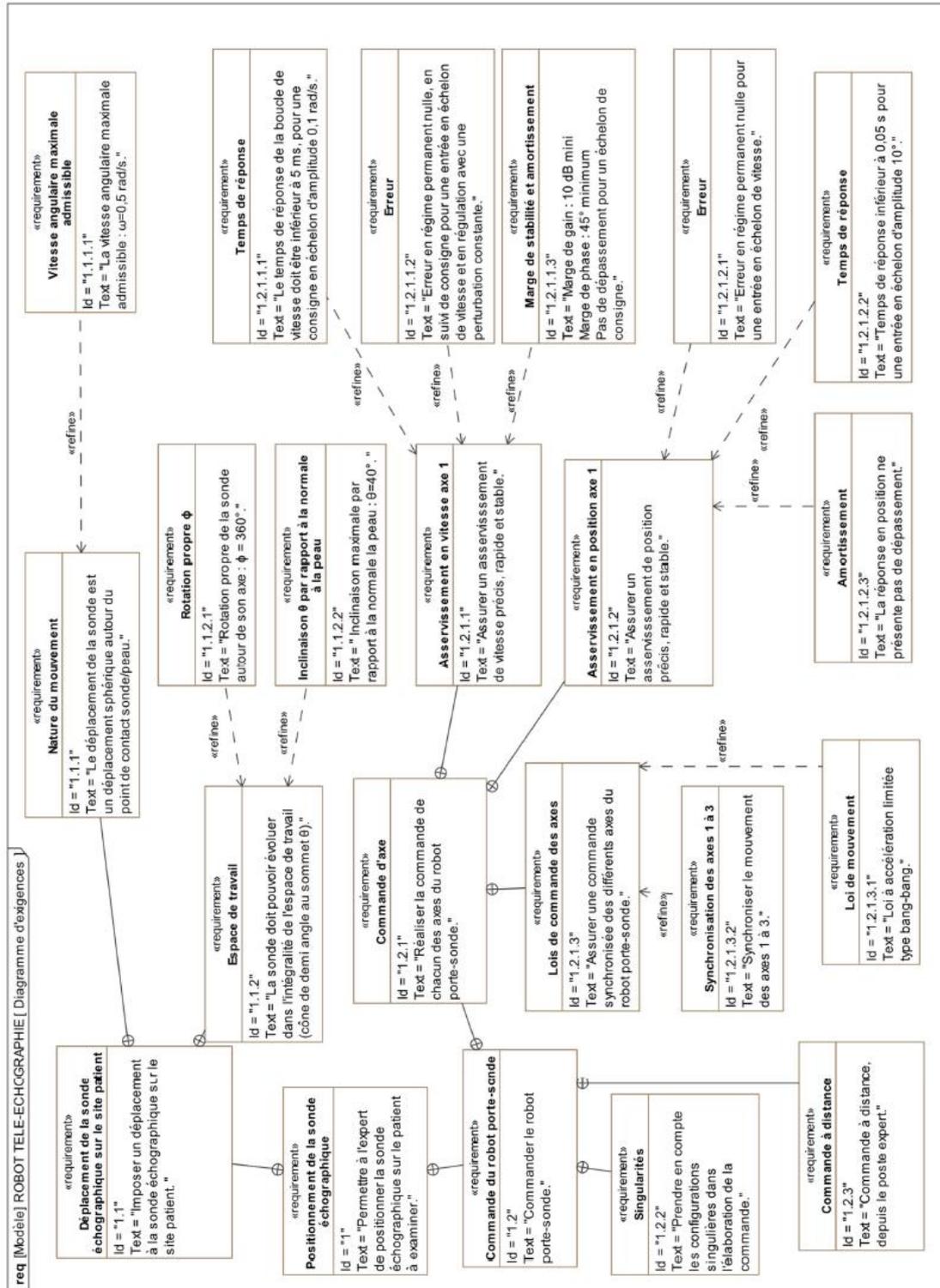
2. Analyse système partielle

Le diagramme d'exigences (**D5 du document réponse**), présente un extrait du cahier des charges du système de télé-échographie.

La **figure 2** décrit le robot porte-sonde constitué :

- d'une structure porteuse **0** ;
- d'un module de rotation, composé des sous-ensembles **1, 2, 3**, permettant d'orienter la sonde en lui imposant trois rotations (R_1, R_2, R_3) suivant les axes 1 à 3 ;
- du porte-sonde **4** sur lequel est fixé la sonde échographique **S**. La translation **T** suivant l'axe 4 permet de contrôler l'effort de contact sonde/peau du patient.

D5 - Diagramme d'exigences



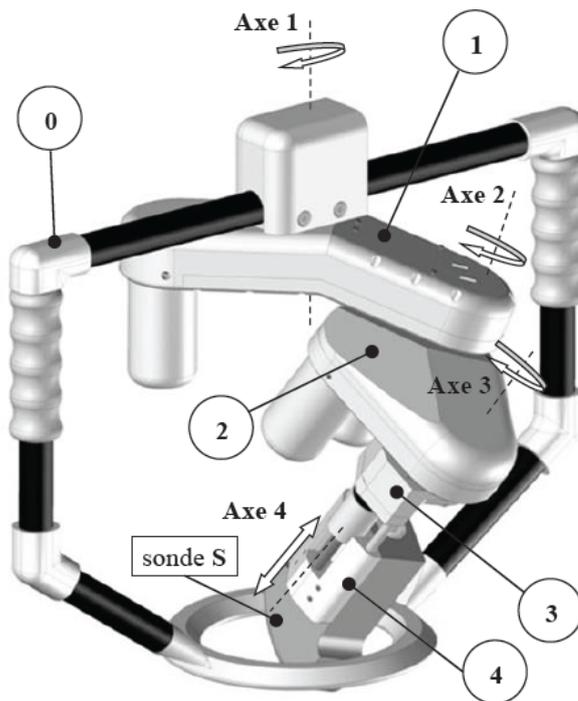


Figure 2 - Robot porte-sonde

On nomme E_1 l'ensemble {1, 2, 3, 4}.

La chaîne fonctionnelle assurant la rotation R_1 de l'ensemble E_1 autour de l'axe 1 est décrite par le schéma cinématique de la figure 3 et le diagramme de blocs internes de la figure 4.

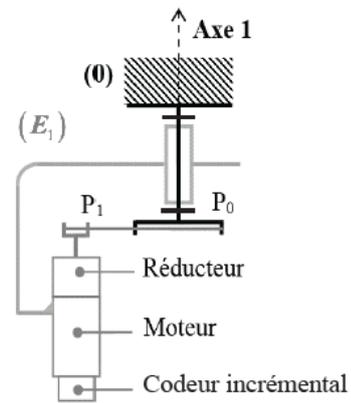


Figure 3 - Chaîne cinématique associée à l'axe 1

Réducteur (R)	Rapport de réduction $r = 1/30,7$
Poulie P_0	Diamètre $D_0 = 42$ mm
Poulie P_1	Diamètre $D_1 = 13$ mm

Tableau 1 - Caractéristiques de la transmission

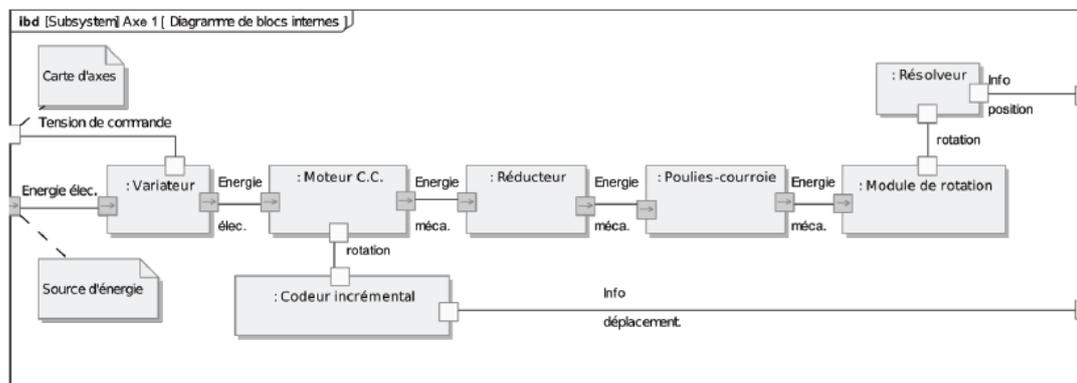


Figure 4 - Diagramme de blocs internes de l'axe 1

3. Problème posé

Afin que le praticien soit en mesure d'obtenir une image échographique d'intérêt, le système de télé-échographie doit lui permettre d'orienter la sonde de manière à trouver la meilleure incidence entre le plan ultrasonore et la partie de l'organe examinée. La qualité du positionnement de la sonde sur le patient qui conditionne l'obtention d'images d'intérêt nécessite de maîtriser notamment :

- le mouvement imposé à la sonde par le robot porte-sonde ;
- la commande, depuis un site distant, des différents axes du robot porte-sonde.

Partie III - Dimensionnement du moteur d'axe 1

Objectif : déterminer le couple moteur nécessaire à l'entraînement en rotation autour de l'axe 1.

Le robot se trouvant dans la configuration bras tendu représenté sur la **figure 17**, on étudie la rotation R_1 autour de l'axe 1 (A, \vec{z}_1) . Les trois autres degrés de liberté (rotations R_2 et R_3 , translation T) du robot sont bloqués, de telle sorte que $\theta_2(t) = 0$, $\theta_3(t) = 0$ et l'extrémité de la sonde reste confondue avec l'origine O . La définition des solides, repères et angles, est celle proposée pour l'étude cinématique (**figures 5** et **6**), complétée ici avec le groupe de motorisation de l'axe 1, constitué du moteur (stator lié à **1** et rotor), du réducteur et de la transmission poulies-courroie.

Afin de déterminer le couple moteur nécessaire pour réaliser l'entraînement en rotation autour de l'axe 1 (A, \vec{z}_1) , on propose d'appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement par rapport à $\mathbf{0}$. Le référentiel auquel est associé le repère $\mathcal{R}_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est considéré comme Galiléen.

On note :

- E'_1 , l'ensemble constitué des solides **1**, **2**, **3**, **4** et du stator moteur ;
- E_5 , l'ensemble constitué du rotor, des parties mobiles du réducteur et de la poulie P_1 .

Le système est soumis aux actions mécaniques extérieures suivantes :

- action de la pesanteur : $\{\tau_{pes \rightarrow E'_1}\} = \left\{ \begin{array}{c} -m_1 g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G_1}$ et $\{\tau_{pes \rightarrow E_5}\} = \left\{ \begin{array}{c} -m_5 g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G_5}$;
- action associée au contact sonde/patient : $\{\tau_{0 \rightarrow 4}\} = \left\{ \begin{array}{c} F_C \vec{z}_3 \\ C_R \vec{y}_3 + C_P \vec{z}_3 \end{array} \right\}_O$.

L'action d'entraînement du rotor moteur par le stator, considérée ici comme une action mécanique

intérieure, est modélisée par le torseur suivant : $\{\tau_{Stator \rightarrow Rotor}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_m \vec{z}_1 \end{array} \right\}_{\forall P \in (D, \vec{z}_1)}$.

Les liaisons sont supposées sans frottement et la transmission de puissance par le système poulies-courroie s'effectue sans glissement.

Paramétrage cinématique

- $\mathcal{R}_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ est le repère associé à l'ensemble E'_1 ;

La rotation de $E'_1 / \mathbf{0}$ est paramétrée par l'angle variable $\theta_1(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$.

- $\mathcal{R}_5(D, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$ est le repère associé à l'arbre de sortie du réducteur ;

La rotation de $\mathcal{R}_5 / \mathcal{R}_1$ est paramétrée par l'angle variable $\theta_5(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_5) = (\vec{y}_1, \vec{y}_5)$.

- $\mathcal{R}_m(D, \vec{x}_m, \vec{y}_m, \vec{z}_5)$ est le repère associé au rotor moteur ;

La rotation de $\mathcal{R}_m / \mathcal{R}_1$ est paramétrée par l'angle variable $\theta_m(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_m) = (\vec{y}_1, \vec{y}_m)$.

Données cinétiques

Ensemble $E'_1 = \{1, 2, 3, 4, \text{stator}\}$

- m_1 : masse de l'ensemble E'_1 ;
- G_1 : centre d'inertie de l'ensemble E'_1
tel que $\overline{AG_1} = y_1 \overline{y_1} - z_1 \overline{z_1}$;
- $\overline{I}(E'_1, G_1)$: matrice d'inertie dans la base B_1 au point G_1 telle que :

$$\overline{I}(E'_1, G_1) = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & -D_1 \\ 0 & -D_1 & C_1 \end{bmatrix}_{B_1} .$$

Ensemble $E_5 = \{\text{rotor, réducteur, poulie}\}$

- m_5 : masse de l'ensemble E_5 ;
- G_5 : centre d'inertie de l'ensemble E_5
situé sur l'axe $(D, \overline{z_5})$ et tel que $\overline{AG_5} = -y_5 \overline{y_1} - z_5 \overline{z_1}$;
- I_5 : moment d'inertie équivalent de l'ensemble E_5 ramené au rotor moteur.

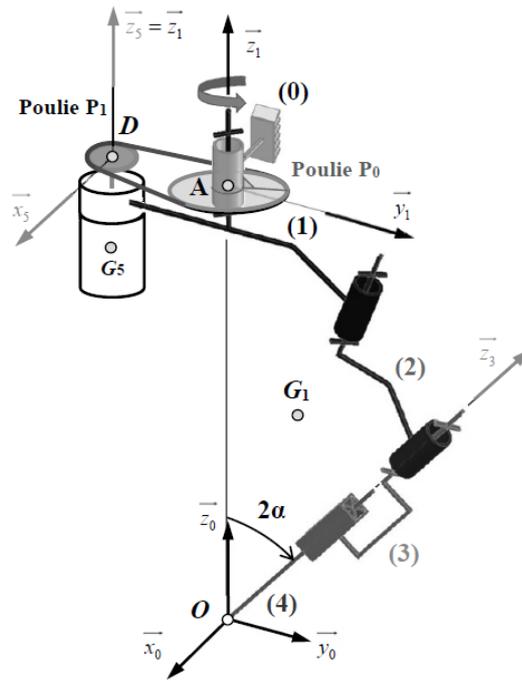


Figure 17 - Schéma cinématique et paramétrage retenus pour le dimensionnement du moteur d'axe 1

Détermination de l'énergie cinétique du système

- Q25.** Préciser les hypothèses qui ont conduit à considérer une matrice d'inertie sous la forme proposée pour l'ensemble E'_1 .
- Q26.** Déterminer l'expression de l'énergie cinétique galiléenne $E_c(E'_1/0)$ de l'ensemble E'_1 en fonction du paramètre de mouvement $\dot{\theta}_1(t)$.

La détermination de l'énergie cinétique pour l'ensemble E_5 conduirait à :

$$E_c(E_5/0) = \frac{1}{2} m_5 y_5^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} I_5 (\dot{\theta}_m + \dot{\theta}_1)^2 .$$

Une étude cinématique de la transmission réalisée par le réducteur et l'ensemble poulies-courroie, dont les caractéristiques sont précisées par la **figure 3**, permettrait d'établir la relation suivante :

$$\dot{\theta}_1(t) = -\frac{D_1}{D_0} r \dot{\theta}_m(t) .$$

- Q27.** Donner alors l'expression de l'énergie cinétique totale $E_c(\{E'_1 + E_5\}/0)$ en fonction du seul paramètre de mouvement $\dot{\theta}_1(t)$. En déduire l'expression du moment d'inertie équivalent J_1 ramené à l'axe 1 $(A, \overline{z_1})$.

Détermination des puissances extérieures et intérieures

- Q28.** Déterminer les expressions des différentes puissances extérieures au système en fonction du seul paramètre $\dot{\theta}_1(t)$; on rappelle que dans la configuration étudiée $\theta_2(t) = 0, \theta_3(t) = 0$.
- Q29.** Déterminer l'expression de la puissance intérieure en fonction du seul paramètre $\dot{\theta}_1(t)$.

Application du théorème de l'énergie cinétique et détermination du couple moteur

- Q30.** Déterminer l'expression du couple moteur C_m en appliquant le théorème de l'énergie cinétique.

On donne les valeurs numériques suivantes pour une valeur de $\dot{\theta}_1$ donnée :

$$J_1 = 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2, C_R = -2 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}, C_P = -1 \cdot 10^{-1} \text{ N} \cdot \text{m} .$$

- Q31.** Déterminer la valeur numérique du couple moteur maximal C_{Max} lorsque $\ddot{\theta}_1 = 7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

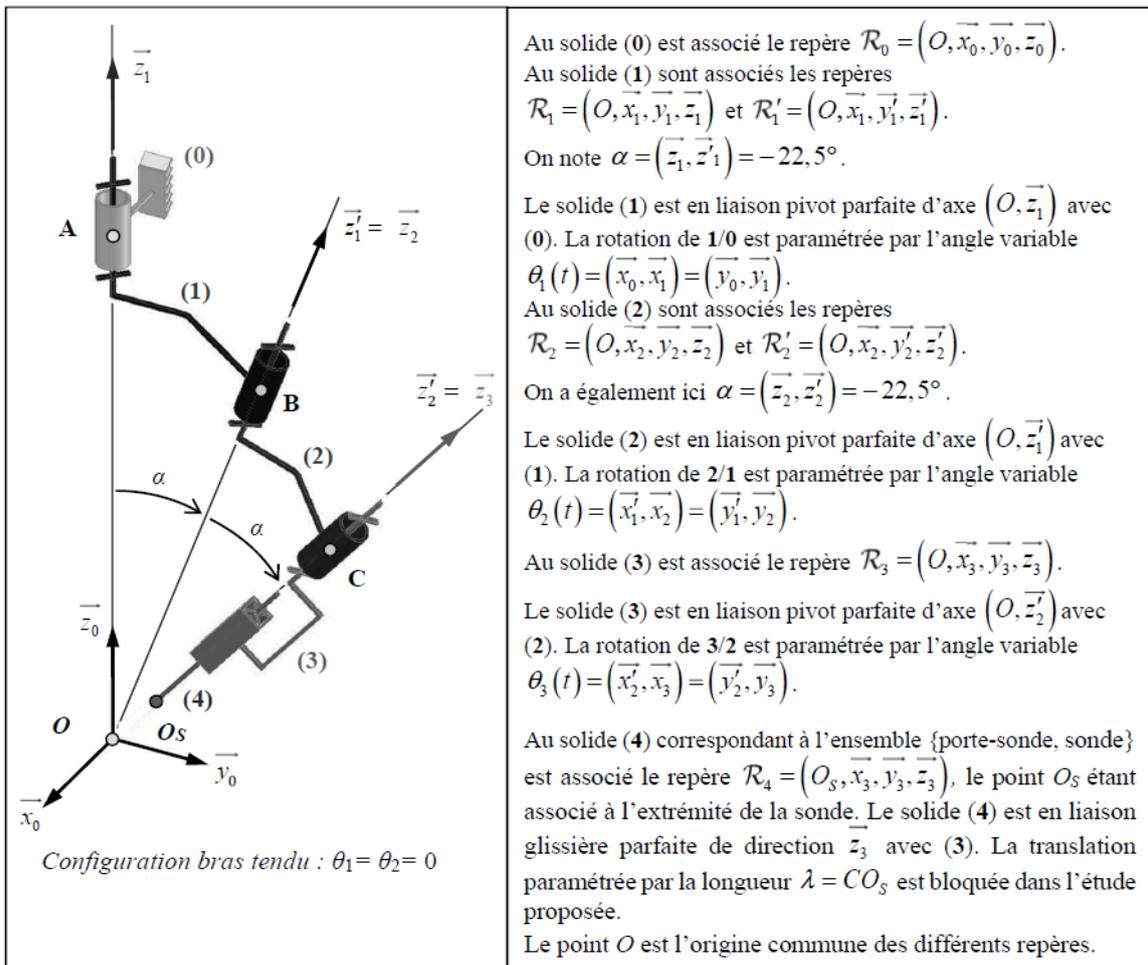


Figure 5 - Schéma cinématique et paramétrage du robot porte-sonde, configuration " bras tendu "

Angles variables			
Angles constants			$(\vec{y}_1, \vec{y}'_1) = \alpha = -22,5^\circ$ $(\vec{y}_2, \vec{y}'_2) = \alpha = -22,5^\circ$

Figure 6 - Figures de changement de base associées au robot porte-sonde