

DOSSIER QUESTIONNAIRE

SYSTEME D'IMAGERIE MEDICALE POUR ANGIOGRAPHIE

1 PRESENTATION DU SYSTEME ETUDIE..... 2

1.1 L'ANGIOGRAPHIE..... 2

1.2 LA RECONSTITUTION D'IMAGE 3D EN ANGIOGRAPHIE..... 2

1.3 LE SYSTEME D'IMAGERIE ADVANTX LC..... 3

2 LE POSITIONNEUR DU SYSTEME D'IMAGERIE..... 4

2.1 DESCRIPTION..... 4

2.2 LA PRISE DE CLICHES..... 4

2.2.1 *Mettre en mouvement un axe ou deux axes simultanément ?*..... 4

2.2.2 *La loi de commande de l'arceau $\gamma(t)$* 5

3 FONCTION « GUIDER L'ARCEAU PAR RAPPORT AU BRAS D'ARCEAU » 7

3.1 OBJECTIF 7

3.2 PARAMETRAGE ET NOTATIONS..... 7

4 FONCTION « ENTRAINER L'ARCEAU PAR RAPPORT AU BRAS D'ARCEAU » 9

4.1 OBJECTIF 9

4.2 NOTATIONS ET PARAMETRAGE..... 11

4.3 VALIDER LE CODEUR INCREMENTAL..... 11

4.4 VALIDER LE MOTEUR..... 12

4.4.1 *Objectif*..... 12

4.4.2 *Etude du couple moteur*..... 12

4.4.3 *Essais d'identification* 13

5 FONCTION « ALIGNER LE FAISCEAU ISSU DU TUBE EMETTEUR DE RAYONS X AVEC LE RECEPTEUR IMAGE »..... 14

5.1 OBJECTIF 14

5.2 PARAMETRAGE ET NOTATIONS..... 14

5.3 CONCLUSIONS 17

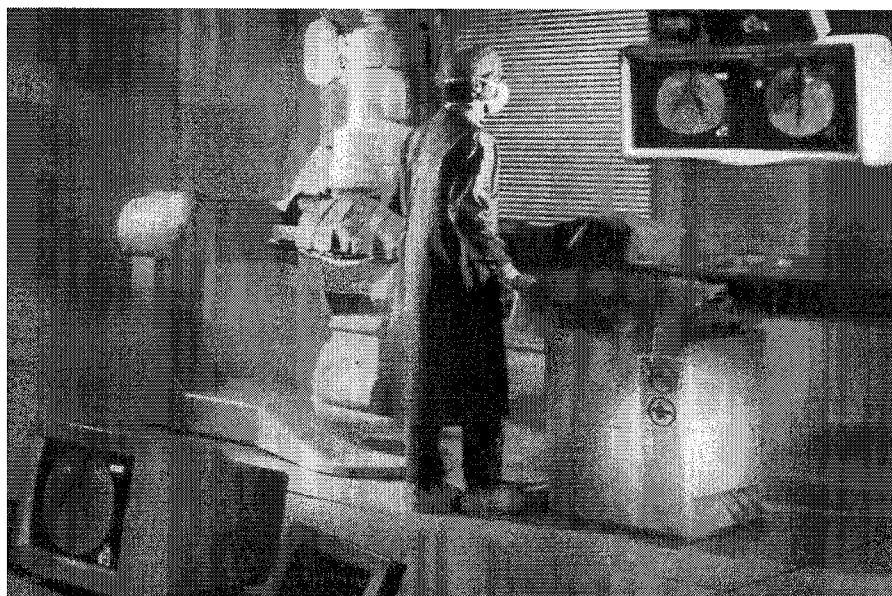
6 EXERCICE PEDAGOGIQUE – SPECIFICATION DE PRODUIT..... 18

6.1 OBJECTIF 18

6.2 NIVEAU D'ENSEIGNEMENT CONCERNE 18

6.3 DOCUMENTS DE REFERENCE 19

6.4 TRAVAIL DEMANDE 19



1 PRESENTATION DU SYSTEME ETUDIE

1.1 L'ANGIOGRAPHIE

L'angiographie est une application particulière de la radiographie rayons X qui permet l'exploration anatomique des vaisseaux sanguins et notamment la visualisation des vaisseaux coronaires.

En angiographie, on administre des produits iodés hydrosolubles injectés à distance et éliminés sélectivement par les reins. Cette technique permet d'obtenir des images de grande qualité par soustraction d'une image obtenue sans produit (image de masque) et d'une image avec produit (image de contraste).

1.2 LA RECONSTITUTION D'IMAGE 3D EN ANGIOGRAPHIE

La reconstitution d'image tridimensionnelle permet la mise en volume des objets étudiés ce qui en facilite la compréhension (figures 1&2). Celles-ci sont obtenues grâce à une série d'images planes de masque et de contraste. La qualité de l'image reconstituée est liée à la bonne correspondance entre ces deux images. Le patient doit rester immobile pendant l'examen.

L'obtention d'une image de bonne qualité suppose l'alignement parfait du tube émetteur de rayons X avec le récepteur image ainsi qu'une grande stabilité et une grande rigidité du positionneur.

Le nombre de radiographies pratiquées ainsi que la dose d'exposition au cours d'un examen doivent être limités car les rayons X, à partir d'une certaine quantité, deviennent des agents mutagènes.

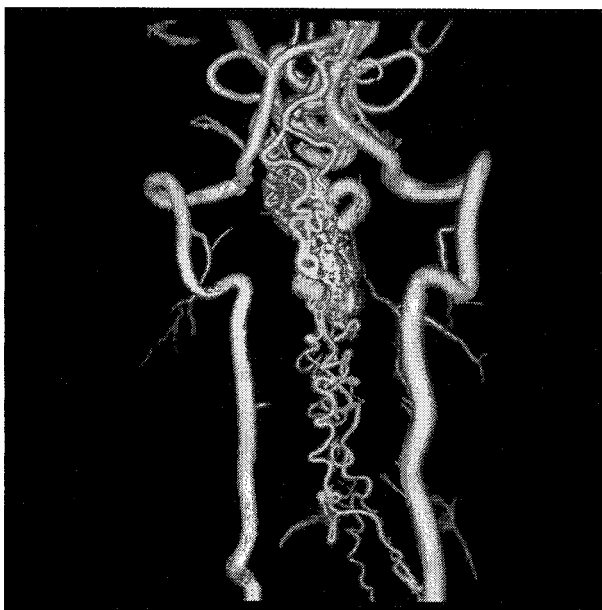


Figure 1 : Reconstruction 3D



Figure 2 : Reconstruction 3D

Pour réaliser de tels clichés, le sous-système de formation de l'image doit avoir une excellente répétabilité des mouvements utilisés.

Pour certains examens spécifiques d'un vaisseau, on souhaite que le faisceau de rayons X reste constamment normal à l'axe du vaisseau à ausculter.

1.3 LE SYSTEME D'IMAGERIE ADVANTX LC

La société Général Electric Medical Systems développe le système d'imagerie médicale ADVANTX LC dont une analyse fonctionnelle préliminaire a permis de fournir le SADT A-0 ci-dessous :

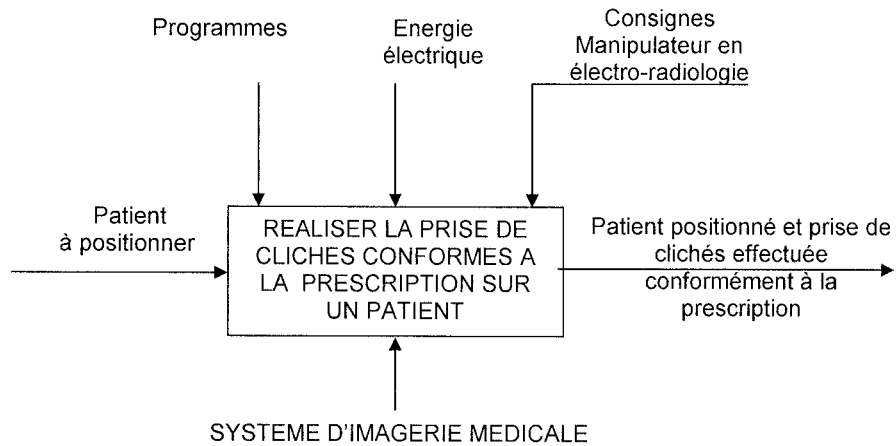


Figure 3 : S.A.D.T. A-0

L'architecture du système étudié est définie sur les documents techniques DT0 à DT4. Le système d'imagerie est constitué de :

- *un système de positionnement du patient par rapport au sol*, constitué d'une table mobile en translation par rapport au sol suivant les directions X_0 , Y_0 et Z_0 . Ces trois translations indépendantes permettent de positionner l'organe à ausculter à l'iso-centre O du positionneur.
- *un système de positionnement du faisceau de rayons X par rapport au patient*, constitué de l'épaule 1, du bras d'arceau 2 et de l'arceau 3 qui supporte le tube émetteur de rayons X et le récepteur image. Trois mouvements de rotation autour d'axes concourants à l'iso-centre O permettent d'orienter le faisceau de rayons X.
- *un système de prise de clichés*, constitué du tube émetteur de rayons X, du récepteur image et de l'armoire de traitement numérique de l'image.

Question 1 : Sur votre copie, tracer le SADT niveau A0 (A zéro) du système d'imagerie médicale pour angiographie.

Le diagramme FAST partiel de la figure 4 permet de traduire le positionnement de la table et donc du patient par rapport au sol.

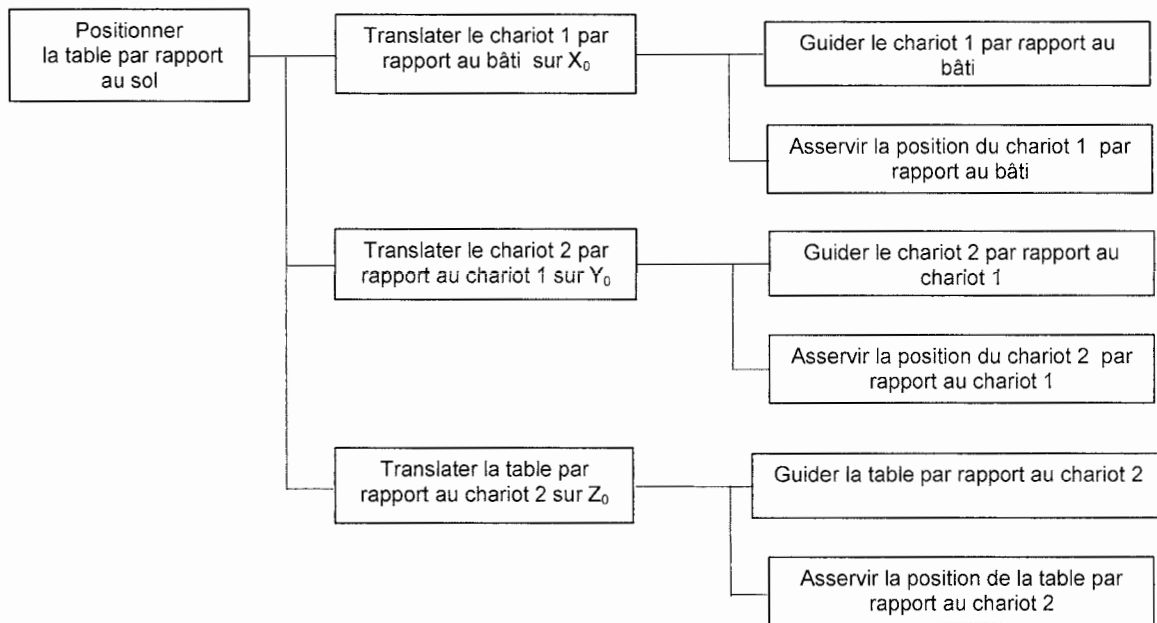


Figure 4 : Diagramme FAST

Question 2 : A l'aide du diagramme FAST fourni ci dessus, proposer un schéma cinématique en perspective permettant de définir l'organisation cinématique de la table.

2 LE POSITIONNEUR DU SYSTEME D'IMAGERIE

2.1 DESCRIPTION

Les documents techniques fournis DT0, DT1 et DT2 décrivent la structure du positionneur étudié.

Question 3 : Effectuer un schéma cinématique précis (axes, solides....) du positionneur dans la configuration particulière $\alpha = \beta = \gamma = 0$.

2.2 LA PRISE DE CLICHES

2.2.1 Mettre en mouvement un axe ou deux axes simultanément ?

Le patient est maintenant correctement positionné par rapport au sol, il reste donc à réaliser le pointage correct du vaisseau à ausculter. En angiographie, l'axe du faisceau de rayons X doit rester constamment perpendiculaire au vaisseau sanguin à ausculter. La non observation de cette prescription pourrait générer une déformation des clichés à l'origine d'erreurs d'interprétations.

Question 4 : A l'aide du document technique DT4, tracer les figures de calcul qui permettent de visualiser les trois angles α , β et γ . En déduire les vecteurs vitesses de rotations correspondants.

L'axe du faisceau RX est porté par la direction (O, Z_3) .

Soit $\vec{V} = v_x \vec{x}_0 + v_y \vec{y}_0 + v_z \vec{z}_0$ un vecteur unitaire associé à l'axe du vaisseau à ausculter.

Question 5 : Dans le cas où $\alpha = cte$, écrire le système d'équations permettant de déterminer $\beta(t)$ et $\dot{\gamma}(t)$ en fonction de V_x, V_y et V_z .

Question 6 : Quelle relation doit-on respecter dans ces conditions entre les consignes de vitesse angulaire ?

Question 7 : Déterminer la loi de commande $\beta(t)$ en fonction de $\gamma(t)$ en admettant les conditions initiales nulles (On se limitera à donner l'expression initiale de cette loi de commande sans chercher à l'expliquer).

Question 8 : Existe-t-il une autre procédure pour laquelle il n'y ait qu'un seul mouvement utilisé, (la rotation de l'arceau par rapport au bras d'arceau) ? Justifiez votre réponse.

Question 9 : Pourquoi a-t-on intérêt à retenir la solution de la question précédente ?

2.2.2 La loi de commande de l'arceau $\gamma(t)$

L'examen radiologique se déroule suivant différentes phases :

Phase a : premier passage à petite vitesse PV ($\dot{\gamma}_m = +10^\circ/s$) afin de vérifier qu'il n'y a pas de collision avec le patient.

Phase b : retour à grande vitesse GV ($\dot{\gamma}_M = -30^\circ/s$) après 10s d'attente

Phase c : second passage à grande vitesse GV ($\dot{\gamma}_M = +30^\circ/s$) afin de réaliser la prise de clichés de masque (pas de produits iodés) après 30s d'attente

Phase d : retour à grande vitesse GV ($\dot{\gamma}_M = -30^\circ/s$) après 10s d'attente

Phase e : troisième passage à grande vitesse GV ($\dot{\gamma}_M = +30^\circ/s$) afin de réaliser la prise de clichés de contraste (sous produits iodés) après 30s d'attente

Phase f : retour à grande vitesse GV ($\dot{\gamma}_M = -30^\circ/s$) après 10s d'attente

Phase g : arrêt obligatoire de 10min

Dans un premier temps, on étudie la phase a. Les évolutions de $\ddot{\gamma}(t)$ accélération angulaire de l'arceau sont données figure 5 avec $a_M = 13^\circ/s^2$ $\dot{\gamma}(t_1) = 10^\circ/s$ $\gamma(t_3) = +53^\circ$ $\gamma(0) = -47^\circ$

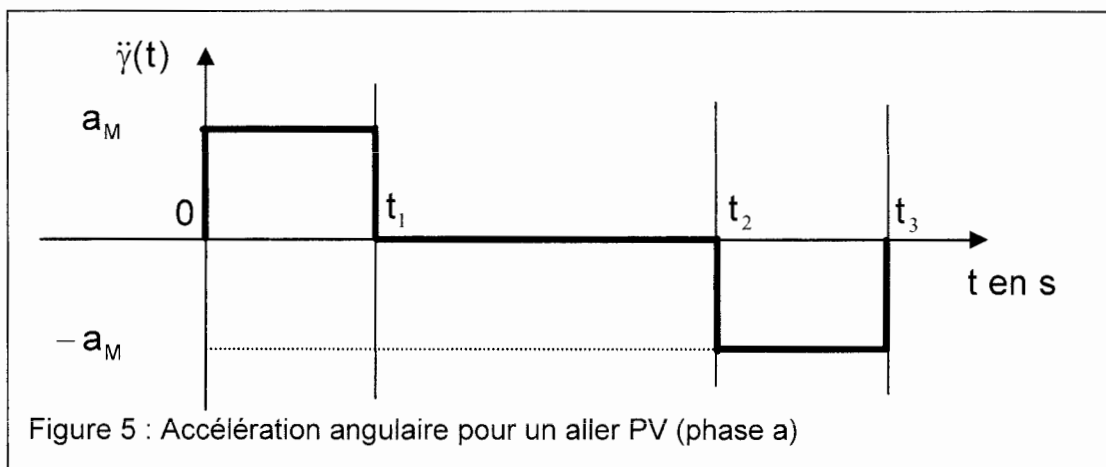


Figure 5 : Accélération angulaire pour un aller PV (phase a)

Question 10 : Tracer sur votre copie, les évolutions de $\dot{\gamma}(t)$ et $\gamma(t)$ pour l'aller à petite vitesse PV (phase a)

Question 11 : Pour chacune des zones, écrire les équations de $\gamma(t)$ correspondantes et calculer tous les paramètres inconnus.

Dans un second temps, on étudie l'enchaînement des phases a et b. La figure 6 modélise la loi de vitesse $\dot{\gamma}(t)$ pour l'ensemble de ces deux phases.

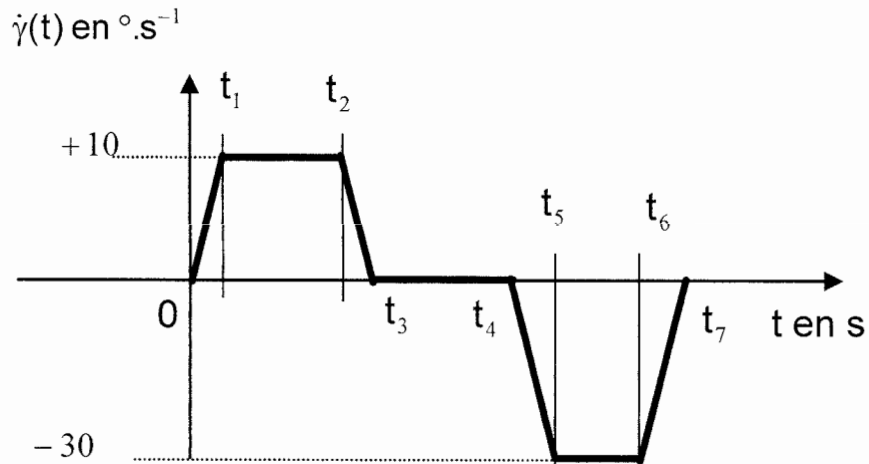


Figure 6 : Aller PV et retour GV

Question 12 : Si on admet les mêmes valeurs d'accélération angulaire et de décélération angulaire pour les phases a et b, déterminer successivement les instants t_4 , t_5 ainsi que la valeur de $\gamma(t_5)$.

Question 13 : Quels sont les inconvénients principaux de la loi de vitesse en trapèze ? Proposer une évolution de la loi d'accélération qui minimise ces inconvénients.

3 FONCTION « GUIDER L'ARCEAU PAR RAPPORT AU BRAS D'ARCEAU »

3.1 OBJECTIF

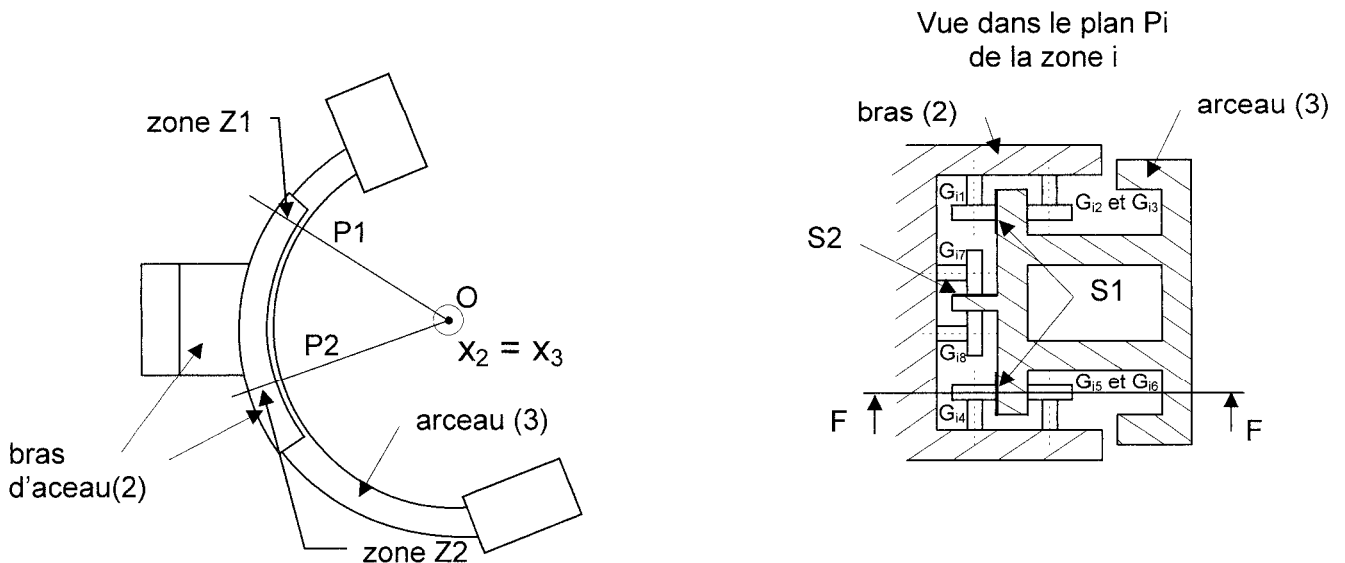
L'objet de cette étude est de valider les choix constructifs effectués pour le guidage de la liaison pivot arceau / bras d'arceau.

3.2 PARAMETRAGE ET NOTATIONS

La liaison pivot bras d'arceau 2 / arceau 3 est réalisée grâce à 16 galets cylindriques (que nous supposons, ici, tous de diamètre $d=30$ mm et largeur $l=10$ mm).

Les galets sont répartis dans les zones Z1 et Z2 des plans P1 et P2.

La disposition constructive est définie sur les figures suivantes et par les documents techniques DT5 et DT6.



Les surfaces S1 et S2 de l'arceau servent de pistes de roulement aux galets dont les axes sont reliés au bras 2 :

- les axes des galets G_{11} , G_{14} , G_{17} et G_{18} sont solidaires du bras d'arceau 2
- les galets G_{12} et G_{13} sont montés sur un palonnier relié au bras d'arceau 2.

Les galets G_{11} , G_{14} et G_{17} assurent le positionnement de l'arceau par rapport au bras d'arceau sur les surfaces S1 et S2.

Les galets G_{12} , G_{13} , G_{15} , G_{16} et G_{18} assurent la bilatéralité des liaisons réalisées par les autres galets.

Les surfaces S1 (secteur cylindrique de rayon 700mm) et S2 assurent la qualité géométrique de la liaison.

Question 14 : Tracer un schéma en vue F permettant de modéliser d'un point de vue cinématique l'agencement des six galets G_{14} , G_{15} et G_{16} avec le bras d'arceau 2 et l'arceau 3.

Question 15 : Montrer que la liaison pivot réalisée entre le bras d'arceau 2 et l'arceau 3 est hyperstatique.

- Déterminer le degré d'hyperstaticité de cette liaison.
- Citer un avantage et un inconvénient d'une telle réalisation de cette liaison pivot.
- Quelles contraintes doit-on imposer sur les différents éléments géométriques afin d'optimiser la qualité géométrique de la liaison?

Le contact entre un galet et la surface de roulement est linéique rectiligne.

Afin de réduire l'usure, le roulement sans glissement doit être recherché sur toute la zone de contact du galet avec sa surface de roulement.

Question 16 : Le roulement sans glissement peut-il être réalisé sur tous les galets ?

Question 17 : Pour les galets ne pouvant pas fonctionner sans glissement :

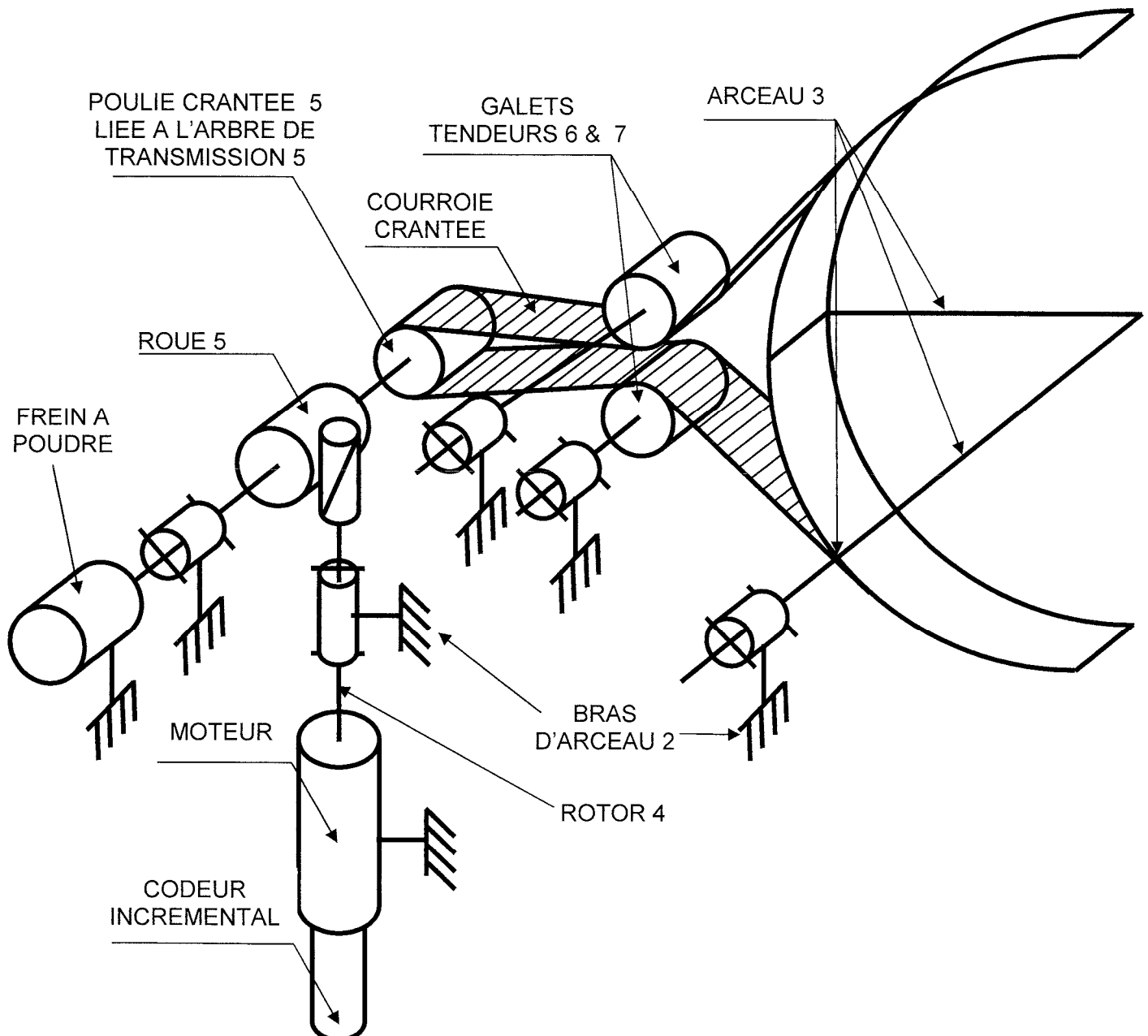
- évaluer l'importance du glissement (définir et quantifier un critère d'évaluation du glissement)
- donner une solution technique qui permettrait de respecter le roulement sans glissement.

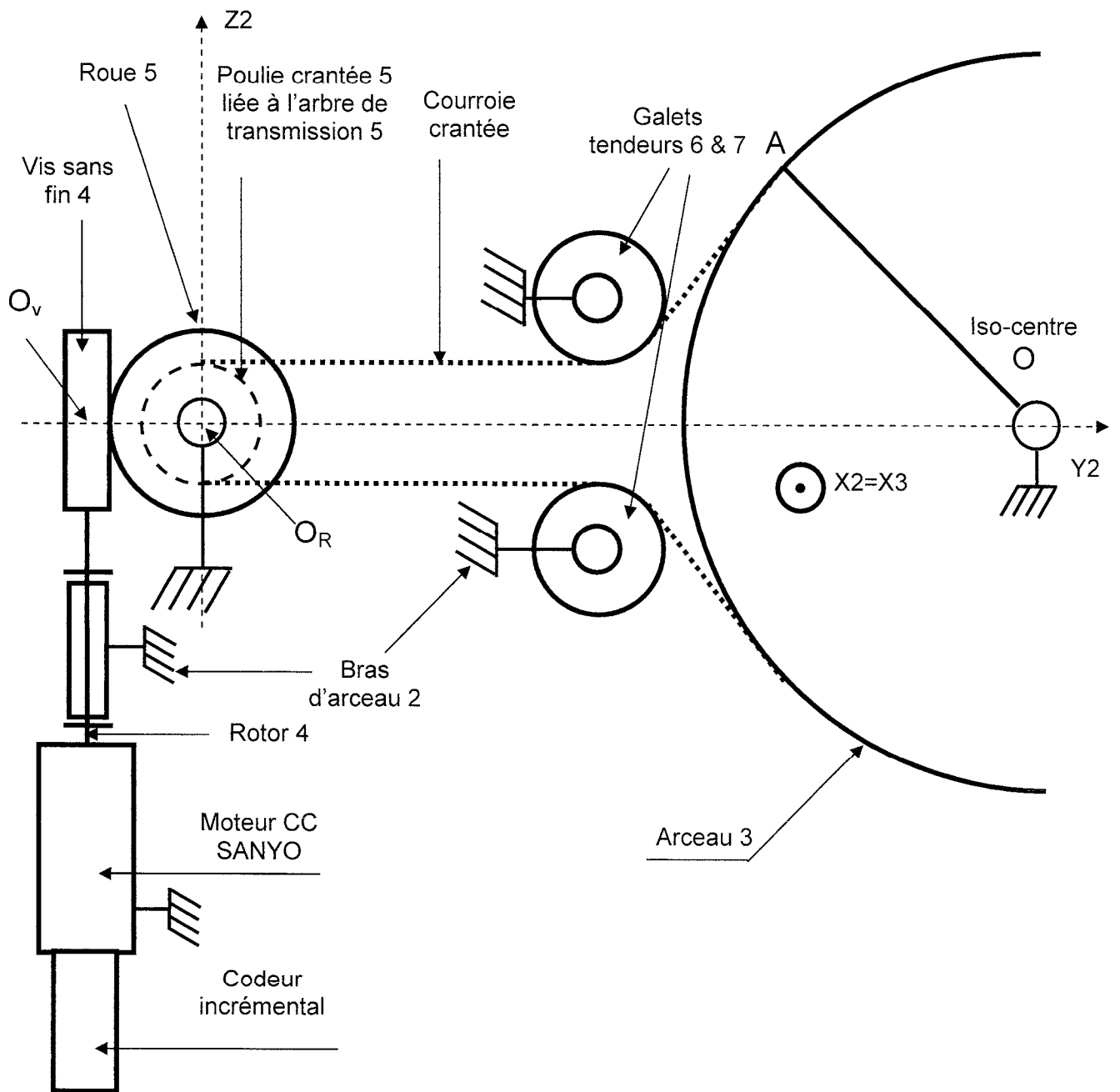
4 FONCTION « ENTRAINER L'ARCEAU PAR RAPPORT AU BRAS D'ARCEAU »

4.1 OBJECTIF

L'objet de cette étude est de valider la motorisation choisie pour l'entraînement de l'arceau 3 par rapport au bras d'arceau 3.

La chaîne cinématique intervenant dans la commande de la liaison pivot bras d'arceau 2 / arceau 3 est décrite sur les documents DT5, DT6 et les figures suivantes :





Le schéma fonctionnel de la commande de position angulaire de l'arceau $\gamma(t)$ est le suivant :

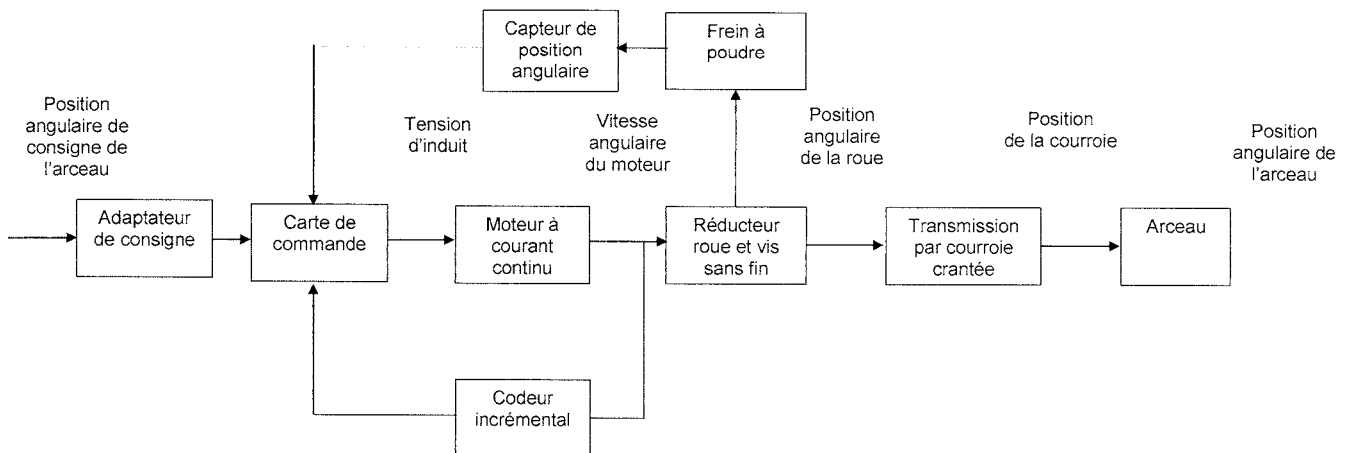


Figure 7 : Schéma fonctionnel

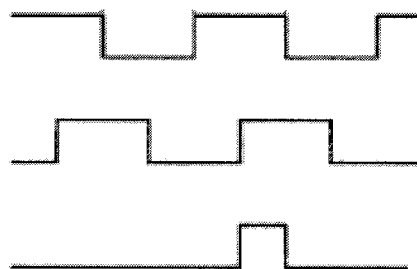
4.2 NOTATIONS ET PARAMETRAGE

L'arceau			
R=OA	Rayon bras d'arceau / arceau	720	mm
M ₃	Masse de l'arceau	260	kg
k	Rapport de transmission de la courroie $k = \frac{\omega_{3/2}}{\omega_{5/2}}$	à déterminer	
Le réducteur roue et vis sans fin			
μ	Rapport de réduction $\mu = \frac{\omega_{5/2}}{\omega_{4/2}}$	$\frac{1}{50}$	
R _P	Rayon de la poulie crantée (sortie du réducteur)	30	mm
J _V	Moment d'inertie de la vis par rapport à son axe	$4 \cdot 10^{-5}$	kg.m ²
J _R	Moment d'inertie de l'ensemble lié à la roue par rapport à son axe	$1 \cdot 10^{-3}$	kg.m ²
Le moteur CC			
U	Tension d'induit nominale	180	V
I	Courant d'induit nominal	10	A
P _{MAX}	Puissance mécanique de sortie	2,7	kW
J _{mot}	Moment d'inertie du rotor	$60 \cdot 10^{-5}$	kg.m ²
C _{NOM}	Couple nominal	4	N.m
C _{MAX}	Couple maxi (valeur crête)	7	N.m
K _i	Constante de couple	0,287	N.m.A
N	Fréquence de rotation nominale	2600	tr.min ⁻¹
N _{max}	Fréquence de rotation maximale	4500	tr.min ⁻¹
Le codeur incrémental opto-électronique			
N	Nombre de traits	250	par tour
U	Tension d'alimentation	5	V

4.3 VALIDER LE CODEUR INCREMENTAL

Le codeur utilisé (voir schéma) est un codeur incrémental à 2 voies en quadrature + une voie donnant un signal de référence :

- voie A donnant un signal A(t)
- voie B identique à la voie A, mais dont le signal B(t) est déphasé de + ou - 90°
- voie Z donnant un signal Z(t),



Question 18 : Quelle est la fonction du codeur incrémental installé sur l'arbre du moteur ?

Question 19 :

Sachant que la résolution requise sur la position de l'arceau est $\Delta\gamma = 2.10^{-3}$ degré, quel est le nombre N minimal de traits par tour que doit posséder le capteur ? Le capteur retenu est-il convenable ?

Sachant que la vitesse de rotation maximale de l'arceau est $\dot{\gamma} = 30 \text{ }^\circ.\text{s}^{-1}$, déterminer la fréquence correspondante du signal carré de sortie du capteur ?

4.4 VALIDER LE MOTEUR

4.4.1 Objectif

L'objet de cette étude est double :

- valider le dimensionnement du moteur choisi
- identifier les paramètres du modèle associé à la chaîne de transmission bras d'arceau / arceau.

Les actions mécaniques exercées par le stator du moteur 2 sur la vis sans fin 4 sont modélisables par le torseur suivant :

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{mot} \\ 2 \rightarrow 4 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{R}(2 \rightarrow 4) = \vec{0} \\ \bar{M}(O_v, 2 \rightarrow 4) = c_{\text{mot}} \bar{Z}_2 \end{array} \right\}$$

Les actions mécaniques exercées par la pesanteur sur l'arceau 3 sont modélisables par le torseur suivant :

$$\{\text{pes} \rightarrow 3\} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{R}(\text{pes} \rightarrow 3) = M_3 \bar{g} \\ \bar{M}(G_3, \text{pes} \rightarrow 3) = \vec{0} \end{array} \right\}$$

On notera ω_{mot} la vitesse de rotation du rotor 4 par rapport au stator 2 du moteur.

Soit E l'ensemble matériel : rotor du moteur, vis sans fin, roue, arbre de transmission, courroie crantée, galets presseurs et arceau.

Hypothèses :

- Le frein à poudre n'est pas actif.
- Les inerties de l'arbre de transmission et de la courroie sont négligeables.
- Les inerties des galets presseurs 6 et 7 sont négligeables.
- Les frottements secs et visqueux intervenant dans les liaisons et dans le réducteur seront modélisés de la façon suivante :

Notations des frottements			
f_{ve}	Coefficient de frottement visqueux équivalent de E ramené sur l'axe du moteur	à déterminer	N.m.s
c_{fse}	Couple de frottement sec équivalent de E ramené sur l'axe du moteur	à déterminer	N.m

4.4.2 Etude du couple moteur

Question 20 : Réaliser un graphe de liaisons associé à la chaîne de solides liant le bras d'arceau 2 à l'arceau 3. Déterminer la valeur numérique de k .

Question 21 : Exprimer l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble E notée $T(E/R_0)$ sous la forme $T(E/R_0) = \frac{1}{2} J_e \omega_{\text{mot}}^2$. Exprimer littéralement J_e en fonction des paramètres utiles. Effectuer les applications numériques.

Question 22 : Par application du théorème de l'énergie-puissance au système matériel E en phase d'accélération, exprimer c_{mot} en fonction de $\dot{\omega}_{\text{mot}}$, ω_{mot} , J_e , c_{fse} , f_{ve} , M_3 , g , y_{G3} , z_{G3} , μ , k et $\gamma(t)$.

Pour la suite, on posera $c_{\text{pes}} = M_3 g [y_{G3} \cos \gamma(t) - z_{G3} \sin \gamma(t)]$.

4.4.3 Essais d'identification

Le document technique DT7 fournit, pour deux essais successifs, les courbes suivantes :

- l'intensité qui parcourt le moteur notée $i(t)$
- la vitesse angulaire de l'arceau notée $\dot{\gamma}(t)$
- la position angulaire de l'arceau 3 par rapport au bras d'arceau 2 notée $\gamma(t)$

En utilisant les notations ci-dessus, on peut écrire :

$$i(t) = A \dot{\omega}_{\text{mot}}(t) + B \omega_{\text{mot}}(t) + C c_{\text{fse}} + D M_3$$

Question 23 : A l'aide du document DT7, justifier que le terme $D M_3$ peut être négligé dans l'expression précédente de $i(t)$.

Pour la suite, on utilisera l'expression suivante : $i(t) = \frac{J_e}{K_i} \dot{\omega}_{\text{mot}}(t) + \frac{f_{\text{ve}}}{K_i} \omega_{\text{mot}}(t) + \frac{1}{K_i} c_{\text{fse}}$.

Question 24 : Déterminer le coefficient de frottement visqueux équivalent f_{ve} et le couple de frottement sec équivalent c_{fse} .

Question 25 : Déterminer le moment d'inertie équivalent J_e (l'accélération angulaire sera mesurée sur le document DT7).

Question 26 : En considérant que la valeur de $\gamma(t_5^-) \approx 18,5^\circ$, déterminer l'expression de c_{mot} à l'instant t_5^- correspondant à la fin d'accélération de la phase b.

Question 27 : En déduire la valeur de la puissance du moteur nécessaire à cet instant.

Question 28 : En quoi le questionnement précédent permet-il de valider le moteur choisi ?

5 FONCTION « ALIGNER LE FAISCEAU ISSU DU TUBE EMETTEUR DE RAYONS X AVEC LE RECEPTEUR IMAGE »

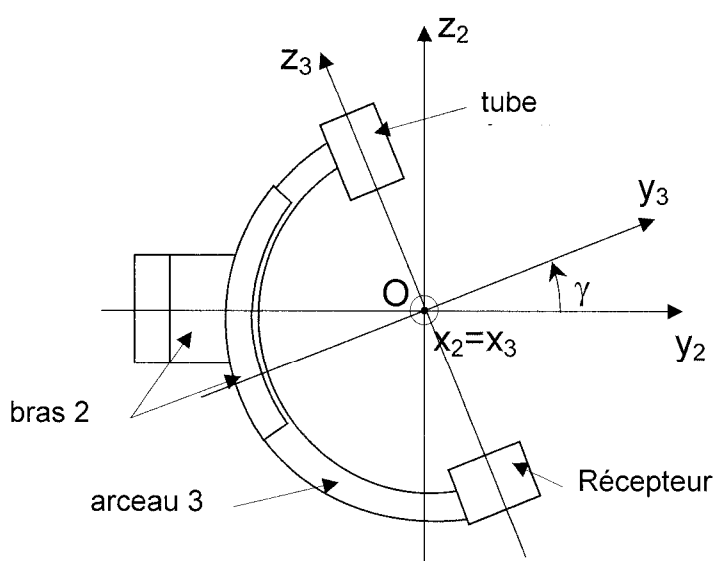
5.1 OBJECTIF

L'objet de cette étude est de valider le dimensionnement de l'arceau.

La qualité de l'image reçue par le récepteur image dépend directement de la trajectoire des rayons X. L'axe du faisceau doit passer le plus près possible de l'iso-centre O (organe observé) et arriver au centre du récepteur image tout en lui étant perpendiculaire. Cette précision est essentiellement liée à la rigidité de l'arceau 3. De plus, les contraintes appliquées à l'arceau doivent rester inférieures à des valeurs admissibles par le matériau.

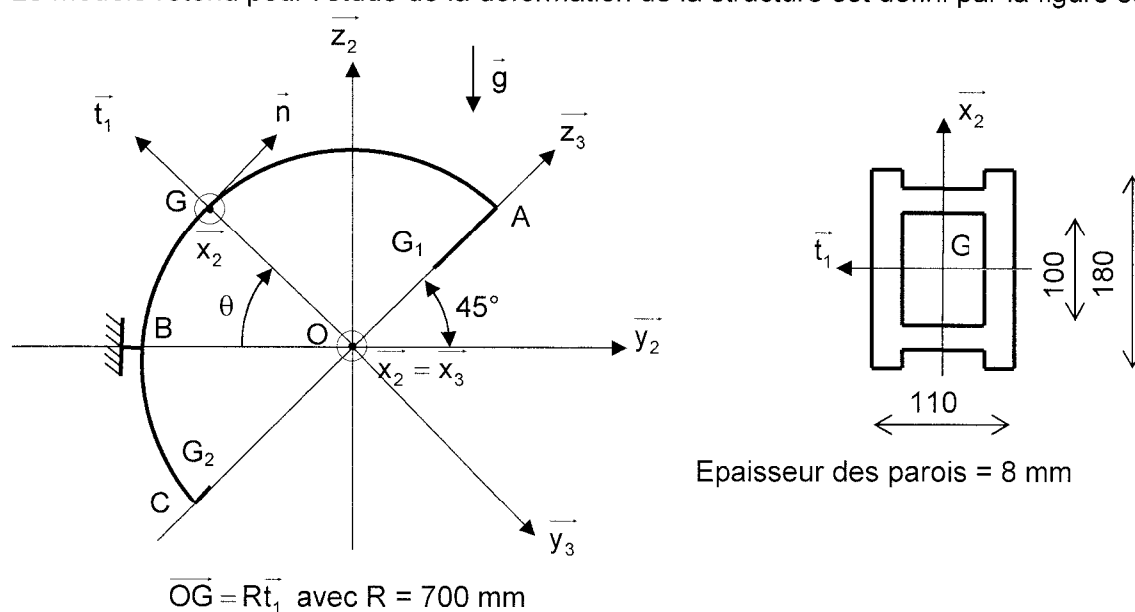
5.2 PARAMETRAGE ET NOTATIONS

La déformation de l'arceau 3 est essentiellement due aux poids du tube émetteur et du récepteur d'image.



La configuration retenue pour l'étude correspond au porte-à-faux maximum du tube émetteur ($\gamma = -45^\circ$) et à une évolution de l'arceau 3 dans un plan vertical ($\beta = 0^\circ$).

Le modèle retenu pour l'étude de la déformation de la structure est défini par la figure suivante :



L'arceau est modélisé par une poutre circulaire de ligne moyenne CA.

Pour la configuration étudiée ($\gamma = -45^\circ$), on considèrera que la déformation de la partie BC peut être négligée par rapport à la déformation de la partie BA qui est en porte-à-faux.

De même on considèrera comme infiniment rigides les parties AG_1 (tube émetteur) et CG_2 (récepteur image).

Le point courant de la ligne moyenne est noté G d'abscisse curviligne s ($s = 0$ en B). La section droite est définie sur la figure ci-dessus.

On note $\overrightarrow{AG_1} = -\lambda \overrightarrow{z_3}$.

	Tube émetteur	Récepteur image
Masse	$M = 150 \text{ kg}$	$m = 50 \text{ kg}$
Centre d'inertie	$G_1 :$ $400 \overrightarrow{z_3} < \overrightarrow{OG_1} < 600 \overrightarrow{z_3} \text{ (mm)}$	$G_2 : \overrightarrow{OG_2} = -600 \overrightarrow{z_3} \text{ (mm)}$
	Assimilé à une masse ponctuelle	Assimilé à une masse ponctuelle

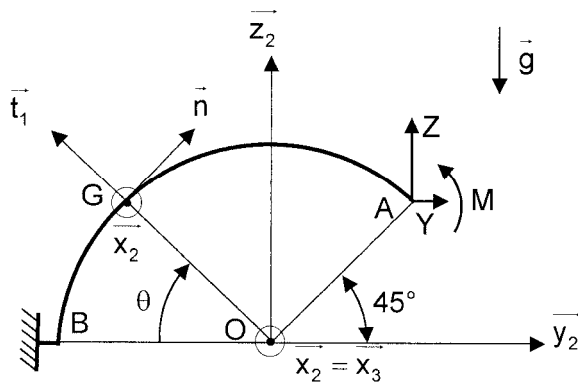
L'étude des déformations sera donc limitée à la partie BA.

Lors des phases d'accélération ($\ddot{\gamma} = -13^\circ \cdot s^{-2}$) et de rotation à vitesse maximale de l'arceau ($\dot{\gamma} = -30^\circ \cdot s^{-1}$), l'inertie du tube émetteur induit un torseur dynamique du au mouvement de l'arceau.

L'arceau est en alliage d'aluminium, son module d'Young est $E = 70\,000 \text{ MPa}$.

Question 29 : Evaluer le torseur dynamique induit par l'inertie du tube émetteur. Ce torseur dynamique peut-il être négligé ?

Le modèle simplifié retenu pour l'étude des déformations de la partie AB est défini par la figure suivante :



Seule la partie AB intervient et l'action du tube émetteur sur l'arceau est caractérisée par un torseur des efforts $\{F\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{F} = Y \overrightarrow{y_2} + Z \overrightarrow{z_2} \\ \overrightarrow{M}_A = M \overrightarrow{x_2} \end{array} \right\}$.

On note $\{T\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R} = N \overrightarrow{n} + T_1 \overrightarrow{t_1} + T_2 \overrightarrow{x_2} \\ \overrightarrow{M}_G = M_t \overrightarrow{n} + M_1 \overrightarrow{t_1} + M_2 \overrightarrow{x_2} \end{array} \right\}$ le torseur de cohésion le long de la poutre AB (action de la partie GA sur la partie GB).

Question 30 : Déterminer les composantes N, T_1 , T_2 , M_t , M_1 et M_2 du torseur de cohésion le long de la partie AB en fonction de Y, Z, M, θ et R.

La déformation de la partie BA de l'arceau est caractérisée par un torseur des déplacements au point A de la forme $\{D\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \psi(A) \overline{x_2} \\ \overline{\delta_A} = u \overline{y_2} + v \overline{z_2} \end{array} \right\}$ (pas de déplacement en B car c'est un encastrement).

La détermination de ψ , u et v sera conduite soit par la méthode énergétique soit par l'utilisation des formules de Bresse.

Les effets du cisaillement et de la traction sont négligés par rapport aux effets de la flexion.

Rappel de la méthode énergétique :

Pour le modèle retenu dans cette étude, l'énergie de déformation de la poutre est déterminée

$$\text{par } W = \frac{1}{2} \int_B^A \frac{M_2^2}{EI_{Gx_2}} ds.$$

Les relations suivantes relient les déplacements et l'énergie de déformation :

$$u = \frac{\partial W}{\partial Y} \quad v = \frac{\partial W}{\partial Z} \quad \text{et} \quad \psi(A) = \frac{\partial W}{\partial M}.$$

Rappel des formules de Bresse :

$$\psi(A) = \psi(B) + \int_B^A \frac{M_2}{EI_{Gx_2}} ds \quad \text{et} \quad \overline{\delta_A} = \overline{\delta_B} + \psi(A) \overline{x_2} \wedge \overline{BA} + \int_B^A \overline{BG} \wedge \frac{M_2}{EI_{Gx_2}} \overline{x_2} ds$$

Question 31 : Déterminer les éléments de réduction du torseur des déplacements au

point A $\{D\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \psi(A) \overline{x_2} \\ \overline{\delta_A} = u \overline{y_2} + v \overline{z_2} \end{array} \right\}$ **en exprimant $\psi(A)$, u et v en fonction de Y , Z , M , R , E et I_{Gx_2} .**

Rappel :

$$\int_0^{3\pi/4} \sin^2 \theta d\theta = \frac{3\pi}{16} \quad \int_0^{3\pi/4} \cos^2 \theta d\theta = \frac{3\pi}{16} - \frac{1}{2} \quad \int_0^{3\pi/4} \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{1}{4}$$

$$\int_0^{3\pi/4} \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \quad \int_0^{3\pi/4} \cos \theta d\theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Nous allons étudier le cas particulier de la déformation de la partie BA de l'arceau en considérant que le seul chargement appliqué à cette structure est le poids du tube émetteur.

Question 32 : Déterminer la valeur numérique de I_{Gx_2} .

Question 33 : Déterminer les valeurs numériques de Y , Z et M en fonction de λ .

Question 34 : Déterminer les valeurs numériques de $\psi(A)$, u et v en fonction de λ .

Le rayon de référence est émis par le tube émetteur en G_1 suivant la direction $A G_1$. C'est le rayon correspondant à l'axe de symétrie du faisceau émis par le tube émetteur de rayons X .

L'image est formée dans le plan du récepteur d'image passant par le point G_2 et de normale $\overline{z_3}$.

Si l'arceau ne se déforme pas, on considère que le rayon de référence émis par le tube émetteur passe par le point G_2 .

La déformation de l'arceau se traduit par un décalage de la trajectoire du rayon de référence émis et celui-ci traverse le plan image en un point D tel que $\overline{G_2D} = \mu \overline{y_3}$.

De même le rayon émis ne passe plus exactement par l'iso-centre O et traverse le plan $(0, \overline{x_2}, \overline{y_3})$ en O' tel que $\overline{OO'} = \mu_0 \overline{y_3}$.

La norme impose que le rayon de référence traverse une sphère de centre O et de rayon 10mm.

Question 35 : Déterminer μ et μ_0 en fonction de $\psi(A)$, u , v et λ . Effectuer l'application numérique et conclure. Quelle est la conséquence des écarts μ et μ_0 sur l'image vue par le praticien ? Proposer un dispositif expérimental simple permettant de vérifier la qualification du positionneur par rapport à la norme citée ci-dessus.

La détermination de la contrainte maximum appliquée à l'arceau doit également permettre de vérifier le dimensionnement de l'arceau. La seule charge appliquée à l'arceau est le poids du tube émetteur et la configuration la plus défavorable correspond au porte-à-faux maximum du tube émetteur ($\gamma = -45^\circ$). On prendra $\lambda = 0,3$ m.

Question 36 : Déterminer les valeurs numériques des composantes N , T_1 , T_2 , \overline{M}_t , \overline{M}_1 et \overline{M}_2 du torseur de cohésion le long de la partie AB en fonction de θ . Tracer les diagrammes correspondants et indiquer les valeurs remarquables.

5.3 CONCLUSIONS

Question 37 : Déterminer la section la plus sollicitée du point de vue de la contrainte normale. Préciser la valeur du moment de flexion et celle de l'effort normal appliqué à cette section. En déduire la contrainte maximale de traction et la contrainte maximale de compression dans cette section. Représenter graphiquement la répartition de la contrainte normale dans cette section (paramétrer la figure).

Question 38 : Quelles sont les critiques qui peuvent être apportées au modèle retenu pour l'étude précédente ? En particulier quelles sont les modifications à apporter pour étudier la configuration dans laquelle l'arceau 3 évolue dans le plan horizontal ($\beta = \pm 90^\circ$) ?

6 EXERCICE PEDAGOGIQUE – SPECIFICATION DE PRODUIT

6.1 OBJECTIF

L'objectif de cet exercice est d'analyser une partie de la cotation de définition de l'arceau.

6.2 NIVEAU D'ENSEIGNEMENT CONCERNE

B.T.S. Conception de Produits Industriels.

Les compétences et savoirs associés mobilisables pour le travail demandé en S.T.S. C.P.I. sont :

C25. Réaliser des dessins de définition de produits finis, cotés, tolérancés.		
Données	Compétence détaillée	Critères et/ou indicateur de performance
<ul style="list-style-type: none"> - Le modèle numérique, ses spécifications fonctionnelles et les mises en plan nécessaires. - Les matériaux et procédés retenus. - Les normes en vigueur. - Le coût prévisionnel. - Éventuellement des logiciels de quantification et de simulation d'une cotation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, pour chaque condition fonctionnelle, la (ou les) spécification(s) relative(s) à la pièce considérée. - Quantifier les spécifications (en dimensions et spécifications de formes ou de positions relatives). - Indiquer les spécifications sur le document de définition de la pièce. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence des spécifications retenues. - Cohérence des valeurs des spécifications au regard des fonctionnalités, des procédés et du coût prévisionnel. - Respect des normes en vigueur.

S77	Spécification de produits	1	2	3	4
S771	<p>Cotation et tolérancement normalisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Défauts géométriques des pièces. • Conditions fonctionnelles des assemblages et guidages. • Spécification géométrique du produit : <ul style="list-style-type: none"> ○ normes, ○ spécifications dimensionnelles, de forme, de position relative, d'orientation, de battement, ○ éléments de référence, référence spécifiée, zone de tolérance, ○ exigence de l'enveloppe, ○ principe du maximum de matière (et de la tolérance zéro au maximum de matière), tolérance projetée, ○ principe du minimum de matière, ○ notion sur la matrice GPS. 				
S772	<p>La démarche de détermination des spécifications d'une pièce:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inventaire des fonctions mécaniques auxquelles participe la pièce et repérage des surfaces fonctionnelles associées. • Analyse et quantification éventuelle des conditions de fonctionnement et de montage : cotes conditions, jeux, ajustements, chaînes géométriques des contacts. • Quantification des spécifications pour une fonction mécanique donnée : prise en compte des conditions de montage, des éléments standard, des procédés d'élaboration, méthodes de calcul ou de vérification des valeurs et tolérances satisfaisant les conditions. • Quantification des spécifications de liaison entre les surfaces fonctionnelles influentes issues de fonctions mécaniques différentes (liaisons entre groupes fonctionnels). 				

6.3 DOCUMENTS DE REFERENCE

- DT8 : Plan partiel de l'arceau.

Remarque : le candidat peut imaginer d'autres documents que ceux présents dans le sujet, s'il en précise la nature et le contenu.

6.4 TRAVAIL DEMANDE

Il vous est demandé de proposer une activité pédagogique de travail dirigé dont l'objectif général est :

« L'étudiant doit être capable d'analyser, au sens de la norme, des spécifications géométriques et dimensionnelles portées sur un dessin de définition de produit. »

A partir de la cotation indiquée sur la mise en plan du DT8, proposer une démarche d'analyse progressive permettant de décoder différentes spécifications portées sur le dessin. Dans ce contexte, le travail dirigé s'appuie essentiellement sur la spécification de symétrie.

Question 39 : Pour chacun des trois éléments de cotation ci-après :

- la cote théorique ;
- la référence spécifiée ;
- la symétrie ;

proposer une définition destinée aux étudiants et lister les difficultés essentielles d'apprentissage que vous pressentez.

Question 40 : A partir du modèle de tableau d'analyse des spécifications DT9 ou de tout autre support à destination des étudiants, détailler chaque étape de votre démarche d'analyse, pour la spécification

\equiv	0,4	F
----------	-----	---

 indiquée sur le DT8.

Question 41 : Pour le travail dirigé proposé :

- Dégager et décrire les objectifs opérationnels s'inscrivant dans l'objectif général précité ;
- Décrire la situation et les compétences initiales ;
- Définir les connaissances nouvelles et la méthode à acquérir ;
- Identifier les difficultés prévisibles des étudiants
- Décrire les supports techniques utilisés, les outils et les moyens pédagogiques (matériels et/ou logiciels)
- Décrire le déroulement de la séquence en précisant le mode d'évaluation.