

**CONCOURS ATS
-SESSION 2018-**

**ÉPREUVE DE
SCIENCES
INDUSTRIELLES**

CALCULATRICE AUTORISÉE

CODE ÉPREUVE : 959

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 5H

Le sujet comporte les documents suivants :

- le texte du sujet qui comprend 36 pages numérotées de 1/36 à 36/36,
- cinq documents réponses numérotés document-réponse 1 à 5 sur trois pages qui seront à joindre à la copie.

Les calculatrices sont autorisées.

Calculatrice électronique de poche – y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Tout document et tout matériel électronique sont interdits.

Toute documentation autre que celle fournie est interdite.

Recommandations générales

L'épreuve se compose de parties indépendantes. Dans chaque partie, certaines sous-parties sont elles-mêmes indépendantes. Les candidats sont donc invités, d'une part, à lire attentivement l'énoncé avant de commencer à composer et d'autre part, à bien répartir leur temps de composition entre les différentes parties. Pour chaque partie, il est demandé aux candidats de rédiger dans l'ordre proposé par le sujet.

Il est rappelé aux candidats qu'ils doivent impérativement utiliser les notations indiquées dans le texte ou sur les figures, et qu'ils doivent présenter les calculs clairement, dégager et encadrer les résultats relatifs à chaque question référencée dans le sujet. Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. Les candidats traceront tous les schémas ou chronogrammes qui leur permettront d'étayer leurs raisonnements.

TABLE DE RADIOLOGIE D²RS

La radiologie dite « conventionnelle » permet l'exploration des structures anatomiques internes à l'aide d'images fournies par un faisceau de rayons X traversant le sujet. Elle a un intérêt diagnostique de premier plan dans de nombreux domaines de la médecine malgré l'apparition de nouvelles techniques non invasives comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la tomodensitométrie ou scanner (TDM), ou encore l'échographie. Elle nécessite une table télécommandée, un pupitre de commande et une source de rayons X associée à un détecteur. Le patient est placé entre la source (tube à rayons X) et un capteur plan numérique. Selon la nature des tissus traversés, les rayons X seront plus ou moins atténués et donneront au final une image radiologique contrastée (plus de 4 000 niveaux de gris différents).

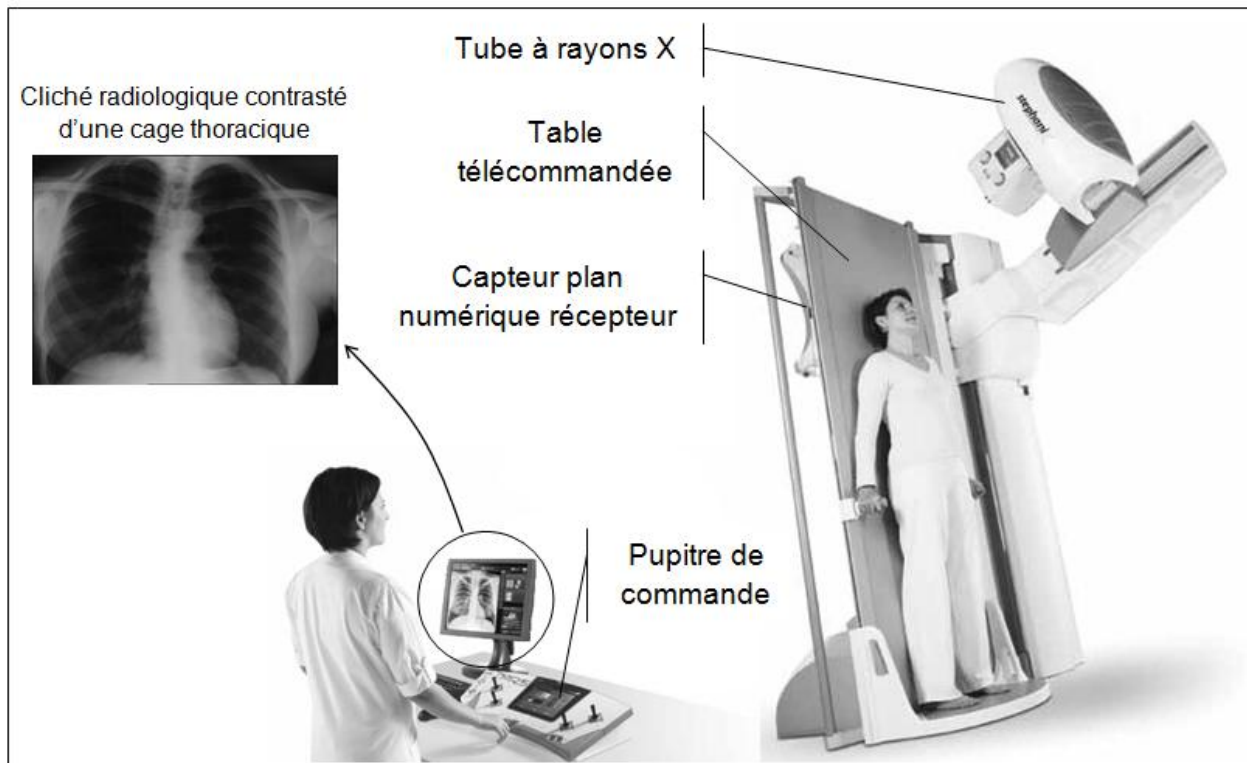


Figure 1 : mise en situation de la table de radiologie D²RS

La qualité du cliché radiologique conditionne l'interprétation par le médecin. Selon la partie radiographiée, on observe des zones noires correspondant à des tissus mous atténuant peu les rayons X, et des zones blanches correspondant à des structures osseuses. On repère les contours des organes, des zones liquidiennes normales ou pathologiques, des corps étrangers, des calcifications...

La société STEPHANIX conçoit, fabrique et commercialise une gamme complète d'équipements haut de gamme de radiologie pour les hôpitaux, cliniques et centres de radiologie. Ce secteur commercial extrêmement concurrentiel pousse l'entreprise à mettre en œuvre des solutions techniques éprouvées et fiables, mais la contraint à innover constamment pour rester compétitive.

La table de radiologie D²RS (Digital Dynamic Remote System) conçue et commercialisée par STEPHANIX répond aux fonctions suivantes :

- supporter et positionner le patient ainsi que le système d'imagerie ;
- intégrer de nouveaux critères d'innovation
 - o dernière génération de capteur plan dynamique ;
 - o positionnement automatique en fonction du protocole sélectionné ;
- réaliser des tomosynthèses (pseudo 3D, protocole de détection précoce de certains cancers) grâce à l'interpolation de 2 axes en mouvement.

L'architecture générale de la table de radiologie D²RS ainsi que le repérage de ses mouvements possibles sont donnés Figure 2.

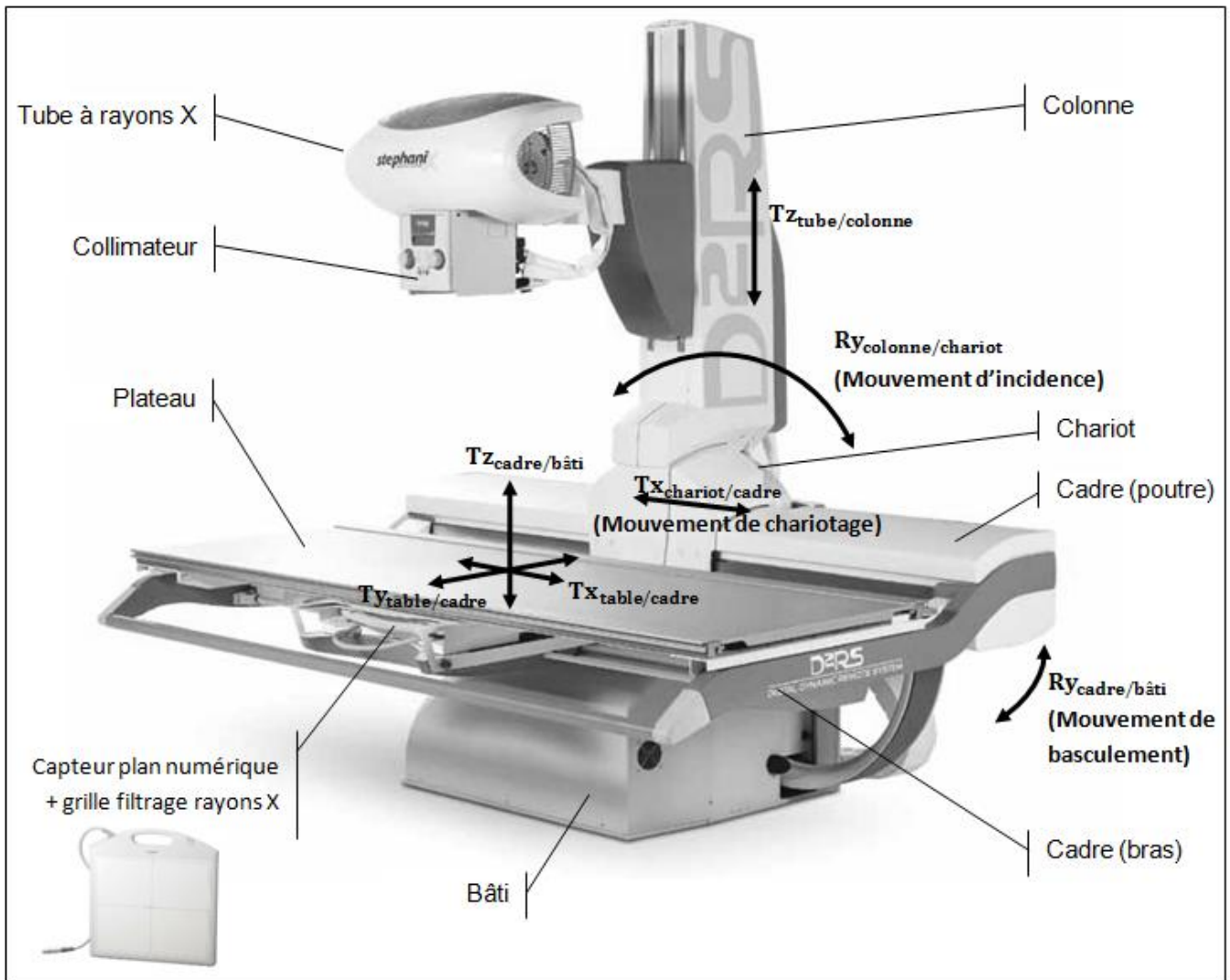


Figure 2 : architecture de la table D²RS

Tomosynthèse

La tomosynthèse est une technique d'imagerie radiologique ancienne et tombée en désuétude qui redevient d'actualité grâce au développement des technologies numériques de traitement d'images radiologiques.

À partir d'une table radiologique classique, elle permet dorénavant une acquisition volumique (dite pseudo-3D) de la zone observée.

Elle repose sur la rotation du tube à rayons X autour d'un point proche du détecteur (capteur plan) ; ce qui permet l'acquisition d'une série d'images en 2 dimensions, sous différents angles. Le volume 3D est alors reconstruit grâce à un algorithme complexe.

Chaque coupe frontale reconstruite à une profondeur donnée est obtenue en combinant toutes les projections des différents angles.

Les structures situées dans le plan de focalisation sont nettes alors que les structures situées dans les autres plans sont entachées de flou (Figure 3).

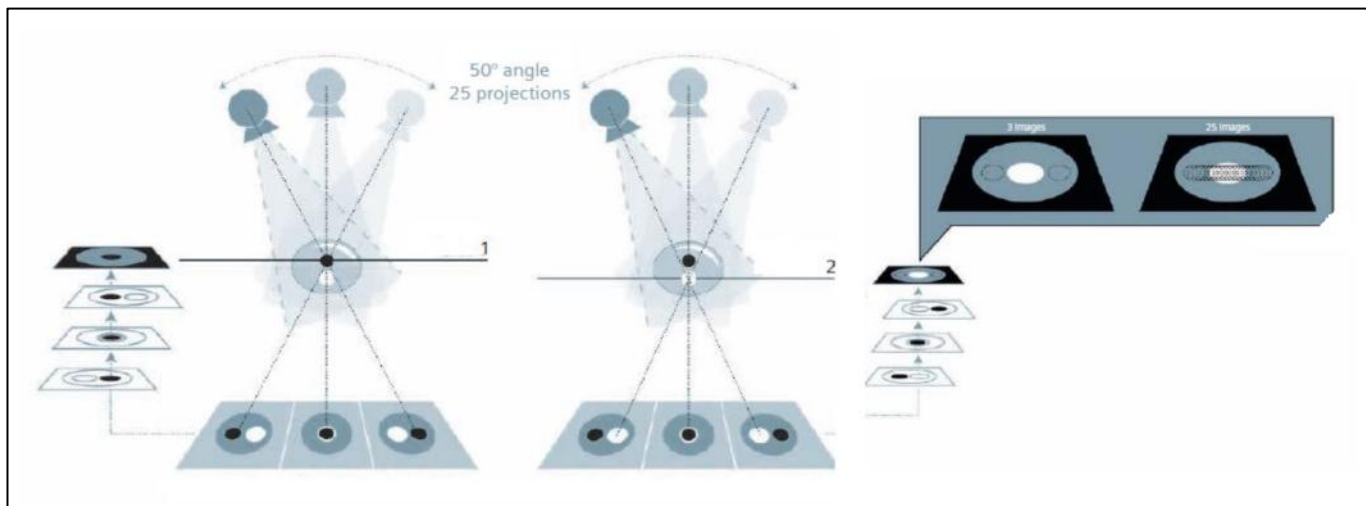


Figure 3 : principe de la tomosynthèse, reconstitution pseudo-3D

Le volume radiographié peut être visualisé en balayant l'ensemble des images reconstruites en coupe de 1 mm en général, dans des plans parallèles au capteur plan (coupes frontales). La tomosynthèse apporte un meilleur diagnostic pour la caractérisation des anomalies et une réduction des risques d'une mauvaise interprétation des images 2D. Enfin, par rapport à un scanner qui permet une radiographie 3D complète, la dose de rayons X reçue est environ 70 fois plus faible.

Diagrammes SYSML

Le diagramme fonctionnel Figure 4 décrit les principaux cas d'utilisation de la table.

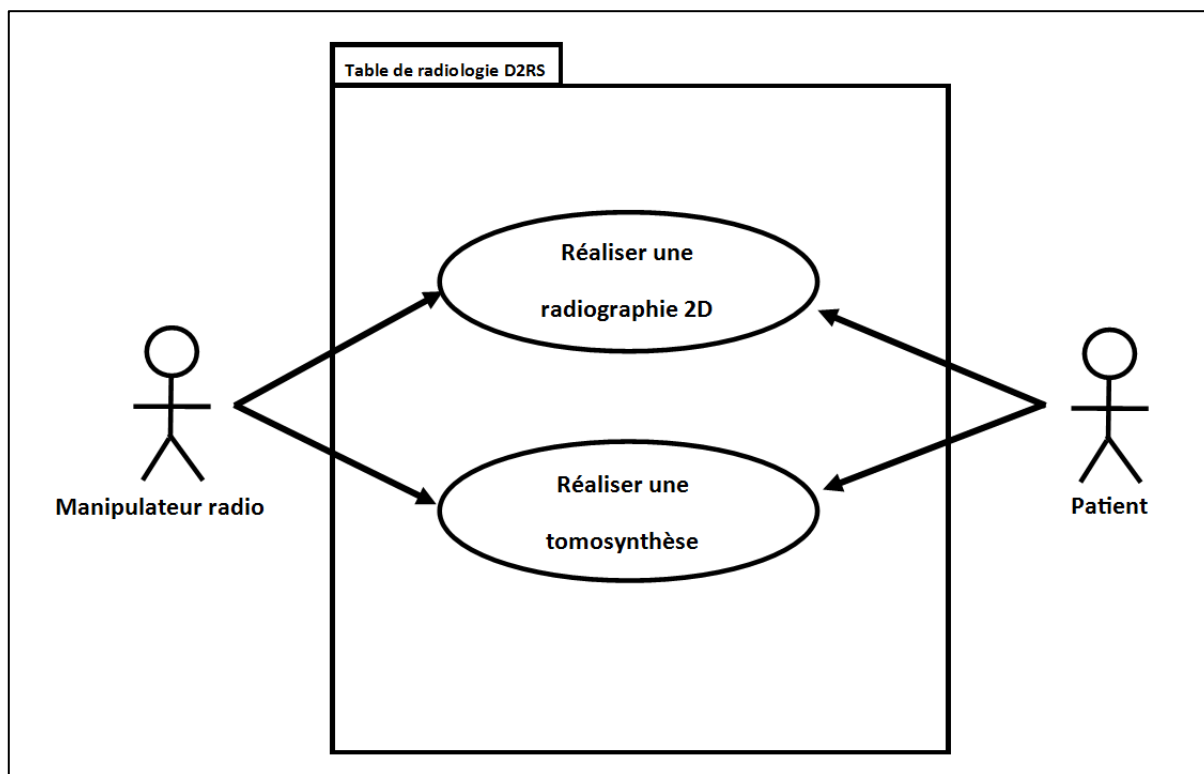


Figure 4 : diagramme des cas d'utilisation de la table de radiologie

Un extrait du diagramme d'exigences est donné Figure 5 et dans le tableau 1.

Exigences	Identifiants	Critères	Niveau	Flexibilité
Permettre aux brancardiers de se positionner derrière le plateau de table	1.1.1	position longitudinale (axe \vec{x}) de la table	120 cm	10 %
Régler la hauteur du plateau de table pour permettre le transfert du patient depuis un brancard ou un fauteuil	1.1.2	hauteur de la table	50 à 110 cm	+14 cm sur la position basse
Déplacer latéralement le patient pour cibler la zone à radiographier	1.2.1.1	déplacement de la table selon l'axe \vec{y}	60 cm	5 %
Basculer le plateau de table pour positionner le patient debout (en charge)	1.2.1.2	position angulaire du cadre	-30 ° à +90 °	+/-1 °
Régler la distance entre le tube à rayons X et la zone cible	1.2.2.1	hauteur	de 110 cm à 180 cm	1 %
Régler l'incidence de la colonne	1.2.2.2.1	Débattement angulaire de la colonne Précision de positionnement	-35 °/+35 ° 0,05 °	+/-1 °
Déplacer le tube à rayons X de la tête aux pieds du patient	1.2.2.2.2	déplacement longitudinal du chariot	2 m	1 %
Réaliser une tomosynthèse en synchronisant les mouvements d'incidence et de chariotage	1.2.2.3	précision de la synchronisation	0,5 mm/°	+/-1 %
Déplacer longitudinalement le tube à rayons X pour cibler la zone à radiographier	1.2.2.3.1	vitesse maximum du mouvement longitudinal de chariotage	15 cm/s	+5 %
Régler la vitesse du chariotage	1.2.2.3.2	précision	0,5 mm/s	
Déplacer angulairement le tube à rayons X pour cibler la zone à radiographier	1.2.2.3.3	vitesse maximum angulaire de l'incidence	17,5 °/s	+5 %
Régler la vitesse de l'incidence	1.2.2.3.4	précision	0,05 °/s	
Régler le temps de montée en vitesse des mouvements de chariotage et d'incidence	1.2.2.3.5	temps de réponse à 5 %	100 ms	
Vitesse d'acquisition d'images radiographiques	1.2.2.3.6	nombre de clichés par seconde	10	

Tableau 1 : extrait des exigences du système radiologique D²RS

Le diagramme partiel de blocs internes de la table D²RS est décrit Figure 6.

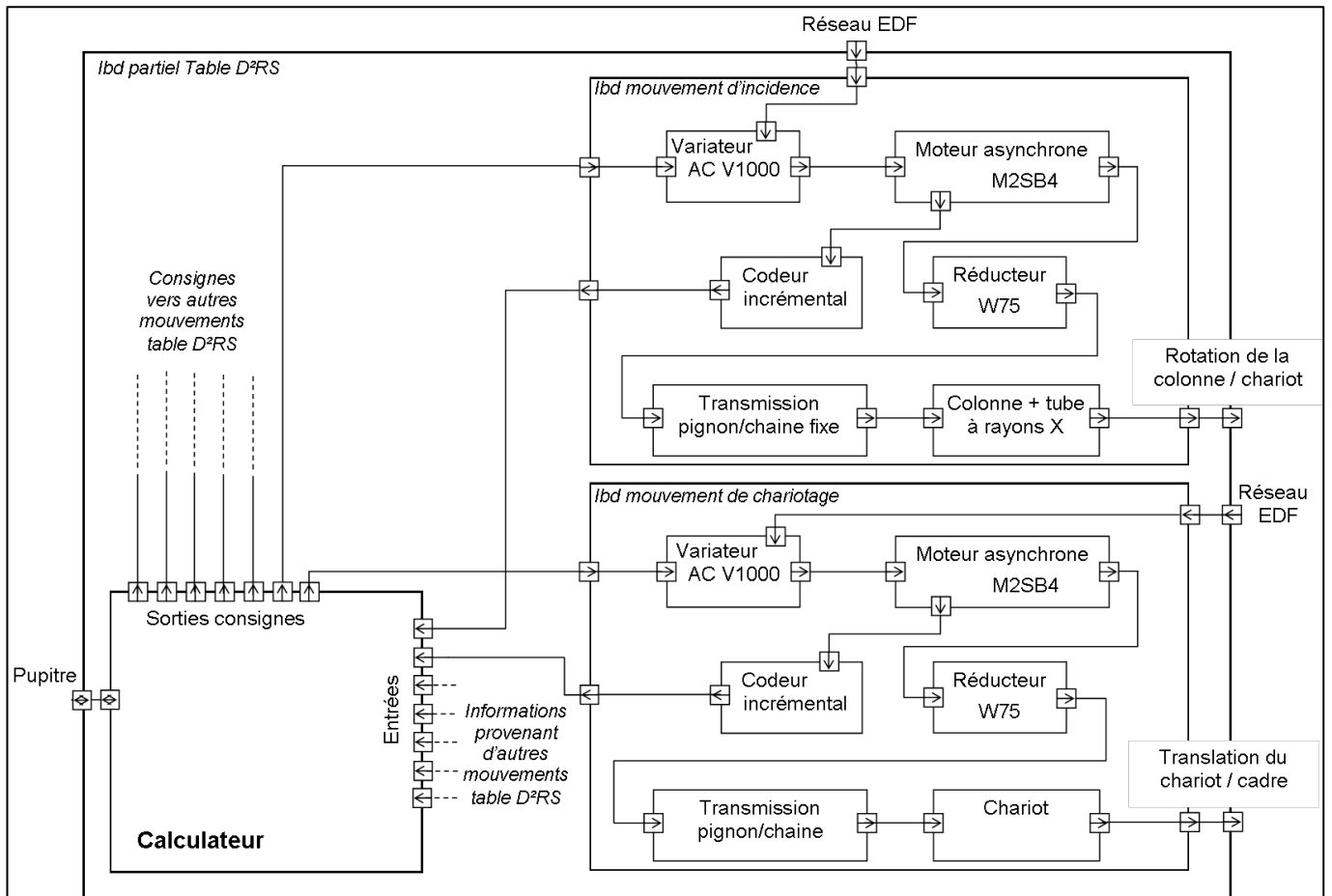


Figure 6 : diagramme partiel de blocs internes

Problématique générale

Afin de rester compétitive dans ce secteur très concurrentiel, l'entreprise STEPHANIX, qui a conçu et commercialise la table D²RS, souhaite proposer à ses clients une version de sa table de radiologie avec une nouvelle fonctionnalité : une **tomosynthèse** performante qui permet un diagnostic de tumeurs infra-millimétriques invisibles en radiologie classique 2D.

Pour cela, le département « Recherche et Développement » doit adapter les mouvements d'incidence de la colonne et de chariotage.

Profitant de cette étude, l'équipe d'ingénieurs souhaite également solutionner les problèmes sporadiques constatés d'oscillation de la chaîne de transmission du mouvement de chariotage.

Afin d'apporter des éléments de réponse à la problématique générale, le travail proposé se décompose de la manière suivante :

- la **partie I** permet d'étudier l'architecture des deux principaux mouvements en tomosynthèse, les mouvements d'incidence de la colonne et de chariotage ;
- la **partie II** permet de vérifier le dimensionnement de l'actionneur du mouvement d'incidence dans une phase d'accélération ;
- la **partie III** met en évidence l'origine des oscillations de la chaîne de transmission du mouvement de chariotage ;
- la **partie IV** met en cause la stratégie de commande en $\frac{U}{f} = cst$ de la machine asynchrone dans une perspective de stabilité du mouvement de chariotage à faible vitesse ;
- la **partie V** permet de qualifier le capteur de vitesse existant, de régler la boucle d'asservissement en vitesse du mouvement d'incidence, puis de synchroniser les mouvements d'incidence et de chariotage afin d'assurer le respect du cahier des charges en tomosynthèse ;
- la **partie VI** permet de vérifier que le circuit de traitement numérique associé au capteur plan est compatible avec la vitesse d'acquisition attendue des images radiographiques en tomosynthèse ;
- la **partie VII** permet de reprendre les éléments importants et de justifier les études menées pour répondre à la problématique générale.

Remarque : les parties I à VI sont indépendantes mais il est conseillé de traiter en premier lieu la partie I afin de cerner au mieux l'architecture globale du système. La partie VII s'appuie sur l'analyse des six premières parties.

Partie I : architecture des mouvements d'incidence et de chariotage

Problématique

Afin d'appréhender convenablement le système pour ensuite traiter les différents problèmes techniques rencontrés, il est nécessaire d'avoir une vision globale et précise de l'architecture de la table de radiologie.

Objectif : étudier l'architecture des deux principaux sous-systèmes de la table en utilisant des outils descriptifs adaptés.

- Q1** À partir du diagramme donné sur la Figure 6, indiquer par les lettres I , E et M sur le document réponse DR1 les flux de type information (I), électrique (E) et mécanique (M) entre tous les blocs définis dans le diagramme « ibd mouvement d'incidence ».

Dans une chaîne d'énergie, la puissance (tout comme l'énergie) est définie comme le produit d'une *variable de flux* (courant (I), couple (C), force (F)) avec une *variable de potentiel* (tension (U), vitesse angulaire (Ω), vitesse linéaire (V)).

- Q2** Indiquer en utilisant les lettres I, C, F, U, Ω et V sur le document réponse DR1 le type de variables présentes entre les blocs de la chaîne d'énergie définie dans le diagramme « ibd mouvement de chariotage ».

Partie II : vérification du dimensionnement de l'actionneur du mouvement d'incidence

Problématique

Afin de garantir une tomosynthèse de qualité, le dimensionnement de l'actionneur du mouvement d'incidence doit être reconsidéré.

Objectif : vérifier le dimensionnement de l'actionneur du mouvement d'incidence dans le cas le plus défavorable, la phase de démarrage.

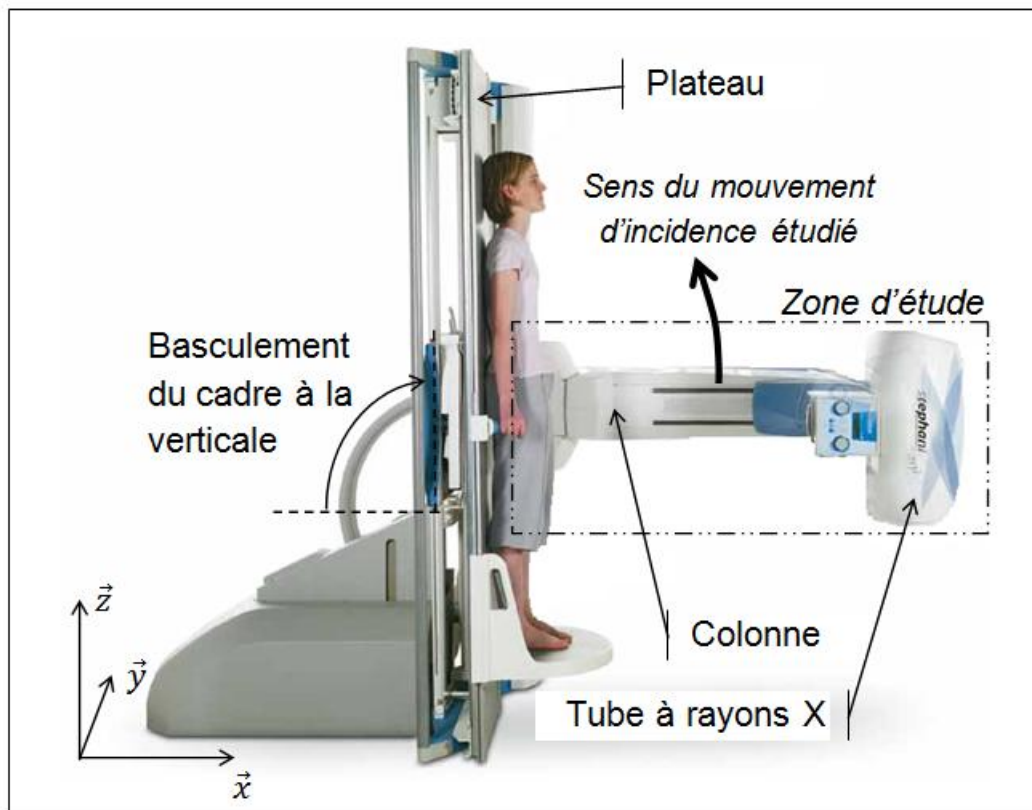


Figure 7 : position de la table pour le dimensionnement du moteur d'incidence

La vérification du dimensionnement du moteur du mouvement d'incidence se fera dans le cas le plus défavorable présenté Figure 7 : basculement du cadre (plateau) en position verticale avec un angle d'incidence de la colonne égal à 0° .

La cinématique et l'entraînement de la colonne dans son mouvement d'incidence sont décrits Figure 28 et Figure 29 en Annexe 1. Ces schémas font référence pour traiter cette partie d'étude.

Les extrémités de la chaîne (4) sont solidaires du chariot (1). Le motoréducteur est fixé sur la colonne (3). Il l'entraîne en rotation autour de (A, \vec{y}) par l'intermédiaire du système pignon entraînant (2) / chaîne (4), avec une amplitude complète de $\pm 35^\circ$ effectuée en 4 s.

La chaîne (4) « s'enroule » autour du pignon entraînant (2) et permet ainsi le mouvement d'incidence de la colonne (3) par rapport au chariot (1).

La transmission du mouvement étant symétrique, seul un pignon fou (5) est pris en compte.

Les différentes caractéristiques et paramètres nécessaires à la résolution de l'étude sont donnés dans le tableau 2.

Caractéristiques	Paramètres	Valeurs numériques
Moteur M2SB 4 : - couple mécanique - inertie rotor moteur	C_m J_m	à déterminer (Q11) $25 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Réducteur W75 (accouplé au rotor moteur) : - inertie rapportée sur l'arbre rapide du réducteur (côté moteur) - indice de transmission - rendement	$J_{\text{réd}}$ i η_r	$5,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 40 0,72
Pignon entraînant (2) (lié à l'arbre lent du réducteur) : - nombre de dents - pas - diamètre primitif - inertie rapportée sur l'axe lent du réducteur	Z_i p_i D_i J_i	12 dents 15,88 mm 61,36 mm $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
2 pignons fous (5) : - inertie et masse	négligées	
Chaîne (4) à rouleaux double 10B-2 : - inertie et masse	négligées	
Guide chaîne (1) : - rayon d'enroulement de la chaîne autour du guide	R_e	335 mm
Tube à rayons X, considéré comme une masse ponctuelle au point G_t : - inertie rapportée au niveau de l'axe (A, \vec{y}) - masse - dans le plan (\vec{x}, \vec{z}) , rayon AG_t	J_t M_t R_t	à déterminer (Q7) 70 kg 1 700 mm
Sous-ensemble colonne (3) + motoréducteur : - inertie rapportée au niveau de l'axe (A, \vec{y}) - masse concentrée au centre de gravité G_c - dans le plan (\vec{x}, \vec{z}) , rayon AG_c	J_c M_c R_c	à relever (Q9) 98 kg 700 mm

Tableau 2 : caractéristiques du mouvement d'incidence

Hypothèses :

- N définit une vitesse de rotation exprimée en tr/min et ω une vitesse de rotation en rad/s ;
- le bâti constitue un repère galiléen ;
- la vitesse de rotation de l'arbre moteur par rapport à la colonne (3) ω_{m3} est égale à la vitesse de rotation de l'arbre moteur par rapport au chariot (1) ω_{m1} . Pour la suite on adoptera l'écriture $\omega_m = \omega_{m1} = \omega_{m3}$;
- le pignon entraînant (2) est accouplé à la sortie du réducteur. On note $\omega_{21} = \omega_{23}$ la vitesse de rotation du pignon (2) par rapport au chariot (1) ;
- la liaison pivot d'axe (A, \vec{y}) entre la colonne (3) et le chariot (1) est supposée parfaite ;
- l'accélération de la pesanteur est notée g , avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Soit K' un point situé en périphérie du pignon entraînant (2), et $V_{K' \in 2/3}$ la norme du vecteur vitesse du point K' appartenant au pignon entraînant (2) dans son mouvement par rapport à la colonne (3). Cf. Annexe 1, Figure 28.

Q3 Exprimer $V_{K' \in 2/3}$ en fonction de D_i , i et ω_m .

Soit K le point de contact entre le pignon fou (5) et le guide chaîne (1), et $V_{K \in 3/1}$ la norme du vecteur vitesse du point K appartenant à la colonne (3) dans son mouvement par rapport au chariot (1). Cf. Annexe 1, Figure 28.

Q4 Exprimer $V_{K \in 3/1}$ en fonction de R_e et ω_{31} . ω_{31} définit la vitesse de rotation de la colonne (3) par rapport au chariot (1).

Q5 En supposant des contacts sans glissement aux points K et K', et des maillons de chaîne non déformables, établir la relation entre $V_{K \in 3/1}$ et $V_{K' \in 2/3}$. En déduire l'expression de ω_{31} en fonction de R_e , D_i , i et ω_m .

Soit $\{E\}$ l'ensemble {rotor moteur + réducteur + pignon entraînant + tube à rayons X + (colonne/motoréducteur)}.

Q6 Établir l'expression de l'énergie cinétique du rotor Ec_{rotor} , du réducteur $Ec_{réd}$, du pignon entraînant Ec_2 et du sous ensemble (colonne/motoréducteur) Ec_3 par rapport au chariot (1) en fonction de ω_m et des paramètres du système.

Q7 Exprimer le moment d'inertie J_t du tube à rayons X au niveau de l'axe (A, \vec{y}) en fonction de M_t et R_t . Puis déterminer l'énergie cinétique du tube à rayons X Ec_{tube} en fonction de ω_m et des paramètres du système.

Q8 Établir l'expression littérale de l'énergie cinétique totale Ec_{totale} de l'ensemble $\{E\}$ par rapport au chariot (1) en fonction de ω_m et des paramètres du système, sous la forme $Ec_{totale} = \frac{1}{2} \cdot J_{\acute{e}q} \cdot \omega_m^2$, avec $J_{\acute{e}q}$ le moment d'inertie équivalent de l'ensemble $\{E\}$ rapporté sur l'arbre moteur. Définir précisément $J_{\acute{e}q}$ sous forme littérale.

Le modèle volumique utilisé pour concevoir le système donne (Figure 30 en Annexe 2) différentes matrices d'inertie du sous ensemble (colonne + motoréducteur).

Q9 Retrouver la valeur du moment d'inertie du sous ensemble (colonne/motoréducteur) J_c à prendre en compte pour cette étude en l'exprimant avec les unités du système international. Puis calculer $J_{\acute{e}q}$.

Pour la suite de l'étude, utiliser $J_{\acute{e}q} = 45 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Q10 Exprimer la puissance des actions mécaniques extérieures et intérieures à l'ensemble $\{E\}$ en fonction de ω_m et des paramètres du système.

Q11 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, établir une relation entre le couple mécanique du moteur C_m , son accélération angulaire $\dot{\omega}_m$ et les paramètres du système. Déterminer numériquement C_m pour une accélération $\dot{\omega}_m$ permettant au moteur d'atteindre sa vitesse nominale 1 400 tr/min en 0,1 s.

Q12 Conclure sur la capacité du motoréducteur choisi (principales caractéristiques sur la Figure 31 en Annexe 3) pour entraîner la colonne dans son mouvement d'incidence.

Partie III : mise en évidence de l'origine des oscillations de la chaîne de transmission du mouvement de chariotage

Problématique

Dans certaines configurations d'inclinaison de la table et de la colonne, la chaîne de transmission du mouvement de chariotage tape bruyamment contre la carcasse métallique du cadre.

Objectif : déterminer une tension de chaîne du mouvement de chariotage évitant ce désagrément quelles que soient les configurations d'inclinaison imposées.

Contexte général de transmission de puissance par un système pignon-chaîne

La tension de la chaîne est un élément important à connaître et à maîtriser afin d'éviter des phénomènes vibratoires perturbateurs, appelés couramment « effet polygonal ».

L'amplitude des oscillations de la chaîne peut être élevée et destructrice, si la fréquence d'excitation de la chaîne correspond à sa fréquence propre.

Il faut également vérifier que cette tension de chaîne rentre dans les critères de sécurité imposés.

L'étude qui suit sera divisée ainsi :

- mise en évidence du phénomène d'oscillations de la chaîne (à traiter) ;
- tension de la chaîne de transmission du mouvement de chariotage (à traiter) ;
- fréquence propre de la chaîne (ne pas traiter, résultat donné) ;
- fréquence fondamentale d'excitation de la chaîne (à traiter).

Mise en évidence du phénomène d'oscillations (saccades) de la chaîne

Le phénomène est dans un premier temps mis en évidence et étudié sur la chaîne de transmission du mouvement d'incidence entre la colonne (3) et le chariot (1) présentée sur la Figure 28 en Annexe 1.

Toutes les informations utiles (vocabulaire, modèle utilisé, notation) sont données en Annexe 4.

Les différentes caractéristiques et paramètres nécessaires à la résolution de l'étude sont donnés dans le tableau 3.

Caractéristiques	Paramètres	Valeurs numériques
Cahier des charges : <ul style="list-style-type: none"> - vitesse de rotation imposée entre le pignon (2) et l'ensemble fixe (1) pour respecter le critère de 35° de la colonne / chariot en 2 s 	N_{21}	32 tr/min
Pignon (2) : <ul style="list-style-type: none"> - nombre de dents - pas - diamètre primitif = 2 x [BE] = 2 x [BF] (Points B, E et F présents sur la Figure 33) 	Z_i $Pas\ pignon = p_i$ D_i	12 dents 15,88 mm 61,36 mm
Chaîne (4) : <ul style="list-style-type: none"> - chaîne à rouleaux double référence 10B-2 	$Pas\ chaîne = p_i$	15,88 mm

Tableau 3 : caractéristiques de la transmission pignon-chaîne du mouvement incidence

Hypothèses :

- les maillons de la chaîne (4) sont supposés non déformables ;
- les articulations entre tous les maillons de la chaîne sont supposées parfaites ;
- les centres des rouleaux de la chaîne coïncident avec les centres des creux des dents ;
- le pignon (2) est en liaison pivot d'axe (B, \vec{y}) par rapport à l'ensemble fixe (1).

Q13 A partir de la Figure 33, exprimer l'angle d'articulation α en radians, en fonction du nombre de dents Z_i . Puis montrer que la relation entre le diamètre primitif D_i , le pas p_i et l'angle d'articulation α s'écrit $D_i = \frac{p_i}{\sin \frac{\alpha}{2}}$.

Q14 Soit $\vec{V}_{F_\theta} = V_{F_\theta} \cdot \vec{t}$. Exprimer V_{F_θ} en fonction de α , p_i et N_{21} .

Q15 N_{21} est supposée constante. Déterminer \vec{a}_{F_θ} correspondant au vecteur accélération du point F_θ dans le plan (\vec{n}, \vec{t}) en fonction de α , p_i et N_{21} . Puis exprimer cette accélération \vec{a}_{F_θ} dans le plan (\vec{z}, \vec{x}) .

Q16 En déduire les conséquences des accélérations constatées de la chaîne sur la qualité du mouvement et justifier la présence d'oscillations sur la chaîne de transmission.

Malgré un nombre de dents plus important, le phénomène d'oscillations, couramment appelé effet polygonal, est constaté sur la chaîne de transmission du mouvement de chariotage. L'origine des perturbations étant désormais connue, il est nécessaire d'éviter que ces oscillations correspondent à une fréquence d'excitation trop proche de la fréquence propre de la chaîne. Cette fréquence propre est liée à la tension de la chaîne.

Tension de la chaîne de transmission du mouvement de chariotage

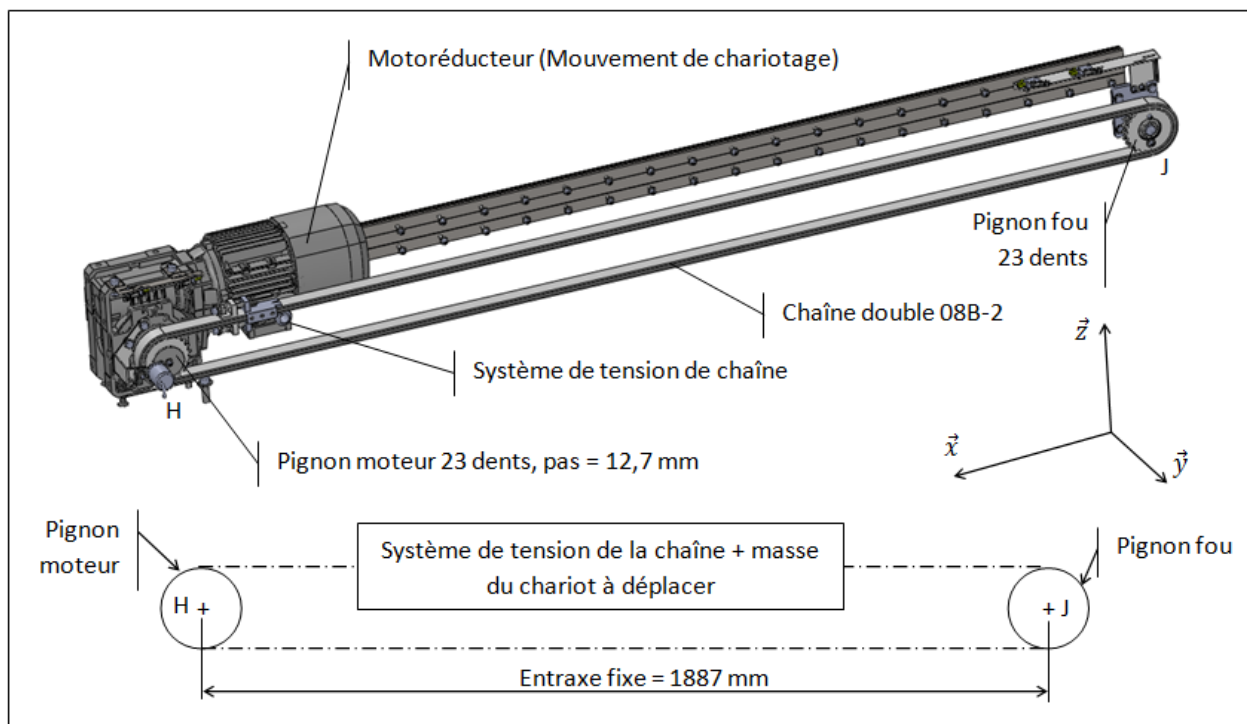


Figure 8 : système d'entraînement du chariot

Les différents paramètres et caractéristiques nécessaires à la résolution de cette partie de l'étude sont donnés dans le tableau 4.

Caractéristiques	Paramètres	Valeurs numériques
Cahier des charges (mouvement de chariotage) : <ul style="list-style-type: none"> - vitesse nominale de déplacement du chariot (1) par rapport au cadre (0) - accélération du chariot (1) / cadre (0) 	V_{10} a_{10}	0,15 m/s 1,5 m/s ²
Motoréducteur W75 : <ul style="list-style-type: none"> - charge radiale admissible sur l'arbre de sortie du réducteur (arbre du pignon de chariotage) 	R_N	4 980 N
1 pignon moteur + 1 pignon fou identique : <ul style="list-style-type: none"> - nombre de dents - pas - diamètre primitif 	Z_p p D_p	23 dents 12,7 mm 93,27 mm
Chaîne de chariotage à rouleaux double 08B-2 : <ul style="list-style-type: none"> - résistance à la rupture - coefficient de sécurité à respecter entre la tension maximale et la résistance à la rupture 	R_r s	31 800 N 8
Chariot : <ul style="list-style-type: none"> - masse concentrée au centre de gravité G_{ch} 	M_{ch}	103 kg
Colonne + tube à rayons X : <ul style="list-style-type: none"> - masse concentrée au centre de gravité G_{ct} 	M_{ct}	168 kg

Tableau 4 : caractéristiques des principaux composants du mouvement de chariotage

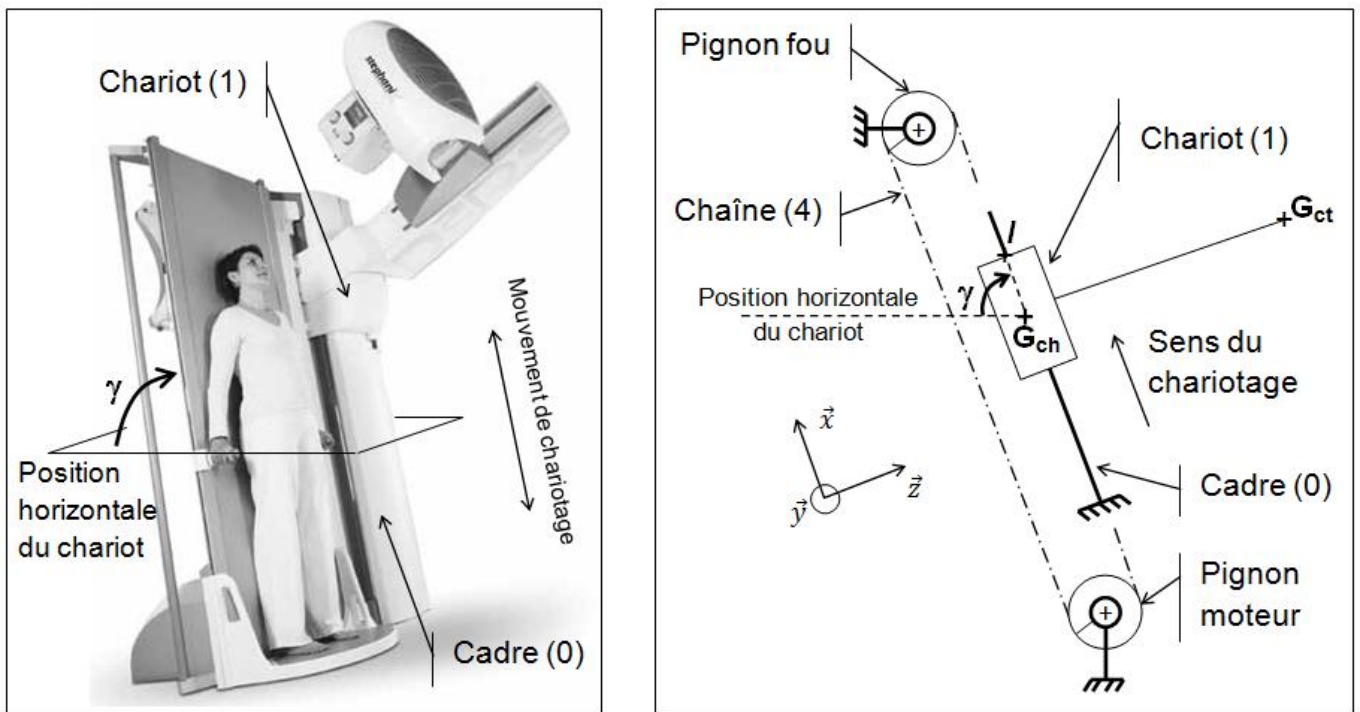


Figure 9 : position d'étude et paramétrage du mouvement de chariotage

Hypothèses :

- le problème est supposé dans le plan (\vec{z}, \vec{x}) ;
- le cadre est supposé fixe et donc considéré comme le solide de référence ;
- la colonne et le tube à rayons X sont supposés fixes par rapport au chariot ;
- l'accélération de la pesanteur est notée g , avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;
- le plateau et le chariot sont inclinés d'un angle γ par rapport à un plan horizontal (Figure 9) ;

- la tension de la chaîne (4) fixée sur le chariot (1), notée \vec{T} , est appliquée au point I (Figure 9 et Figure 10). On donne $\{T_{4 \rightarrow 1}\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} T & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$;
- la tension de la chaîne doit respecter le coefficient de sécurité s fixé et ne doit pas imposer un effort sur l'arbre de sortie du motoréducteur supérieur à la charge radiale admissible R_N ;
- le chariot est en liaison glissière de direction (G_{ch}, \vec{x}) par rapport au cadre. Le modèle de cette liaison est donné Figure 10 ;
- le frottement aux points de contact M_1 et M_2 entre le chariot (1) et le cadre (0) est pris en compte avec un coefficient $f = 0,08$.

De plus, on donne $\{T_{0 \rightarrow 1}^{M_1}\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} X_{M_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{M_1} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$ et $\{T_{0 \rightarrow 1}^{M_2}\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} X_{M_2} & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{M_2} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$.

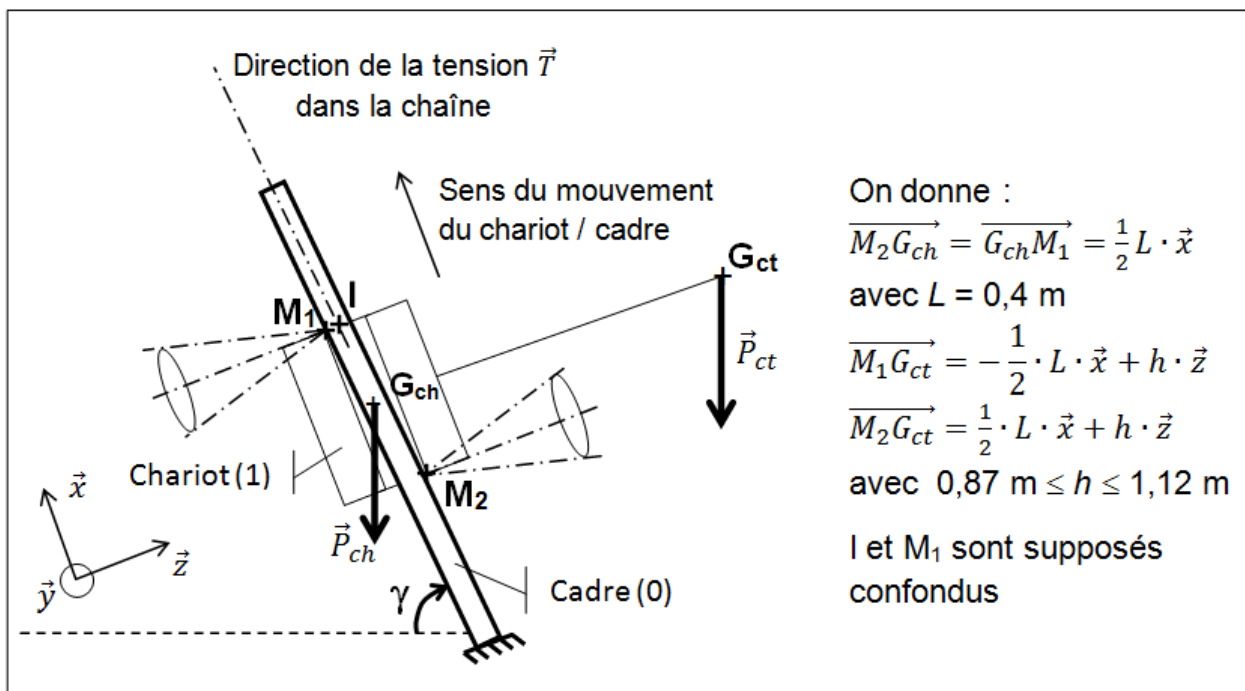


Figure 10 : modèle et paramétrage de la liaison glissière entre le chariot et le cadre

- Q17** Établir sous forme de torseurs le bilan des actions mécaniques extérieures au chariot (1) dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.
- Q18** À partir des informations données dans la Figure 10, établir la relation entre X_{M_1} , f et Z_{M_1} . Établir également la relation entre X_{M_2} , f et Z_{M_2} .
- Q19** Appliquer le principe fondamental de la dynamique (PFD) au chariot et exprimer T en fonction de M_{ch} , M_{ct} , g , a_{10} , f , γ et des dimensions du système.

Les courbes Figure 11 représentent les évolutions en dynamique de la tension dans la chaîne suivant différentes configurations d'accéléérations atteintes (maximale ou réduite) et de position du tube à rayons X (rentré ou sorti) par rapport à la colonne.

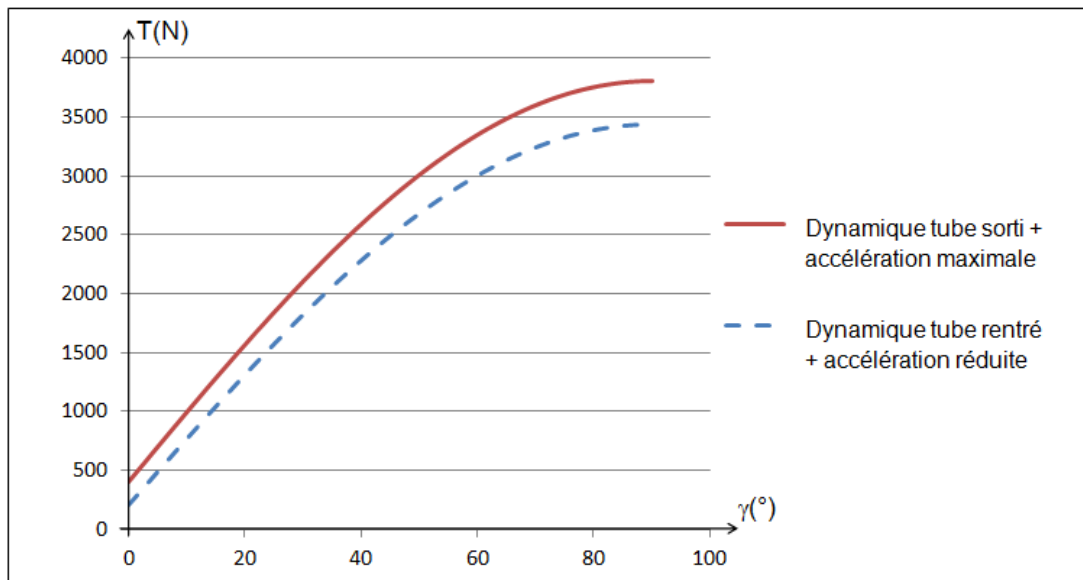


Figure 11 : évolution dynamique de la tension de chaîne

Q20 En analysant les courbes, conclure sur le respect des exigences données concernant la tension maximale dans la chaîne.

Des claquements importants de la chaîne de chariotage ont été constatés contre le capot métallique du cadre lors de certains mouvements de chariotage.

Le phénomène est observé lorsque la table est inclinée d'un angle proche de 40° , dans la configuration tube sorti et accélération maximale.

Q21 Rechercher sur les courbes données sur la Figure 11 la tension de chaîne T_0 correspondant à la situation de dysfonctionnement observé.

Fréquence propre de la chaîne

Une étude complémentaire montre que, pour une tension de chaîne égale à T_0 , la fréquence propre de la chaîne f_0 est égale à : $f_0 = 11,7 \text{ Hz}$.

Fréquence fondamentale d'excitation de la chaîne

À chaque passage d'une dent du pignon moteur, la chaîne subit une excitation due à l'effet polygonal. On note f_{ex} la fréquence fondamentale d'excitation du système pignon/chaîne du mouvement de chariotage.

Q22 Établir la relation entre la fréquence d'excitation f_{ex} et la vitesse de rotation du pignon moteur ω_{pm} et Z_p , puis en déduire la relation entre f_{ex} , Z_p , D_p et V_{10} . Calculer f_{ex} pour une vitesse nominale du chariot par rapport au cadre $V_{10} = 0,15 \text{ m/s}$.

Q23 Justifier le phénomène de vibrations importantes constaté sur la chaîne dans la configuration décrite précédemment et établir le lien avec la problématique posée. Proposer deux solutions différentes permettant de limiter ce phénomène de vibrations.

Partie IV : stabilité du mouvement de chariotage à faible vitesse

Problématique

Lorsque le manipulateur radio agit sur le mouvement de chariotage pour positionner précisément la source de rayons X et cibler la zone à radiographier pour une tomosynthèse, des instabilités apparaissent à basse vitesse et perturbent son réglage.




Objectif : Étudier la machine asynchrone triphasée et les limites de la stratégie de commande à $\frac{U}{f} = cst.$

Détermination des grandeurs nominales de la machine

Hypothèses :

La table de radiographie D²RS est alimentée par le réseau monophasé 230 V / 50 Hz, le variateur délivre au maximum 230 V entre phases. Toutes les pertes de la machine asynchrone sont négligées à l'exception des pertes joules au rotor.

Plaque signalétique du moteur :

						
3~ Mot	M 2SB 4 FD	Cod	8G360209CV			
No	F-01-13 / 6771243	S 1	IMB	5	14.5 kg	
kW	1.1 / 50Hz					
Hz	V (+/- 10%)	A	min-1	Cos ϕ		
50	133 / 230 D/Y	4.7 / 2.7	1400	0.78		

Q24 Déterminer pour cette machine :

- le nombre de paires de pôles p ;
- le glissement nominal g_n ;
- la puissance active absorbée nominale P_{ab} ;
- les pertes joules rotoriques P_{jr} ;
- le rendement η_n ;
- le couplage des enroulements.

Modèle équivalent par phase de la machine asynchrone :

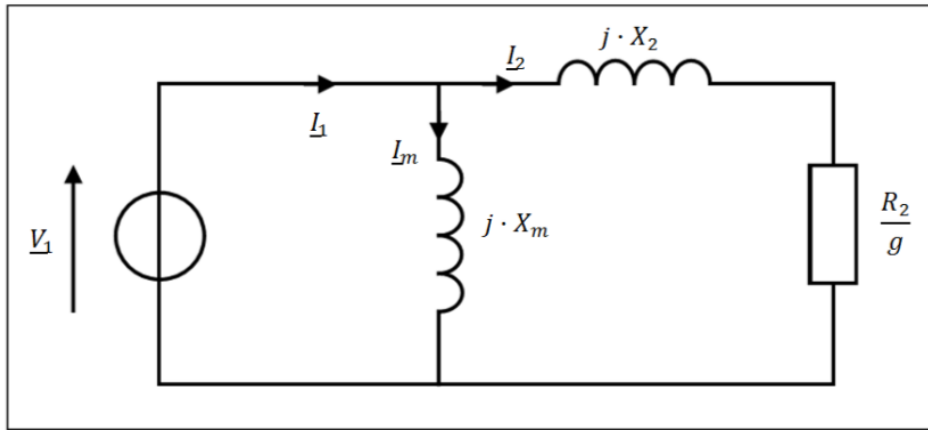


Figure 12 : modèle équivalent par phase

Paramètres :

$X_m = L_m \cdot \omega$	Réactance de magnétisation
$X_2 = L_2 \cdot \omega$	Réactance de fuite d'une phase rotor ramenée au stator
R_2	Résistance d'une phase rotor ramenée au stator
g	Glissement
ω	Pulsation des courants statoriques

Hypothèses : Toutes les pertes de la machine asynchrone sont négligées à l'exception des pertes joules au rotor.

Deux essais ont été effectués pour déterminer les valeurs numériques des paramètres :

Essai à vide	
Conditions de l'essai	Mesures
Machine désaccouplée Tension d'alimentation : $V_{10} = 133 V$ Fréquence $f = 50 Hz$	Puissance réactive absorbée $Q_0 = 442 VAR$

Essai à rotor bloqué	
Conditions de l'essai	Mesures
Machine avec rotor bloqué Tension d'alimentation : $V_{1rb} = 15 V$ Fréquence $f = 50 Hz$	Puissance apparente absorbée $S_{rb} = 117 VA$ Intensité du courant $I_{2rb} = 2,49 A$ Facteur de puissance $f_p = 0,49$

Q25 Faire une hypothèse sur la valeur du glissement dans l'essai à vide et représenter le schéma simplifié du modèle équivalent par phase. Exprimer la puissance réactive Q_0 en fonction des éléments du schéma et en déduire la valeur numérique de l'inductance de magnétisation L_m .

Q26 Faire une hypothèse sur la valeur du glissement dans l'essai à rotor bloqué et représenter le schéma simplifié du modèle équivalent par phase. Exprimer les puissances active P_{rb} et réactive Q_{rb} en fonction des éléments du schéma. En déduire les valeurs numériques de la résistance rotorique R_2 et de l'inductance de fuite rotorique L_2 .

Les valeurs numériques retenues pour la suite du problème sont :

$L_m = 0,382 \text{ H}$	Inductance de magnétisation
$L_2 = 16,5 \text{ mH}$	Inductance de fuite d'une phase rotor ramenée au stator
$R_2 = 3,08 \Omega$	Résistance d'une phase rotor ramenée au stator

Q27 Indiquer le paramètre de l'alimentation sur lequel on peut agir pour faire varier la vitesse de la machine.

Q28 Montrer que le couple électromagnétique C_{em} de la machine peut se mettre sous la forme $C_{em} = K \cdot \frac{x}{(x^2 + X_2^2)}$ et exprimer les paramètres K et x . Valider le modèle par le calcul du couple nominal de la machine.

Puis montrer que C_{em} est maximum pour $g = g_{max} = \frac{R_2}{X_2}$. En déduire l'expression de C_{max} en fonction de L_2, V_1, p et f .

Q29 Justifier qualitativement le choix d'une commande scalaire en $\frac{V_1}{f}$ pour une machine asynchrone associée à un onduleur de tension (ou de courant).

Le couple dans une machine asynchrone est directement proportionnel au carré du flux créé par l'inductance magnétisante L_m . Les performances optimales sont obtenues si le flux, donc le courant magnétisant I_m , est maintenu constant sur toute la plage de vitesse.

Q30 Exprimer la valeur efficace du courant magnétisant I_m en fonction de V_1, L_m et f , puis justifier le choix d'une commande scalaire.

Un modèle plus complet de la machine asynchrone est proposé à la Figure 13.

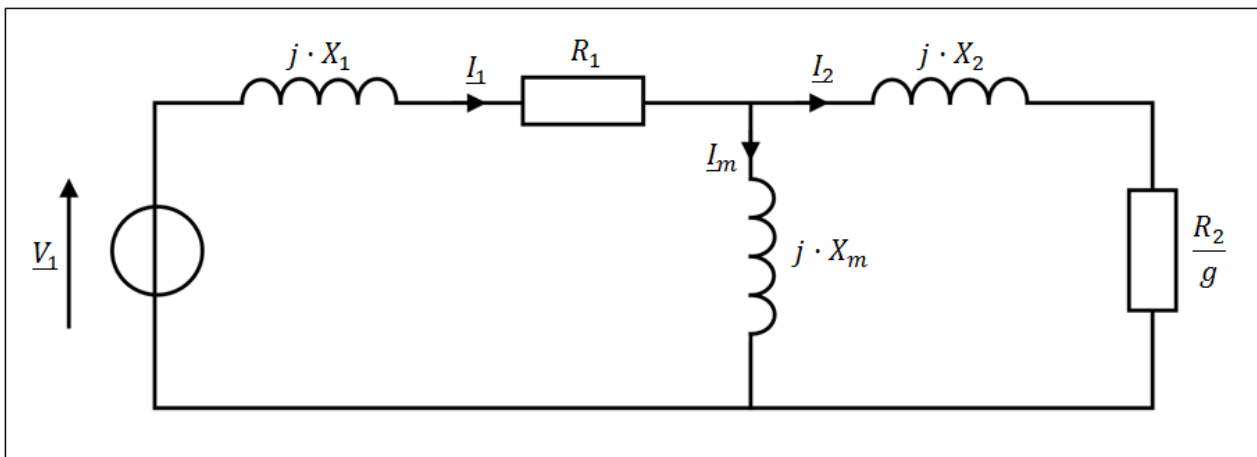


Figure 13 : modèle complet par phase de la machine asynchrone

Paramètres :

$X_m = L_m \cdot \omega$	Réactance de magnétisation
$X_2 = L_2 \cdot \omega$	Réactance de fuite d'une phase rotor ramenée au stator
R_2	Résistance d'une phase rotor ramenée au stator
$X_1 = L_1 \cdot \omega$	Réactance de fuite d'une phase stator
R_1	Résistance d'une phase stator

Les paramètres de l'enroulement stator ont fait l'objet d'une mesure. On a relevé $R_1 = 0,85 \Omega$ et $L_1 = 3,24 \text{ mH}$.

Q31 Calculer la chute de tension statorique au point nominal.

Par simulation du modèle complet par phase, deux courbes ont été obtenues : le courant magnétisant I_m (A) à la Figure 14 et la chute de tension Δ_u (% de V_1) à la Figure 15, en fonction de la fréquence d'alimentation f (Hz).

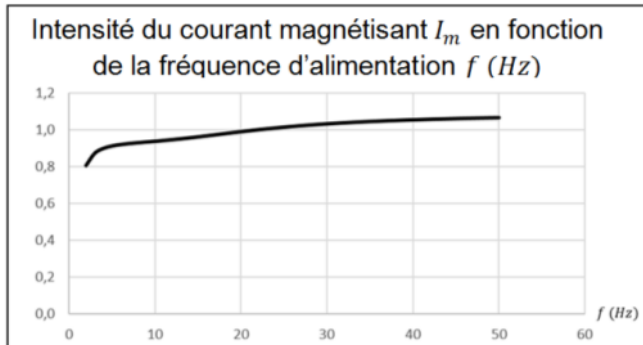


Figure 14 : I_m

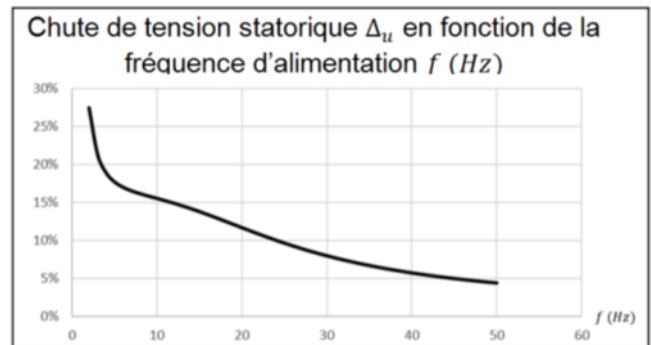


Figure 15 : Δ_u

Q32 Commenter les courbes obtenues par simulation et conclure sur les limites de la commande scalaire. Proposer une autre stratégie de commande qui réponde à la problématique.

Partie V : contrôle et réglage des boucles d'asservissement en vitesse des mouvements d'incidence et de chariotage

Problématique

Pour éviter des flous et artefacts qui pourraient apparaître sur les clichés radiologiques si le contrôle de vitesse des mouvements d'incidence et de chariotage n'était pas performant, il faut vérifier que le capteur de vitesse déjà en place répond aux nouvelles exigences de la tomosynthèse, puis régler les boucles d'asservissement pour synchroniser les deux mouvements.

Objectif : vérifier les performances en vitesse du capteur déjà présent sur le mouvement d'incidence puis régler les boucles d'asservissement en vitesse des mouvements d'incidence et de chariotage ainsi que leur synchronisation afin d'assurer le respect du cahier des charges en tomosynthèse.

Mouvements en tomosynthèse :

La colonne porte le tube à rayons X et lui imprime un déplacement angulaire (mouvement d'incidence) de 70° en 4 s.

Le collimateur focalise sur la zone cible du patient à une hauteur h du détecteur.

Le détecteur doit capter la totalité de chaque image, son déplacement par rapport à la cible est donc synchronisé avec le mouvement d'incidence.

Le plateau est fixe et durant tout le temps que durera la tomosynthèse, le patient devra rester parfaitement immobile. C'est donc l'ensemble (chariot + colonne + capteur plan) qui se déplace latéralement dans un mouvement de chariotage longitudinal pour assurer la bonne capture des images.

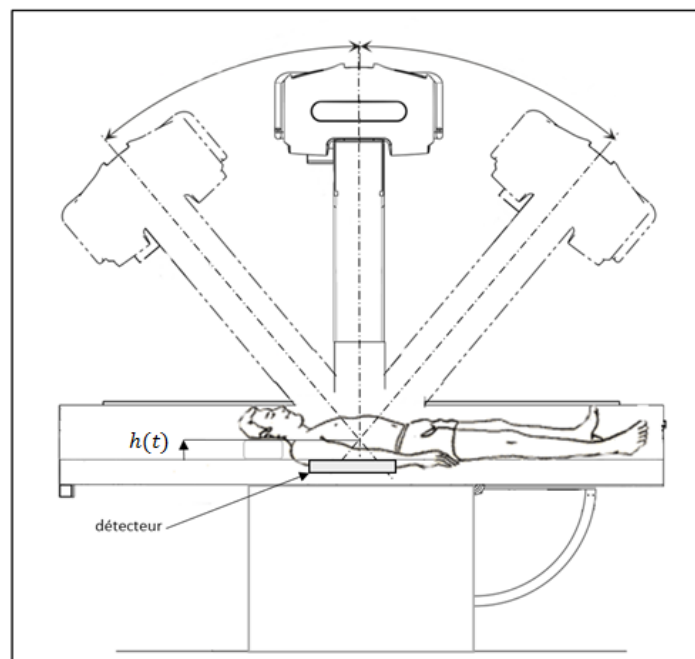


Figure 16 : principe de la tomosynthèse

Extrait du cahier des charges en tomosynthèse :

Exigences	Critères	Niveau
Déplacer angulairement le tube à rayons X pour cibler la zone à radiographier	N_{imax}	17,5 °/s
Régler la vitesse de l'incidence	Précision sur N_i	0,05 °/s
Temps de réponse	$t_{r5\%}$	100 ms

Vérification des performances en vitesse du capteur (mouvement d'incidence)

Un codeur incrémental de résolution 500 points est déjà installé sur l'axe moteur pour assurer l'asservissement de position du mouvement d'incidence en radiologie 2D. On souhaite vérifier que les performances de ce codeur permettront de contrôler également la vitesse du mouvement d'incidence en tomosynthèse. Les principales caractéristiques de la cinématique du mouvement d'incidence sont données Figure 17.

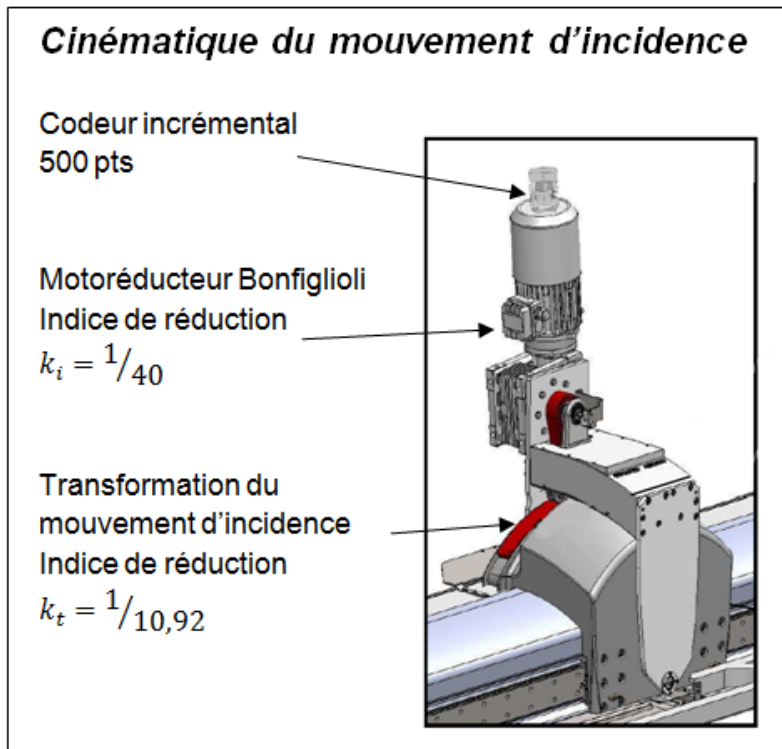


Figure 17 : cinématique du mouvement d'incidence

Le codeur envoie ses signaux au calculateur qui les utilise en quadrature pour améliorer la précision.

Pour acquérir la vitesse, le programme du calculateur compte les fronts des signaux en quadrature et donne une nouvelle mesure de la vitesse toutes les 10 ms.

- Q33** Tracer sur votre copie l'allure des signaux en sortie du codeur incrémental et expliquer comment la quadrature permet d'augmenter la résolution du capteur.
- Q34** Vérifier que le capteur installé directement sur le moteur permet de respecter le cahier des charges sur le critère de précision de la vitesse. Puis déterminer la fréquence des entrées de comptage du calculateur pour la vitesse angulaire maximum de l'incidence.

Réglage des asservissements

Pour préparer les réglages du calculateur, des essais sont conduits de manière à modéliser chaque mouvement. On s'intéresse dans cette partie au mouvement d'incidence dont la structure de la chaîne de contrôle est décrite à la Figure 18, et le paramétrage à la Figure 19.

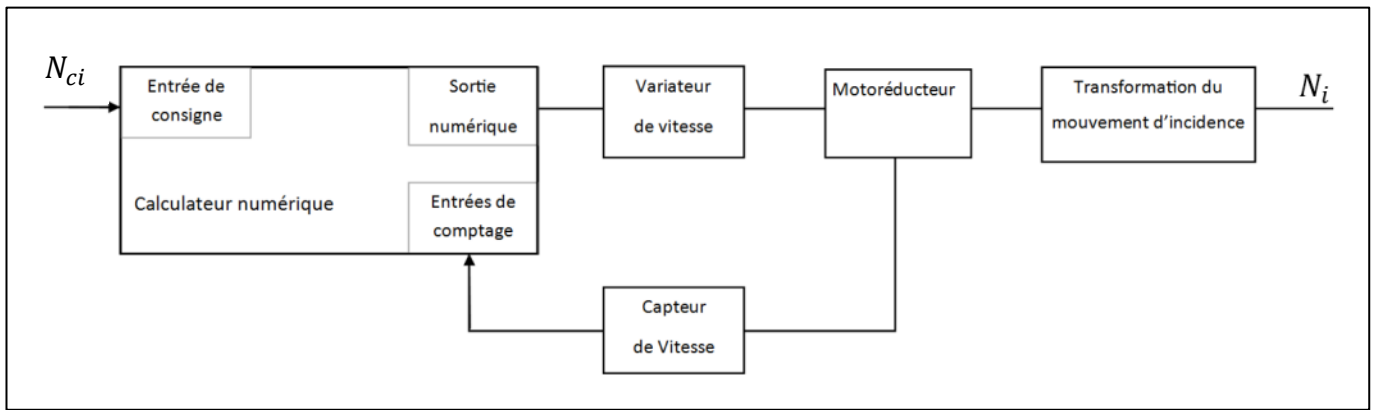


Figure 18 : structure de la chaîne de contrôle du mouvement d'incidence

N_{ci}	Consigne de vitesse angulaire incidence	
N_i	Vitesse angulaire du mouvement d'incidence	°/s

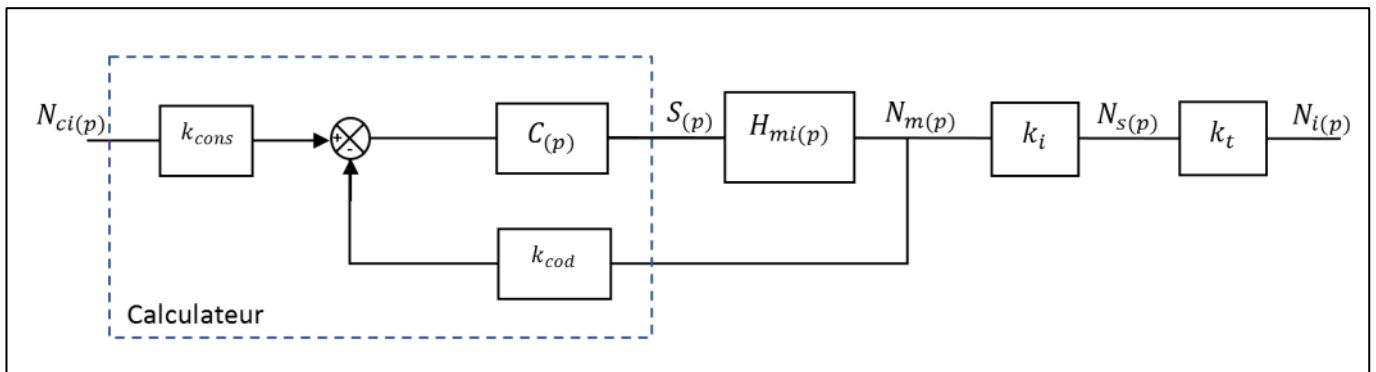


Figure 19 : modèle de la chaîne de contrôle du mouvement d'incidence

$N_{ci(p)}$	Consigne de vitesse angulaire incidence	°/s
k_{cons}	Coefficient d'adaptation de la consigne	
$C(p)$	Fonction de transfert du correcteur	
$S(p)$	Consigne de vitesse variateur	tr/min
$H_{mi(p)}$	Fonction de transfert de l'incidence	
$N_{m(p)}$	Vitesse angulaire en sortie du moteur	tr/min
k_i	Indice de réduction motoréducteur	
$N_{s(p)}$	Vitesse angulaire en sortie du motoréducteur	tr/min
k_t	Indice de réduction transformation de mouvement	
$N_{i(p)}$	Vitesse angulaire du mouvement d'incidence	°/s
k_{cod}	Coefficient d'adaptation du retour vitesse	

Identification en boucle ouverte :

L'essai a consisté à envoyer une consigne de vitesse en entrée du variateur de vitesse en ayant au préalable modifié les réglages pour supprimer les rampes.

Le calculateur a permis d'enregistrer le comportement en vitesse du moteur et a fourni un fichier de points permettant de tracer la courbe $N_m = f(t)$ en réponse à un échelon de consigne S de 30 tr/min (document réponse DR2). **Le relevé fait apparaître un retard pur T_r dont on ne tiendra pas compte.**

Q35 Identifier le gain statique H_{i0} et la constante de temps τ_i de la fonction de transfert

$$H_{mi(p)} = \frac{N_{m(p)}}{S(p)}$$

en faisant apparaître les tracés nécessaires à l'identification des paramètres sur le document réponse DR2.

Q36 Calculer la valeur numérique $k_r = k_i \cdot k_t$. Choisir les coefficients k_{cons} et k_{cod} de la Figure 19 pour obtenir la forme de Figure 20.

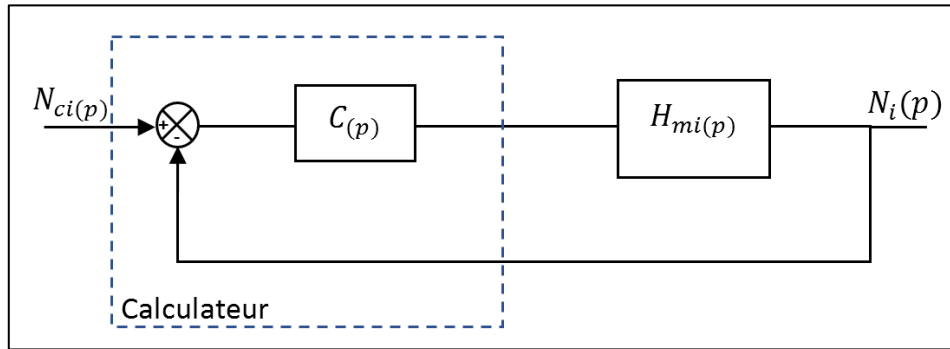


Figure 20 : schéma simplifié de l'asservissement

Pour la suite de cette partie, on prendra $H_{mi}(p) = \frac{1}{1+\frac{p}{4}}$

Correcteur proportionnel $C(p) = k_p$

Pour éviter la saturation du signal de commande variateur, la valeur de k_p est fixée à 10.

Q37 Exprimer la fonction de transfert Boucle Ouverte $H_{BO}(p)$ et calculer la valeur numérique ε_s de l'erreur en réponse à une entrée échelon unitaire (erreur statique).

Q38 Exprimer la fonction de transfert Boucle Fermée $H_{BF}(p)$ sous la forme $\frac{H_{iBF}}{1+\tau_{iBF} \cdot p}$ et calculer la valeur numérique de ses paramètres. Conclure vis-à-vis du cahier des charges sur la nécessité d'un correcteur proportionnel intégral.

Correcteur proportionnel intégral $C(p) = k_p + \frac{k_i}{p}$

Q39 Montrer que la fonction de transfert du correcteur $C(p)$ prend la forme $C(p) = k_c \cdot \left(\frac{1+\tau_c p}{\tau_c p}\right)$ et exprimer les coefficients k_c et τ_c en fonction de k_p et k_i .

Q40 Tracer sur votre copie l'allure du gain et de la phase (diagramme asymptotique de Bode) de ce correcteur.

Le réglage du correcteur $C(p)$ est conduit par la méthode de compensation de la constante de temps dominante du système, soit $\tau_c = \tau_i = \frac{1}{4}$.

Q41 Exprimer la fonction de transfert Boucle Ouverte corrigée $H_{BOc}(p)$ et montrer qu'elle prend la forme $H_{BOc}(p) = \frac{k_i}{p}$. Donner la valeur de k_i si $k_p = 10$ et indiquer son unité dans le système international (SI). Conclure sur la stabilité du système et donner la valeur de la marge de phase m_φ .

Q42 Calculer la valeur de l'erreur statique ε_s en réponse à un échelon unitaire avec ce correcteur. Calculer la valeur du temps de réponse $t_{r5\%}$ du système corrigé. Conclure sur le respect du cahier des charges.

Programmation du correcteur numérique implémentant $C_{(p)} = k_p + \frac{k_i}{p} = \frac{S(p)}{\varepsilon(p)}$

Le traitement numérique des informations dans le ordinateur est réalisé avec une période d'échantillonnage que l'on considèrera très petite devant les constantes de temps du système.

Q43 Exprimer l'équation différentielle de $s(t)$ (sortie du correcteur) en fonction de $\varepsilon(t)$ (écart en sortie du comparateur), k_p et k_i .

On considère que l'expression $\frac{s_k - s_{k-1}}{T_e}$ est une expression numérique approchée de la dérivée $\frac{ds(t)}{dt}$ à l'instant T_e .

Q44 En déduire l'équation de récurrence du correcteur $C_{(p)}$, la mettre sous la forme $s_k = s_{k-1} + A \cdot \varepsilon_k + B \cdot \varepsilon_{k-1}$ en précisant les expressions des coefficients A et B .

Synchronisation des mouvements d'incidence et de chariotage (Figure 21)

Le point de focalisation h est réglé par le manipulateur radio. Pour maintenir le point de focalisation dans l'axe du tube à rayons X, le déplacement du chariot $d_c(t)$ (mouvement de chariotage) doit être synchronisé avec $\alpha(t)$ position angulaire de la colonne (mouvement d'incidence).

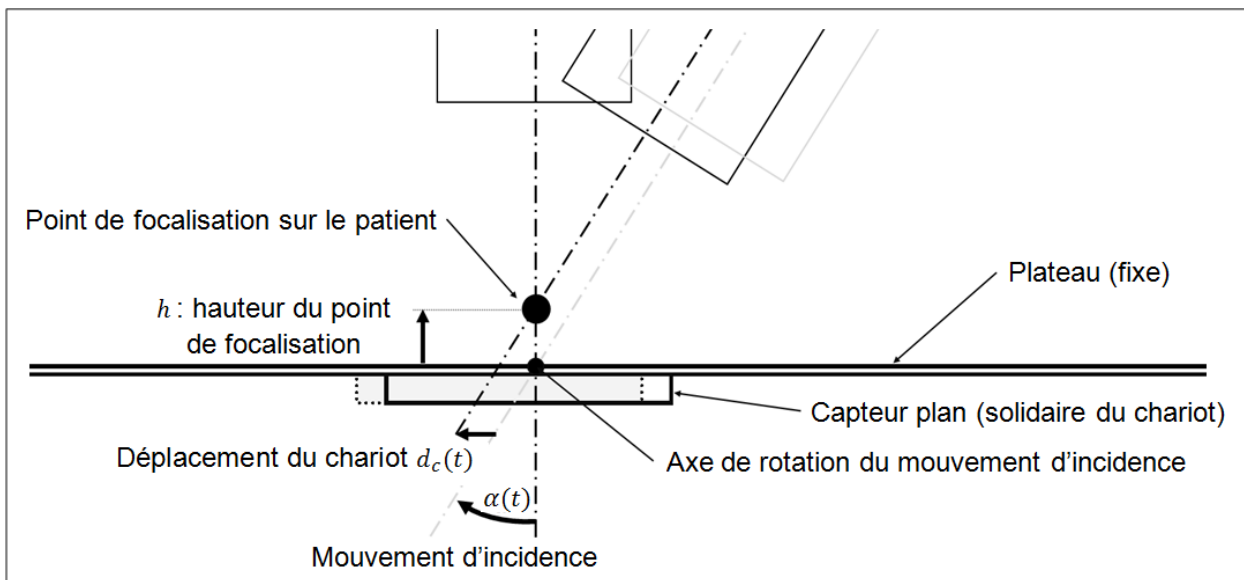


Figure 21 : paramétrage de la synchronisation

Q45 Exprimer la relation entre $h, d_c(t)$ et $\alpha(t)$, puis en déduire que la vitesse $V_c(t)$ du mouvement de chariotage s'exprime sous la forme $V_c(t) = h \cdot \frac{\dot{\alpha}(t)}{\cos^2 \alpha(t)}$

Q46 Compléter les cases grisées et encadrées sur le document réponse DR3.

Une simulation a été réalisée afin de valider les réglages des mouvements d'incidence et de chariotage.

Conditions de simulation : L'opérateur radio règle la hauteur de focalisation à 12 cm. Il prépositionne l'incidence à -35° afin d'effectuer un balayage de 70° en 4 secondes. La consigne de vitesse ($17,5^\circ/s$) comporte une rampe de 0,1 s.

Q47 À partir des Figures 22, 23, 24 et 25, commenter les résultats au regard du cahier des charges sur les critères de position et de vitesse de l'incidence en tomosynthèse. Donner une explication à la forme de la courbe de vitesse $V_c(t)$ du mouvement de chariotage.

Vitesse angulaire $\dot{\alpha}(t)$

Mouvement d'incidence

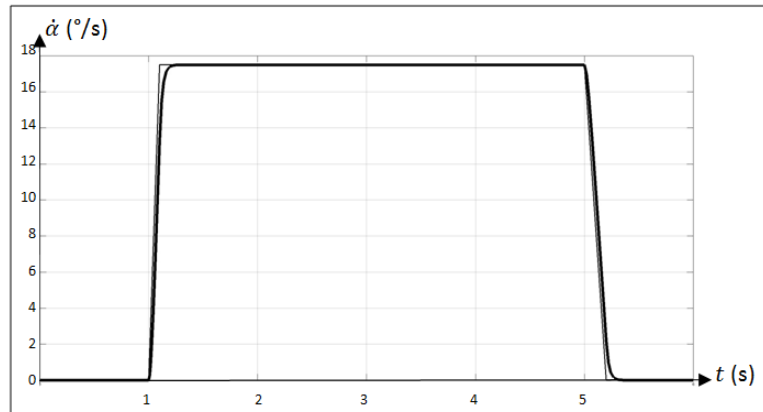


Figure 22 : vitesse angulaire $\dot{\alpha}(t)$

Position angulaire $\alpha(t)$

Mouvement d'incidence

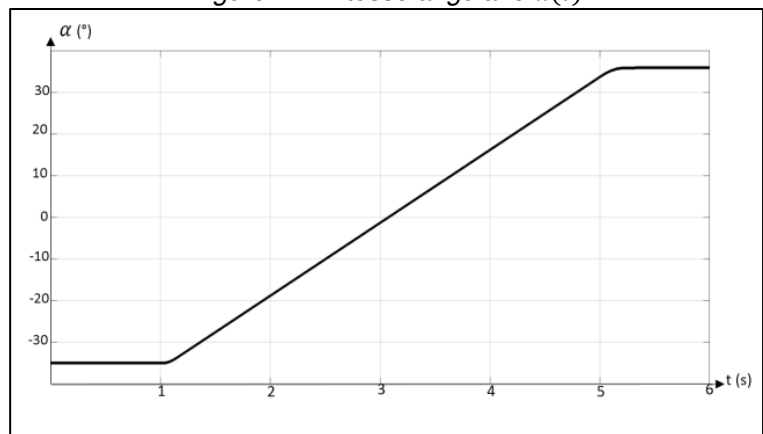


Figure 23 : position angulaire $\alpha(t)$

Vitesse $V_c(t)$

Mouvement de chariotage

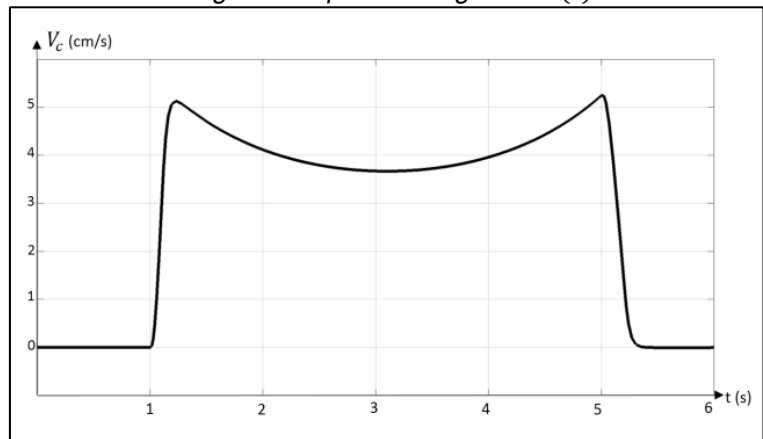


Figure 24 : vitesse $V_c(t)$

Position $d_c(t)$

Mouvement de chariotage

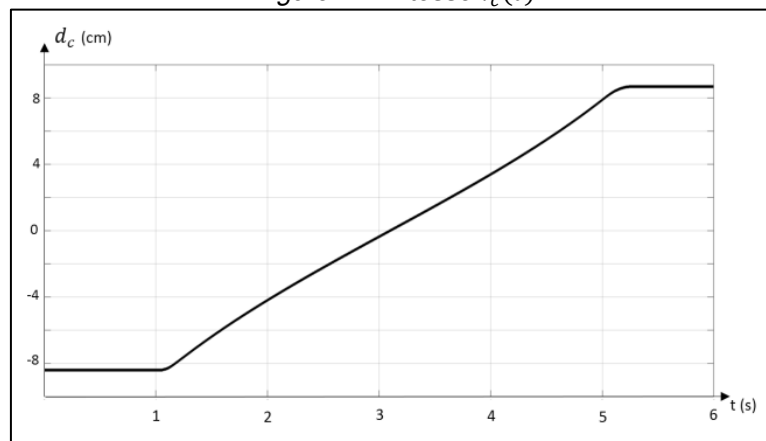


Figure 25 : position $d_c(t)$

Partie VI : qualification des circuits de traitement des images en tomosynthèse

Problématique

L'électronique de traitement de l'information issue du capteur plan est-elle adaptée à une utilisation en tomosynthèse ?

Objectif : vérifier que le circuit de traitement numérique des images associé au capteur plan est compatible avec la vitesse d'acquisition attendue des images radiographiques.

Extrait du cahier des charges :

Exigence	Critère	Niveau
Vitesse d'acquisition images radiographiques	Nb de clichés /s	10

Chaîne de traitement de l'information :

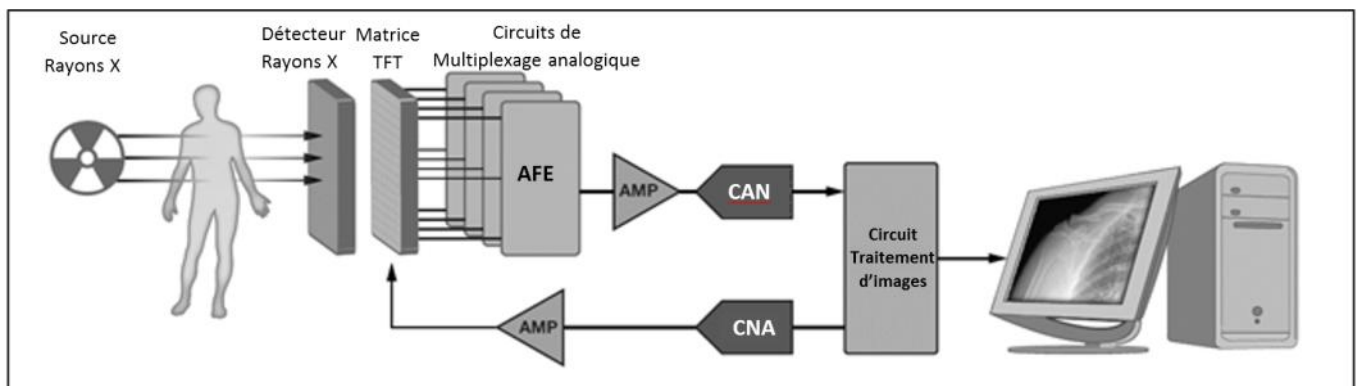


Figure 26 : chaîne de traitement de l'information

Les circuits **AFE** (AFE0064) de multiplexage analogique réalisent la conversion charge électrique – tension, les fonctions d'échantillonnage, et le multiplexage vers les circuits CAN.

Des circuits **CAN** (Convertisseur Analogique Numérique) convertissent chaque pixel en une information numérique codée sur 14 bits.

Un circuit **FPGA** a pour fonction le traitement d'images, la communication avec l'opérateur radio et l'affichage. Il gère également la chaîne de polarisation du réseau TFT du capteur plan.

Etude du Convertisseur Analogique Numérique (CAN) à Approximations Successives (SAR)

Principe du convertisseur

La technologie SAR est fondée sur deux composants : un Convertisseur Numérique Analogique et un Comparateur. Elle intègre un algorithme de recherche numérique. L'architecture de base est décrite Figure 27.

La tension d'entrée analogique V_{in} à convertir traverse un échantillonneur bloqueur et est comparée à la tension V_{co} , issue du convertisseur numérique analogique.

Pour mettre en œuvre l'algorithme de recherche binaire, le registre 14-bits est d'abord réglé sur l'échelle médiane pour forcer la sortie V_{co} du CNA à $V_{co} = \frac{V_{ref}}{2}$, où V_{ref} est la tension de référence fournie au convertisseur.

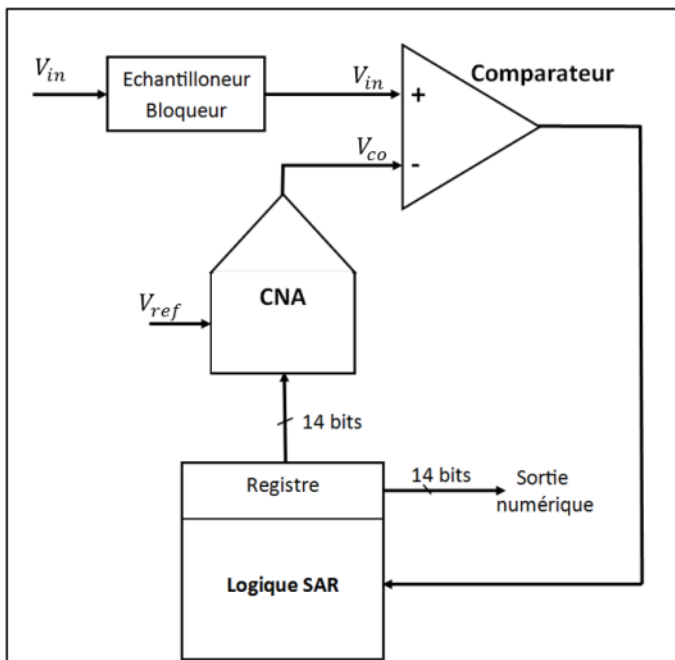


Figure 27 : architecture simplifiée CAN 14-bits

Algorithme de recherche :

Variables locales :

- i (entier)
- rco (mot 14 bits)

Début

$rco \leftarrow 00000000000000$

$i \leftarrow 0$

Tant que $i < 14$

$i \leftarrow i + 1$

initialiser le bit de poids $(14 - i)$ de rco à 1

envoyer rco au CNA

Si V_{in} est supérieure à V_{co}

Alors le bit de poids $(14 - i)$ de rco reste à 1

Sinon le bit de poids $(14 - i)$ de rco passe à 0

Fin tant que

Fin

Q48 Tracer l'allure du signal V_{co} sur le document réponse DR4 et donner le contenu du registre pour les 4 premières comparaisons sur le document réponse DR5 si $V_{in} = 1,678 V$ et $V_{ref} = 5 V$.

Le capteur plan Canon CXDO-50C fournit une image de 5,9 millions de pixels (2 208 lignes x 2 688 pixels).

42 circuits **AFE 64 entrées** (AFE0064) effectuent la conversion charge électrique – tension des pixels ligne par ligne, et le multiplexage vers 84 circuits CAN SAR. Les spécifications du circuit AFE0064 donnent un temps de transfert vers les circuits CAN SAR de 28,32 μs pour les 64 pixels de chaque circuit AFE (intégration comprise).

Le temps de conversion d'un pixel par le convertisseur CAN SAR est inférieur à 100 ns.

Q49 Calculer le nombre de pixels que traite un convertisseur CAN SAR à chaque lecture d'une ligne, le temps t_c de traitement d'une ligne et le temps total t_t d'acquisition d'une image. Vérifier la compatibilité avec le cahier des charges en tomosynthèse.

Partie VII : synthèse des études

- Q50** Justifier le choix de l'entreprise d'installer des transmissions à chaînes pour transmettre la puissance dans les différents mouvements de la table de radiologie D²RS.
- Q51** À partir des études menées pour répondre à la problématique générale, inventorier les problèmes techniques à régler pour permettre la mise en œuvre de la nouvelle fonction de tomosynthèse que l'entreprise STEPHANIX souhaite implanter sur sa table D²RS. Préciser les exigences associées (Figure 5 et tableau 1) ainsi que les éléments de réponses apportées.

ANNEXES

Annexe 1 :

- schéma de principe de la motorisation du mouvement d'incidence de la colonne et du tube à rayons X ;
- détails de la cinématique associée au mouvement d'incidence de la colonne et du tube à rayons X.

Annexe 2 :

- modèle numérique du sous ensemble colonne/motoréducteur et valeurs des inerties associées.

Annexe 3 :

- extrait du catalogue moteur Bonfiglioli.

Annexe 4 :

- vocabulaire essentiel associé à une chaîne de transmission ;
- modèle et notation utilisés.

Annexe 1

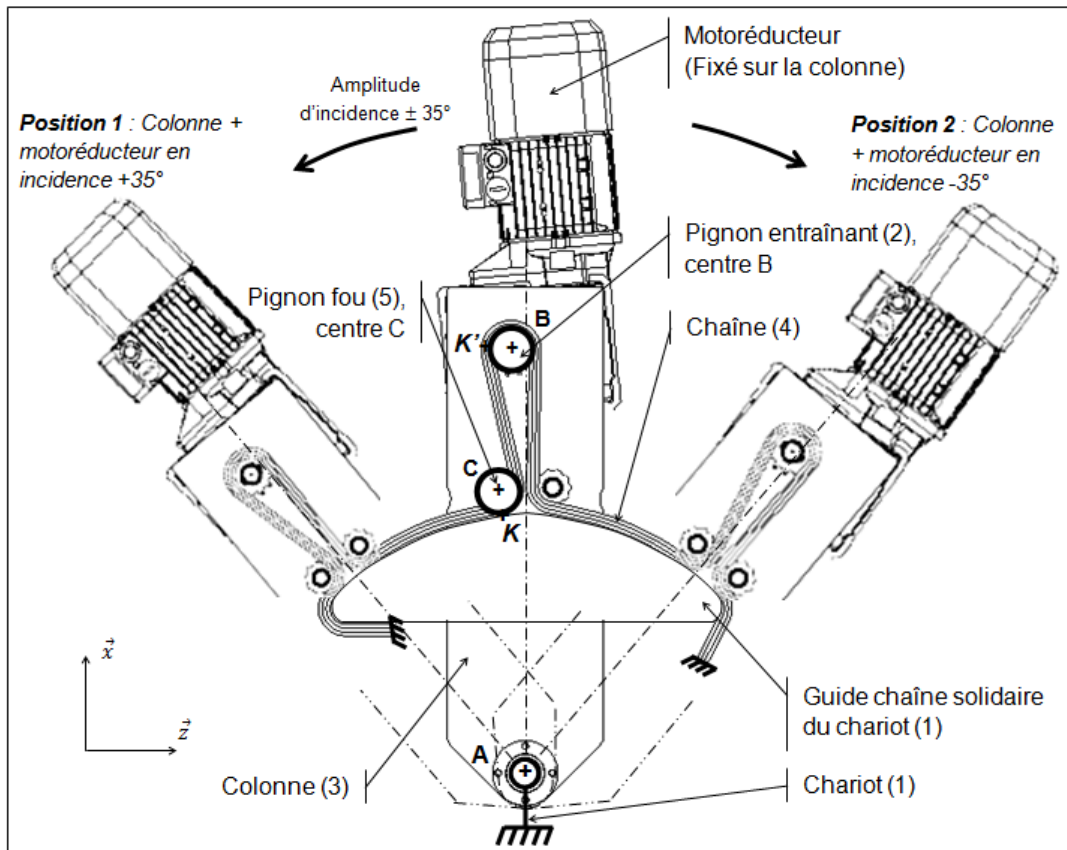


Figure 28 : schéma de principe de la motorisation du mouvement d'incidence de la colonne et du tube à rayons X (non représenté)

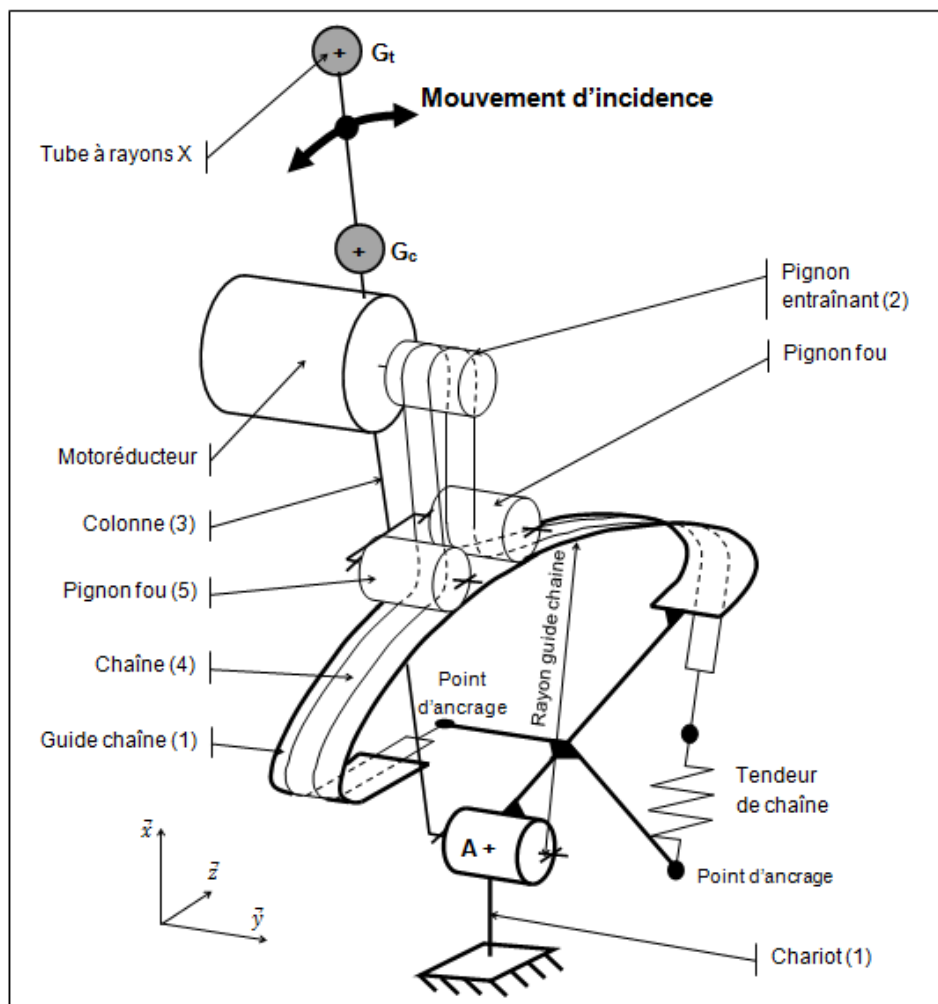
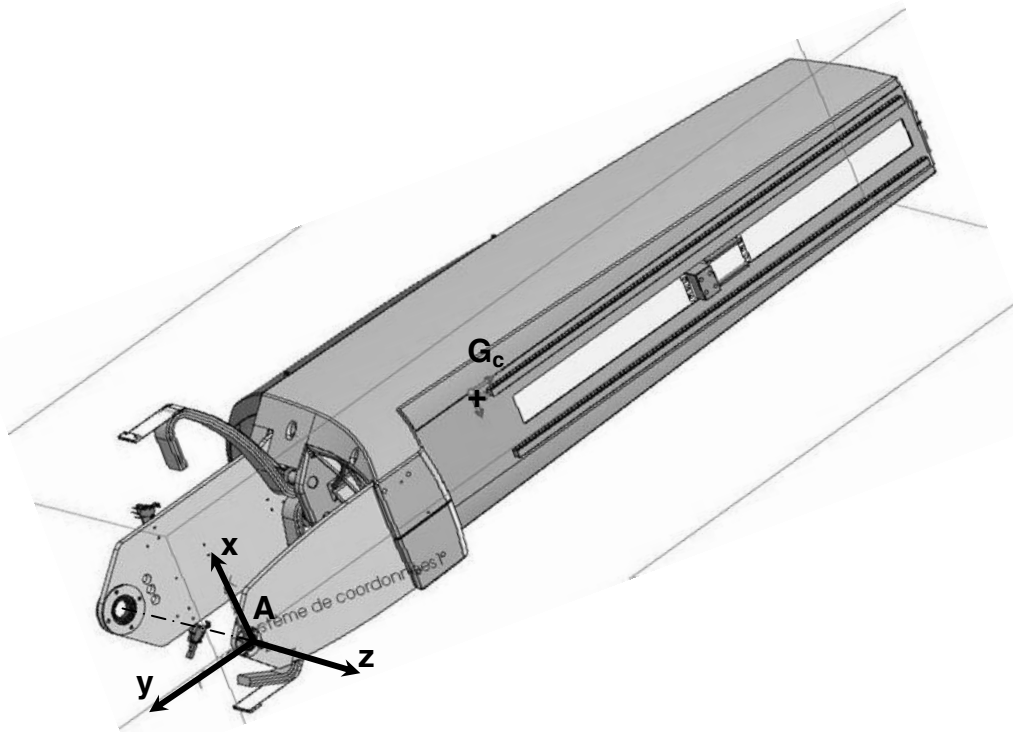


Figure 29 : détails de la cinématique associée au mouvement d'incidence de la colonne et du tube à rayons X

Annexe 2



Indiquer les valeurs de coordonnées relatives à : Système de coordonnées

Masse = 98097.50 grammes

Centre de gravité : (millimètres)

$$X = -4,53$$

$$Y = -704,02$$

$$Z = -267,85$$

Principaux axes et moments d'inertie : (grammes * millimètres carrés)

Pris au centre de gravité.

$$I_x = (-0.00, -1.00, -0.00) \quad P_x = 1501146606.61$$

$$I_y = (-0.01, -0.00, 1.00) \quad P_x = 14782967367.04$$

$$I_z = (-1.00, 0.00, -0.01) \quad P_z = 15538491977.39$$

Moments d'inertie : (grammes * millimètres carrés)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

$$L_{xx} = 15538315278.09 \quad L_{xy} = 44021336.80 \quad L_{xz} = -5211578.15$$

$$L_{yx} = 44021336.80 \quad L_{yy} = 1501565793.4 \quad L_{yz} = 61121946.58$$

$$L_{zx} = -5211578.15 \quad L_{zy} = 61121946.58 \quad L_{zz} = 14782724879.59$$

Moments d'inertie : (grammes * millimètres carrés)

Pris au système de coordonnées de sortie.

$$I_{xx} = 71198146629.60 \quad I_{xy} = 356698656.36 \quad I_{xz} = 113749794.59$$

$$I_{yx} = 356698656.36 \quad I_{yy} = 8541593880.94 \quad I_{yz} = 18559802151.83$$

$$I_{zx} = 113749794.59 \quad I_{zy} = 18559802151.83 \quad I_{zz} = 63406549676.16$$

Figure 30 : modèle numérique du sous ensemble colonne/motoréducteur et valeurs des inerties associées

Annexe 3

4P

1500 min⁻¹ - S1



P _n kW		n min ⁻¹	M _n Nm	IE1	η	η	η	cosφ	I _n 400V A	I _s I _n	M _s M _n	M _a M _n	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 	
					(100%) %	(75%) %	(50%) %								
0.09	M 0B	4	1350	0.64	○	51.7	47.6	42.9	0.60	0.42	2.6	2.5	2.4	1.5	2.9
0.12	M 05A	4	1350	0.85	○	59.8	56.2	47.0	0.62	0.47	2.6	1.9	1.8	2.0	3.2
0.18	M 05B	4	1320	1.30	○	54.8	52.9	52.5	0.67	0.71	2.6	2.2	2.0	2.3	3.6
0.25	M 05C	4	1340	1.78	○	65.3	65.0	57.9	0.69	0.80	2.7	2.1	1.9	3.3	4.8
0.37	M 1SD	4	1370	2.6	○	66.8	66.7	63.0	0.76	1.05	3.7	2.0	1.9	6.9	5.5
0.55	M 1LA	4	1380	3.8	○	69.0	68.9	68.8	0.74	1.55	4.1	2.3	2.3	9.1	6.9
0.75	M 2SA	4	1400	5.1	●	75.0	74.5	69.3	0.78	1.85	4.9	2.7	2.5	20	9.2
1.1	M 2SB	4	1400	7.5	●	76.4	76.2	70.4	0.78	2.66	5.1	2.8	2.5	25	10.6
1.5	M 3SA	4	1410	10.2	●	79.6	80.5	79.3	0.77	3.5	4.6	2.1	2.1	34	15.5
2.2	M 3LA	4	1410	14.9	●	81.1	81.4	79.9	0.75	5.2	4.5	2.2	2.0	40	17

Figure 31 : extrait du catalogue moteur Bonfiglioli

Avec M_a : couple d'accélération moyen (Nm)

M_n : couple nominal (Nm)

M_s : couple de démarrage (Nm)

Annexe 4

Vocabulaire essentiel associé à une chaîne de transmission

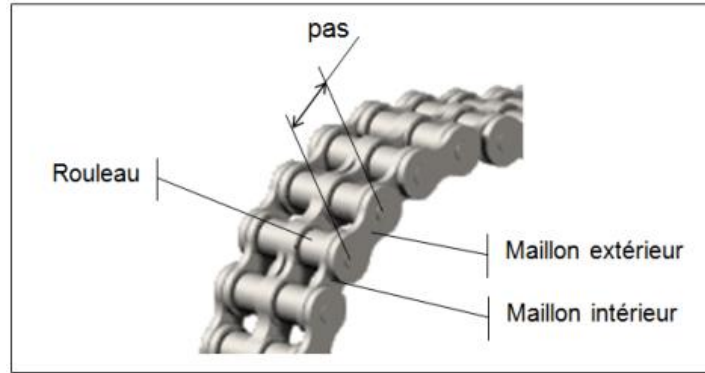


Figure 32 : chaîne de transmission double et vocabulaire associé

Les repères des différentes pièces prises en compte dans la suite de cette annexe, sont issus des Figure 28 et Figure 29 (Annexe 1).

Modèle et notation utilisés

- l'angle d'articulation α est défini entre les centres E et F de 2 creux de dents successifs ;

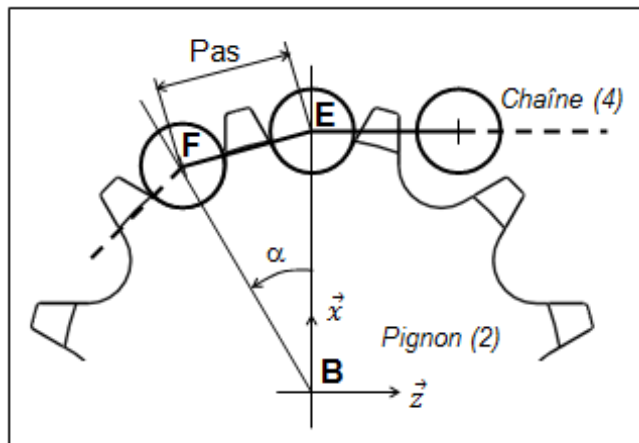


Figure 33 : schéma de principe du modèle chaîne-pignon étudié

- la chaîne (4) est représentée par ses articulations de centre E_k et F_k ($k = 0$ à n sur la Figure 34). Par souci de clarté, le nombre de dents du pignon (2) a volontairement été réduit.

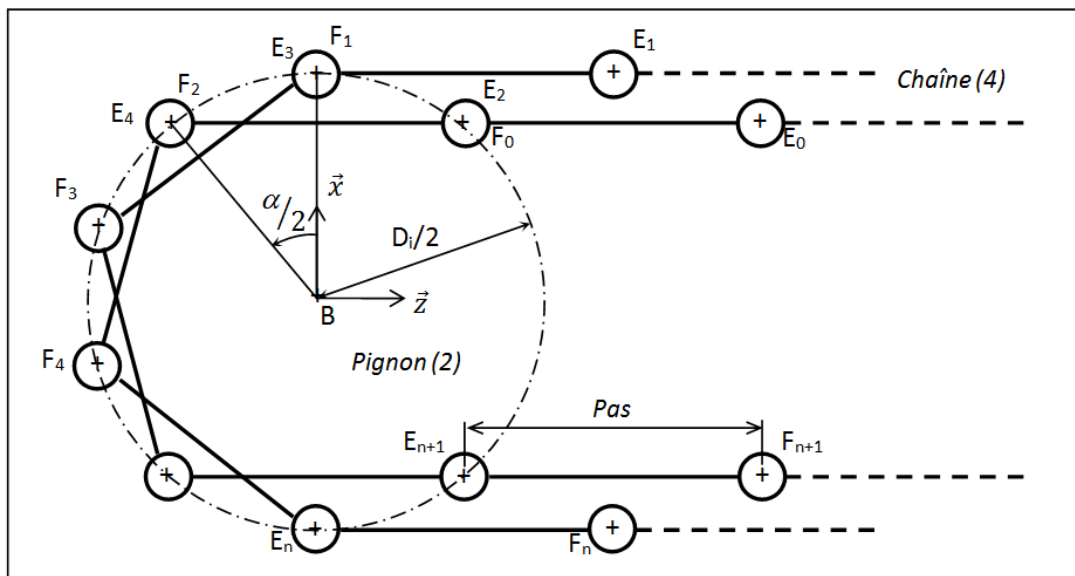


Figure 34 : principe du mouvement relatif de la chaîne sur le pignon

Avant de rejoindre la position actuellement occupée par E_4 , l'articulation E_2 va suivre une trajectoire définie par l'arc $E_2\widehat{E_3}E_4$. De la même manière et au même instant, E_0 suit la trajectoire définie par l'arc $E_0\widehat{E_1}E_2$, E_{n-1} suit la trajectoire définie par l'arc $E_{n-1}\widehat{E_n}E_{n+1}\dots$

- les paramètres du mouvement d'un centre F_0 d'une articulation de la chaîne sont donnés Figure 35.

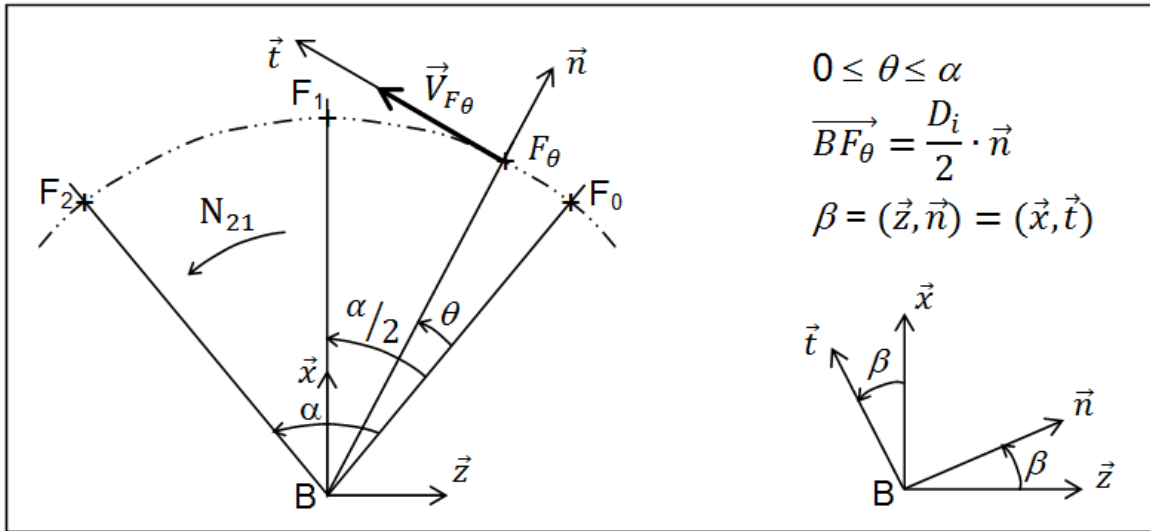


Figure 35 : paramétrage du mouvement du centre F_0

Le point F_θ correspondant au point F_0 ayant pivoté d'un angle θ dans son mouvement sur l'arc $F_0\widehat{F_1}F_2$.

- $\vec{V}_{F_\theta \in 4/1} = \vec{V}_{F_\theta} = V_{F_\theta} \cdot \vec{t}$ est le vecteur vitesse du point F_θ appartenant à la chaîne (4) dans son mouvement par rapport à l'ensemble fixe (1) et $V_{z_{F_\theta}}$ sa composante sur l'axe \vec{z} .
- $\vec{a}_{F_\theta \in 4/1} = \vec{a}_{F_\theta}$ est le vecteur accélération du point F_θ appartenant à la chaîne (4) dans son mouvement par rapport à l'ensemble fixe (1), $a_{z_{F_\theta}}$ sa composante sur l'axe \vec{z} et $a_{x_{F_\theta}}$ sa composante sur l'axe \vec{x} . On note $a_{F_\theta} = \|\vec{a}_{F_\theta}\|$.