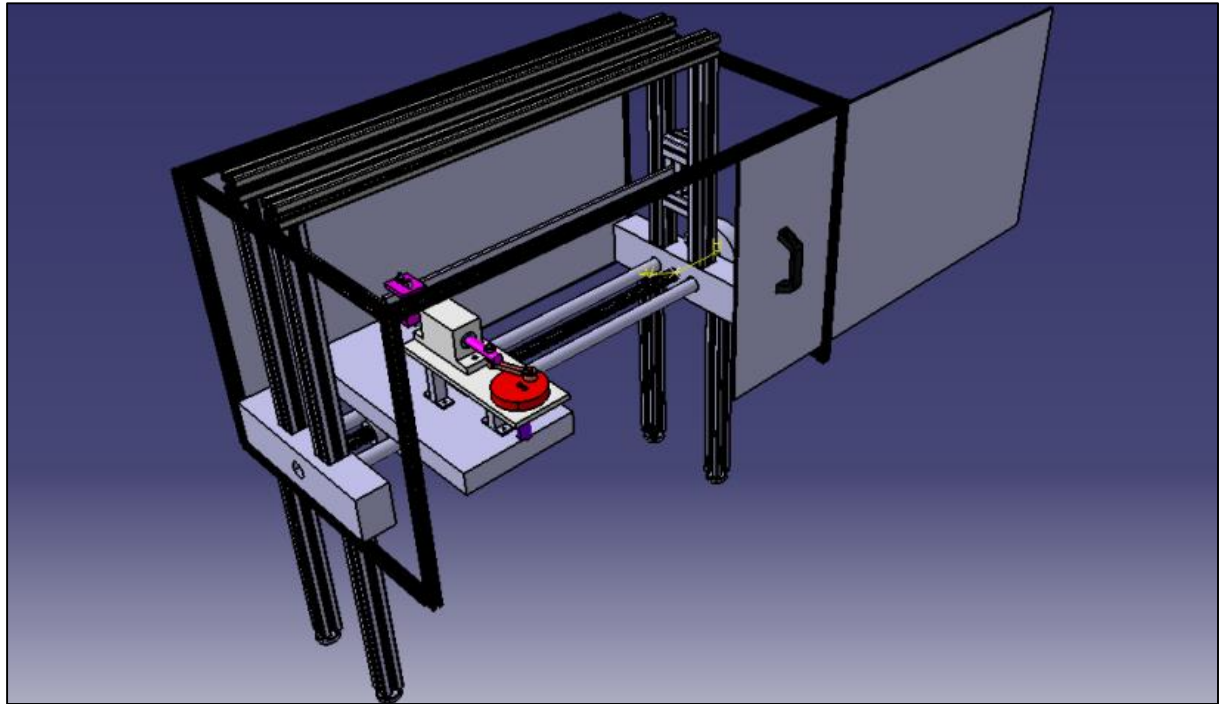


16/06/2020

## Livrable : Banc de flexion



Réalisé par : EZZIATI Nizar Chef de projet

LAZIZI Omar Responsable communication

CHEVALLIER Anouk

LAABID Naoufel

ZAOUI Fatima Zohra

FLOC'H Maël

Encadré par : M. PELT

M.HELBERT

M.BOURGEOT

M.CONTAL

Année universitaire : 2019-2020

## Remerciements

En préambule de ce rapport, nous souhaitons particulièrement adresser nos remerciements à toute l'équipe enseignante pour sa bienveillance, son soutien et son aide tout au long de ce semestre, si particulier.

Nous remercions M. Laurent PELT, responsable du module, pour ses conseils, son soutien et sa confiance tout au long du projet. Nous remercions aussi chaleureusement M. Guillaume HELBERT pour la partie mécanique vibratoire, M. Jean-Matthieu BOURGEOT pour la partie Contrôle/commande/acquisition de données/IHM, M. Erwan CONTAL pour la partie dimensionnement dynamique pour leur disponibilité, leur motivation, leur aide et leurs précieux conseils tout au long de ce projet.

## Sommaire:

<b>I.</b>	<b>Introduction :</b> .....	5
<b>I.1</b>	<b>Présentation du projet :</b> .....	5
<b>I.1.1</b>	<b>Equipe projet :</b> .....	5
<b>II.</b>	<b>Plan de travail et analyse des enjeux :</b> .....	6
<b>II.1</b>	<b>Plan de travail :</b> .....	6
<b>III.</b>	<b>Partie Analyse fonctionnelle :</b> .....	7
<b>III.1</b>	<b>Bêtes à cornes :</b> .....	7
<b>III.2</b>	<b>Digramme pieuvre :</b> .....	7
<b>III.2.1</b>	<b>Tableau fonction de services :</b> .....	8
<b>III.3</b>	<b>Planning répartitions des taches</b> .....	8
	<b>Partie mécanique</b> .....	9
<b>I.</b>	<b>Etude vibratoire :</b> .....	10
<b>I.1</b>	<b>Résolution analytique de problèmes vibratoires dans le cas d'une oscillation libre :</b> .....	10
<b>II.</b>	<b>Choix de l'orientation de la lame :</b> .....	16
<b>II.1</b>	<b>Solutions techniques pour la fixation de lame :</b> .....	17
<b>III.</b>	<b>Choix du système de transformation de mouvement :</b> .....	18
<b>IV.</b>	<b>Paramétrage cinématique de la transformation de mouvement :</b> .....	21
<b>IV.1</b>	<b>Equation du mouvement du système :</b> .....	22
<b>IV.2</b>	<b>Asservissement du moteur :</b> .....	24
<b>V.</b>	<b>Système de transformation du mouvement :</b> .....	26
<b>V.1</b>	<b>Bielle manivelle :</b> .....	26
<b>V.2</b>	<b>Description de la solution choisie :</b> .....	27
<b>V.3</b>	<b>Détail des éléments et leur montage</b> .....	27
<b>V.4</b>	<b>Fixation choix d'oscillation de lame :</b> .....	30
<b>VI.</b>	<b>Fixation du capteur sur la lame :</b> .....	31
<b>VI.1</b>	<b>Rappel du cahier des charges :</b> .....	31
<b>VI.2</b>	<b>1ere Solution :</b> .....	31
<b>VI.3</b>	<b>2eme Solution :</b> .....	32
<b>VI.4</b>	<b>3eme Solution :</b> .....	32
<b>VI.5</b>	<b>4eme Solution (Choisie) :</b> .....	33
<b>VII.</b>	<b>Conclusion de la partie mécanique :</b> .....	34
	<b>Partie Electronique</b> .....	35

<b>I. Contrôle/commande/IHM :</b>	36
<b>I.1 Synoptique général de contrôle/commande/IHM et schéma de câblage des sécurités et implémentation des capteurs :</b>	36
<b>I.2 Acquisition des données</b>	37
<b>I.2.1 Grandeur physique et choix de capteurs :</b>	37
<b>I.2.2 Architecture de la chaîne d'acquisition de données</b>	38
<b>II. L'Interface Homme Machine (IHM)</b>	38
<b>II.1 L'utilisation de l'IHM :</b>	38
<b>II.2 Acquisition des données :</b>	39
<b>II.2.1 Grandeur physique et choix de capteurs :</b>	39
<b>II.2.2 Architecture de la chaîne d'acquisition de données :</b>	39
<b>II.2.3 Acquisition des données de l'accéléromètre :</b>	39
<b>II.2.4 Approche de la caractéristique réelle du capteur et intégration :</b>	40
<b>III. Langages, architecture, librairies et bibliothèques et classes utilisées pour réaliser l'IHM :</b>	41
<b>III.1 Dialogue entre la carte d'acquisition et l'IHM :</b>	41
<b>III.1.1 Support de communication :</b>	41
<b>III.1.2 Information échangée entre l'IHM et la carte Nucleo :</b>	42
<b>III.1.3 IHM pour le lancement de l'acquisition</b>	43
<b>Annexe 1 : Cahier de charge global</b>	50
<b>Annexe 2 : Solutions techniques pour la fixation de la lame verticalement</b>	52
<b>Annexe 3 : Catalogue moteur à courant continu</b>	53
<b>Annexe 4 : Partie sécurité</b>	54
<b>Annexe 5 : Cage à aiguilles</b>	56
<b>Annexe 6 : catalogue douilles</b>	58

# I. Introduction :

Le Banc de flexion a été conçu pour les travaux pratiques de RDM et étude vibratoire pour des étudiants de l'ENIB. Le banc de flexion constitue l'élément de base pour une série d'expériences en résistance des matériaux. Ce banc permet l'étude de la relation entre l'effort appliqué et les déformations subies, d'une lame sollicitée en flexion.

Objectifs Pédagogiques :

Cet appareil permet entre autres :

- La détermination de la rigidité en flexion d'une poutre de différents matériaux
- La vérification de la théorie des poutres (contraintes, moment fléchissant, flèche maximale, déformée, etc.)
- La comparaison entre plusieurs poutres de moment quadratiques différent.
- Détermination de l'influence du moment d'inertie de flexion
- Détermination de l'influence du matériau (lame acier et alliage léger)
- Détermination de l'influence du dimensionnement de la lame.

## I.1 Présentation du projet :

L'objectif de ce projet est de développer un banc de flexion afin de vérifier de façon pratique les équations vues en cours.

Cet objectif sera réalisé en 2 étapes :

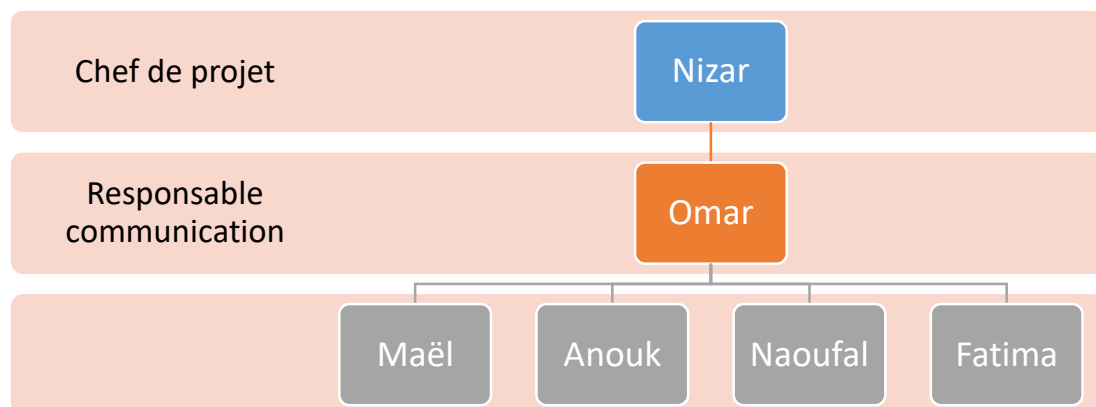
→ Dans un premier temps la lame de flexion pourra osciller librement.

→ Dans un second temps, la lame de flexion doit osciller de façon forcée grâce à un système d'excitation mécanique forcée

Des masses et des amortisseurs pourront être placés sur la lame afin de voir leur influence.

Pour réaliser ce projet nous adapterons un bâti déjà existant au sein de l'ENIB.

### I.1.1 Equipe projet :



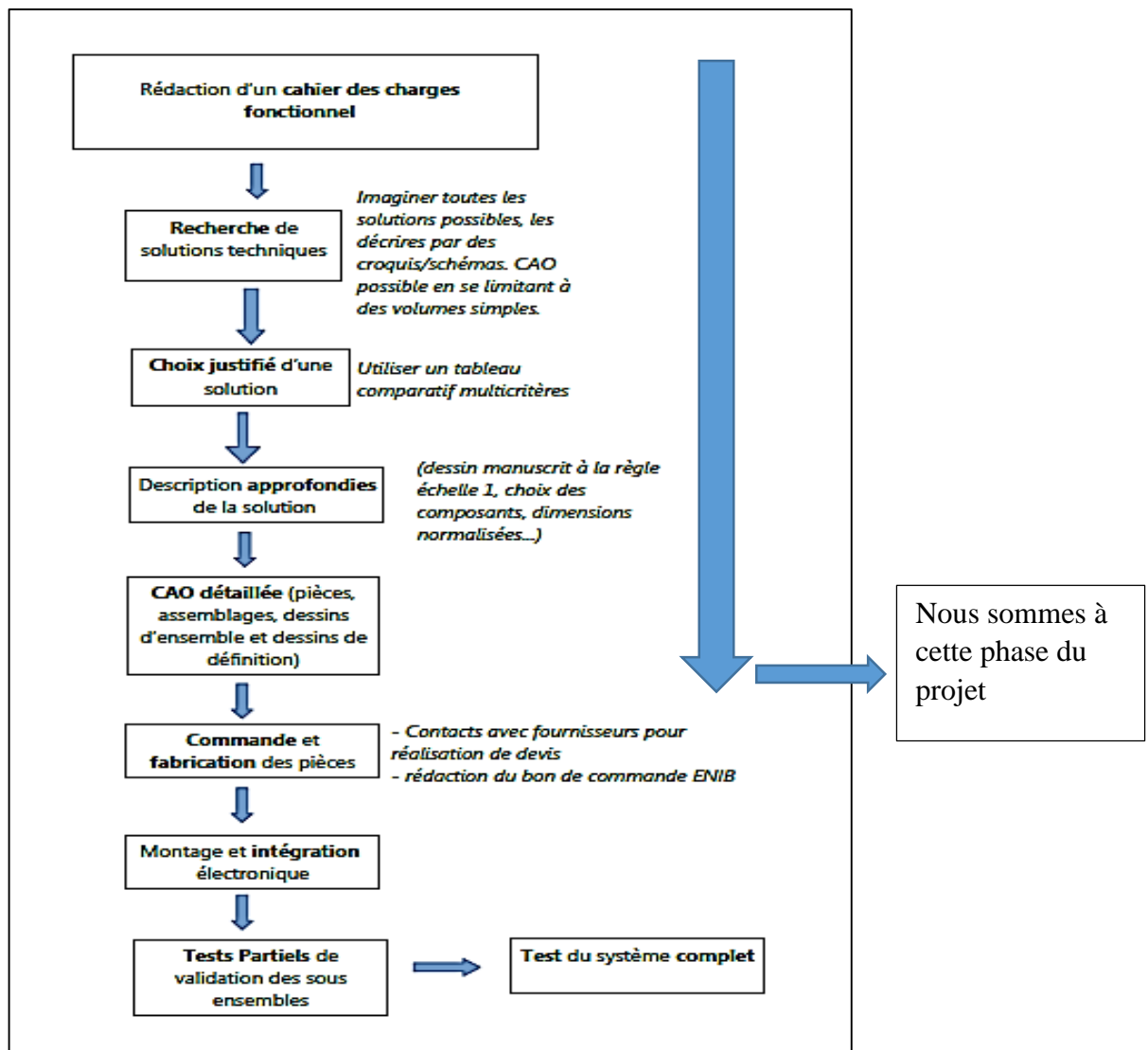
La répartition des sous-groupes est comme suit :

Prénom	Rôles	Responsable du groupe
Omar, Nizar et Naoufal	Partie Mécanique	Omar
Maël, Anouk et Fatima	Partie Électronique	Anouk

## II. Plan de travail et analyse des enjeux :

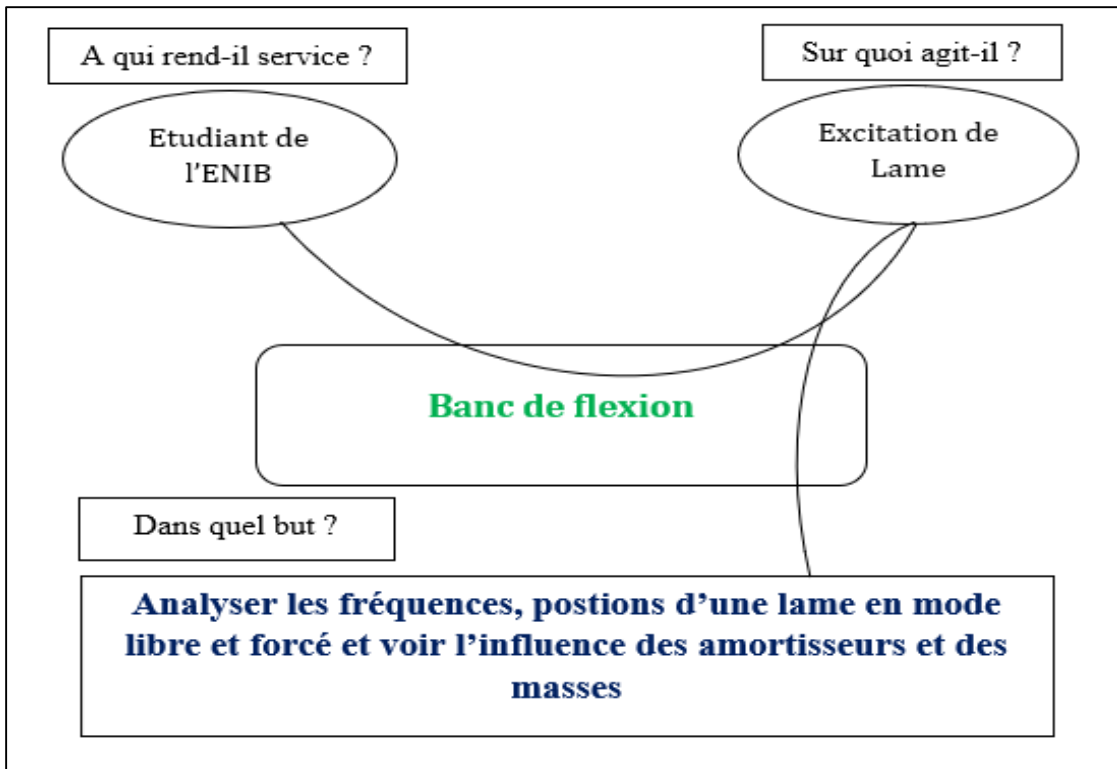
### II.1 Plan de travail :

Dans le but d'atteindre les objectifs, nous nous sommes basés pendant ce projet sur le plan de travail suivant :

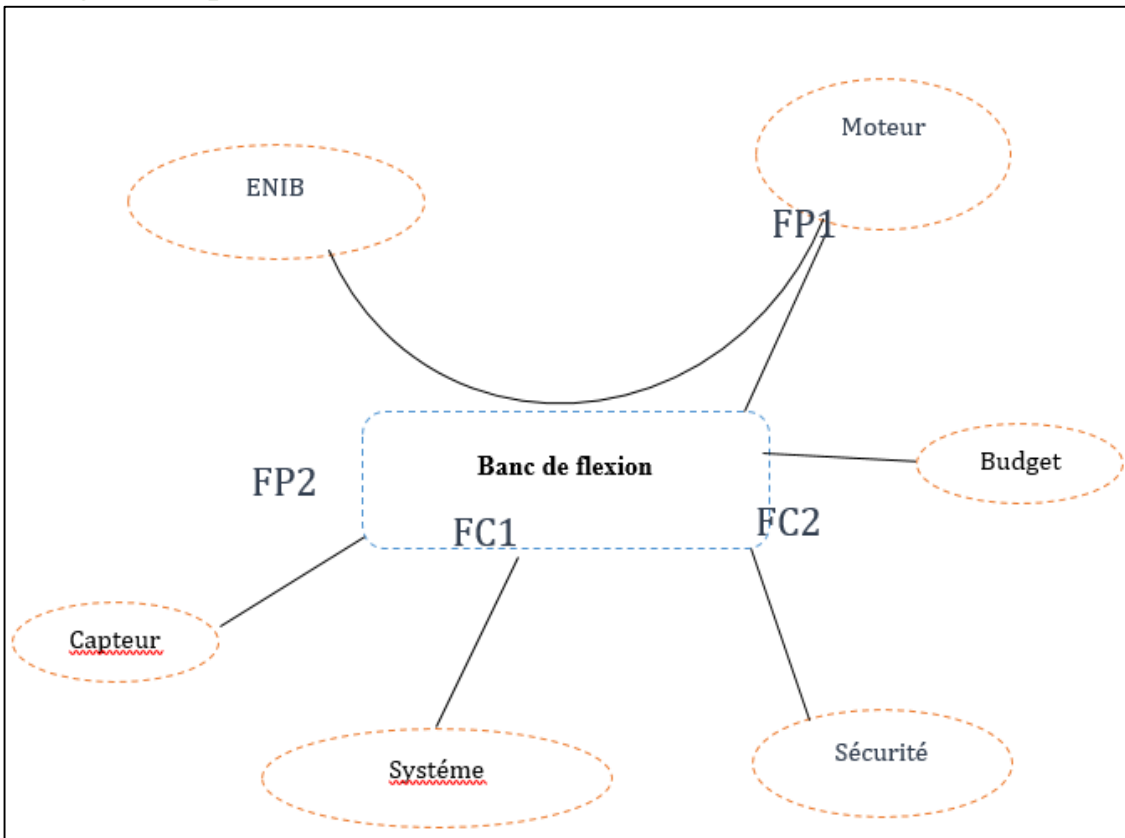


### III. Partie Analyse fonctionnelle :

#### III.1 Bêtes à cornes :



#### III.2 Digramme pieuvre :



### **III.2.1 Tableau fonction de services :**

FP1	Analyser les fréquences, positions d'une lame en mode libre et forcé et voir l'influence des amortisseurs et des masses
FP2	Permettre l'acquisition des données
FC1	Minimiser l'encombrement.
FC2	Respecter les normes de sécurité.
FC3	Respecter le budget

### **III.3 Planning répartitions des taches**

**Voir le planning en fichier joint.**



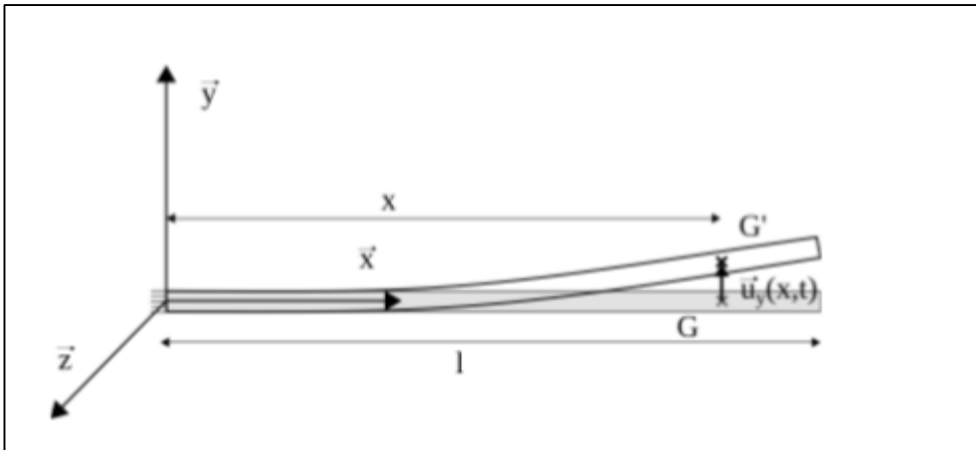


# Partie mécanique

# I. Etude vibratoire :

## I.1 Résolution analytique de problèmes vibratoires dans le cas d'une oscillation libre :

Dans cette partie nous allons déterminer les pulsations propres d'une lame à partir des équations analytiques vues en cours et utiliser le logiciel Scilab pour comparer ce qui est obtenu en numérique avec l'analytique dans une oscillation libre. L'étude portera sur une lame d'aluminium et acier avec la configuration suivante :



On considère la lame encastree à son extrémité gauche (\$x = 0\$) et libre à son extrémité droite (\$x = l\$) qui a une forme rectangulaire qui a pour effet d'opérer un déplacement transversal du point \$G\$ selon l'axe \$z\$ d'où \$u\_z(x,t)\$, nous avons adopté les même démarches vu en cours sur notre situation .

Les équations régissant la réponse dynamique de la poutre en flexion sont données par les équations suivantes :

$$\mu_y + \frac{dM_{fy}}{dx} - T_z = -\rho I_y \frac{\partial (\partial^2 u_z / \partial t^2)}{\partial x} \tag{Equation 1}$$

$$\frac{dT_z}{dx} + f_z = \rho S \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} \tag{Equation 2}$$

Le comportement du matériau est supposé élastique donné par la relation suivante :

$$\frac{M_{fy}}{I_y} = E \frac{\partial u_z}{\partial x^2} \tag{Equation 3}$$

Avec E le module d'élasticité.  $I_y$  est le moment quadratique par rapport à (Gy).

La combinaison des équations 1, 2 et 3 donne l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\partial^4 u_z}{\partial x^4}(x, t) = -\frac{\rho S}{EI_y} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}(x, t)$$

Il nous reste à résoudre l'équation différentielle, nous cherchons une solution à cette équation de la forme :

$$u_z(x, t) = \varphi(x) \cos(\omega t)$$

Résolution de l'équation différentielle il reste à déterminer les 5 constantes  $\omega$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_4$ , à partir des conditions initiales et des conditions aux limites.

$$u_z(x, t) = \left( C_1 \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} x \right) + C_2 \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} x \right) + C_3 \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} x \right) + C_4 \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} x \right) \right) \cos(\omega t)$$

La condition d'encastrement en  $x = 0$  permet d'écrire :  $u_z(x = 0, t) = 0, \forall t$

Ce qui induit :

$$C_1 + C_3 = 0$$

Ainsi que :  $\frac{\partial u_z(x=0, t)}{\partial x} = 0$  à ,  $\forall t$

Ce qui induit :

$$C_2 + C_4 = 0$$

L'extrémité opposée étant libre, on peut écrire :  $T_z(x = l, t) = 0, \forall t$

$$\frac{\partial^3 u_z}{\partial x^3}(x = l, t) = 0 \quad \text{Equation 4}$$

Et donc,

$$C_1 \left( \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) - \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) - C_2 \left( \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) = 0 \quad \text{Equation 5}$$

Ainsi que :

$$M_f(x = l, t) = 0, \forall t$$

Equation 6

La loi de comportement implique donc que :

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2}(x = l, t) = 0 \quad \forall t \quad \text{Equation 7}$$

D'ou

$$C_1 \left( \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) + C_2 \left( \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) = 0 \quad \text{Equation 8}$$

Les équations 5 et 8 peuvent être écrites sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) - \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) & - \left( \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) \\ \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) & \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Les solutions imposent donc :

$$\begin{aligned} & \left( \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) - \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) \left( \sin \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{sh} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) \\ & + \left( \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) \left( \cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) + \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \right) \\ & = 0 \end{aligned}$$

Soit

$$\cos \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) \operatorname{ch} \left( \sqrt[4]{\omega^2 \frac{\rho S}{EI_z}} l \right) = -1$$

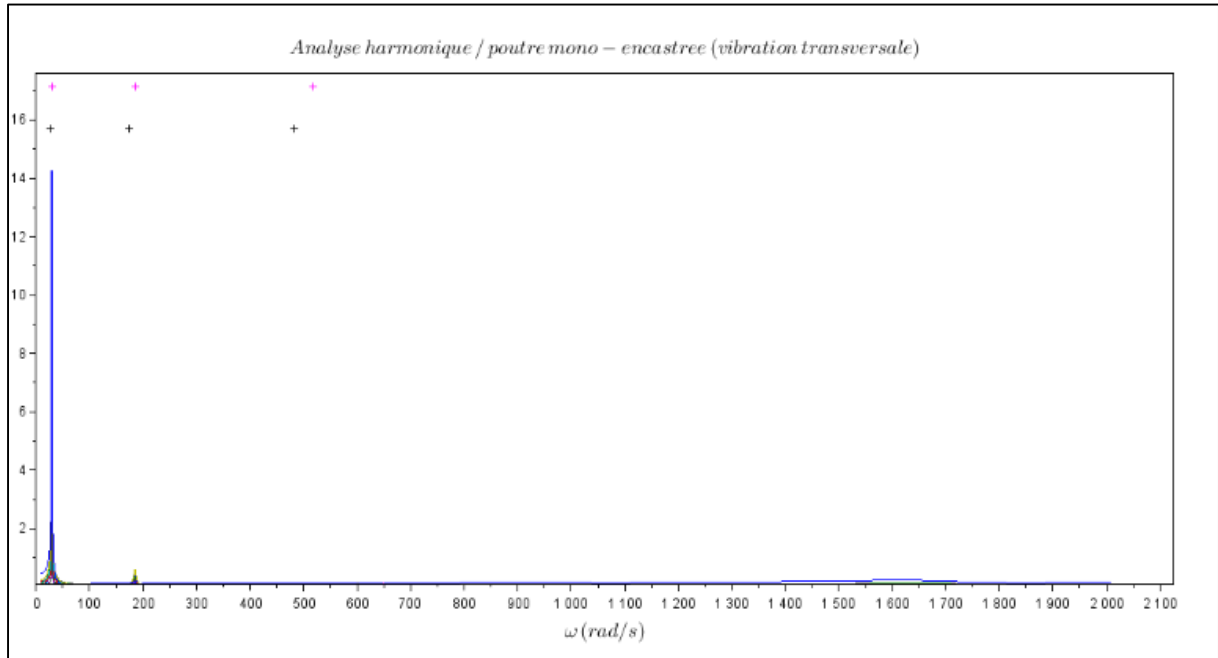
Il reste à déterminer les pulsations propres satisfaisant l'équation précédente et à en déduire les modes propres, fonctions des conditions initiales. Soit, pour  $k \in \mathbb{N}$ ,  $k \geq 2$ ,

$$\omega_k = \frac{((2k-1)\pi)^2}{4} \times \sqrt{\frac{EI_z}{ml^3}} \quad \text{Et } \omega_1 = 1.87^2 \times \sqrt{\frac{EI_z}{ml^3}}$$

## Simulation numérique :

En utilisant l'outil numérique (code SCILAB) fournis par M.HELBERT , Nous allons essayer de valider la partie théorique :

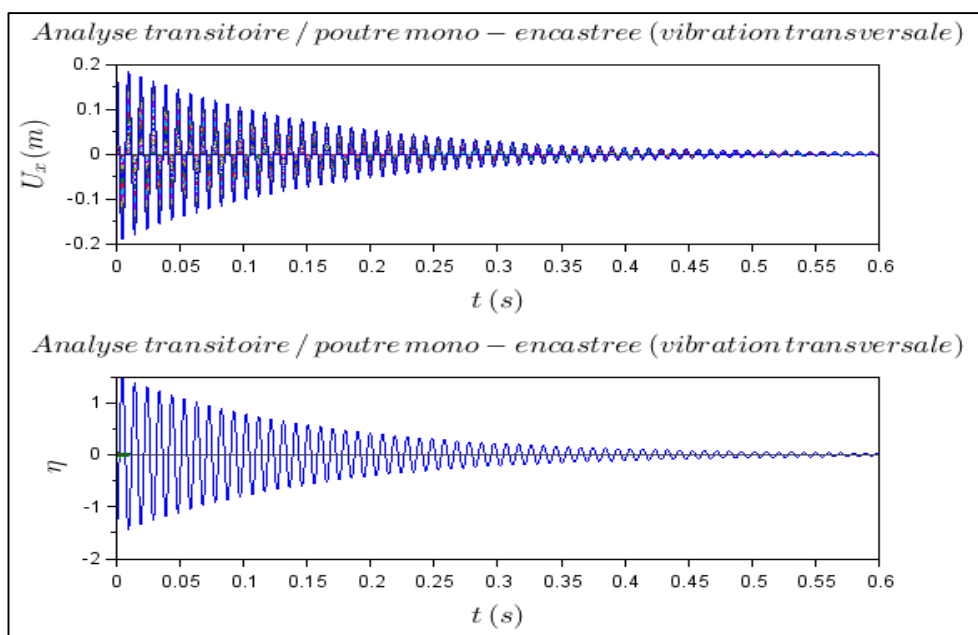
On considère une lame d'acier avec un effort appliqué à l'extrémité



### Pulsations Propres.

Nous avons un pic à 62 rad/s comme pulsation propre qui correspond bien à ce qui est trouvé analytiquement, et une amplitude de 14 qui correspond au déplacement du point où l'effort est appliqué.

Pour la courbe d'amortissement nous avons comme suite :

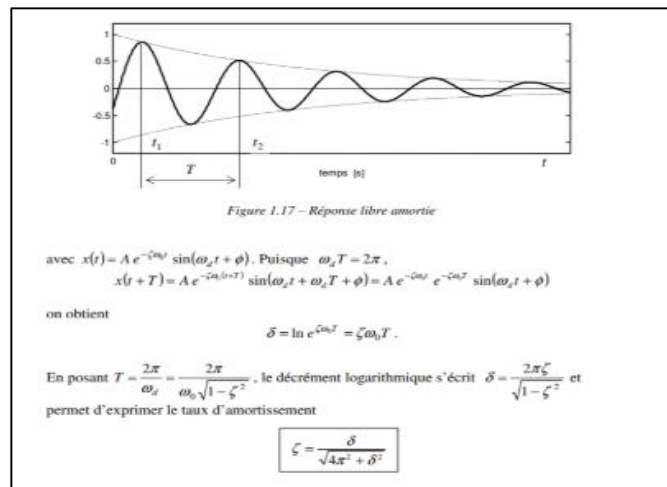


### Courbe des amortissements de la lame

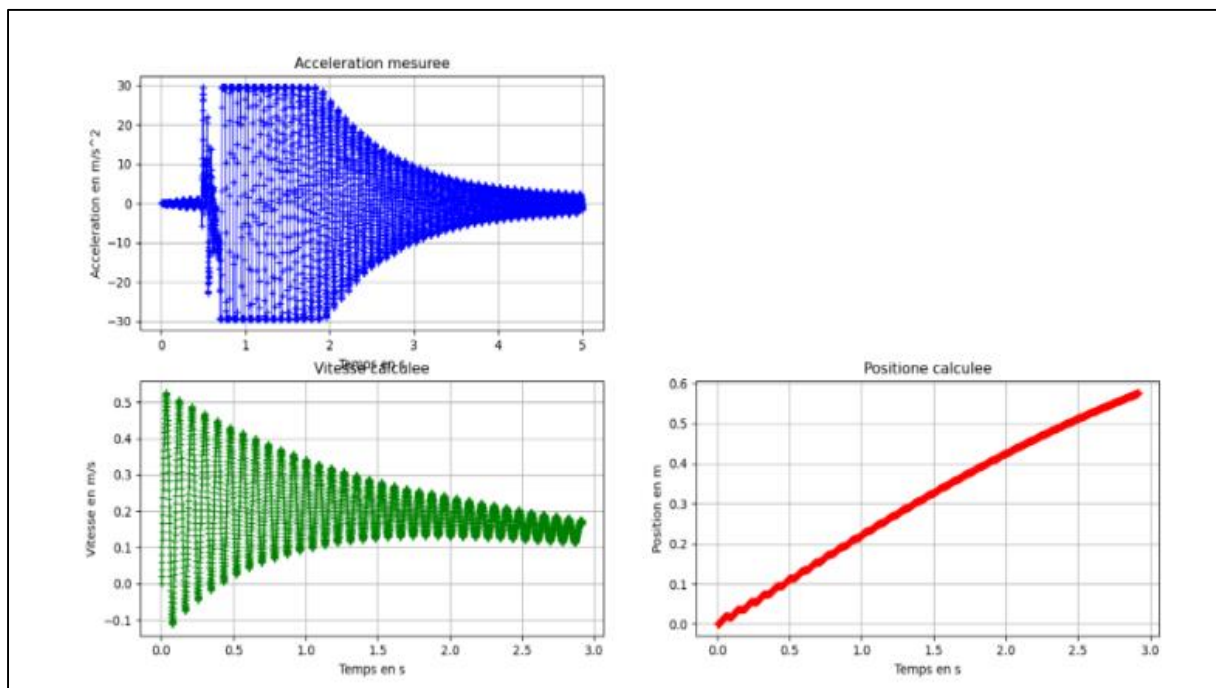
D'autre part nous avons fait d'autres essais sur un réglé qui a été utilisé expérimentalement dans la partie électronique pour faire l'IHM,

$E=200000000$  ; // module d'Young → A MODIFIER  
 $\rho=1400$ ; // masse volumique → A MODIFIER  
 // masse volumique → A MODIFIER  
 $D=0.002$  ;  
 $e=0.002$  // diamètre de la poutre → A MODIFIER (e et l)  
 $L=0.040$   
 $l=0.35$ ; // longueur de la poutre → A MODIFIER

Nous avons calculé le taux d'amortissement à partir des vitesses obtenus expérimentalement en utilisant la méthode suivante : On trouve  $\zeta = 0.01$

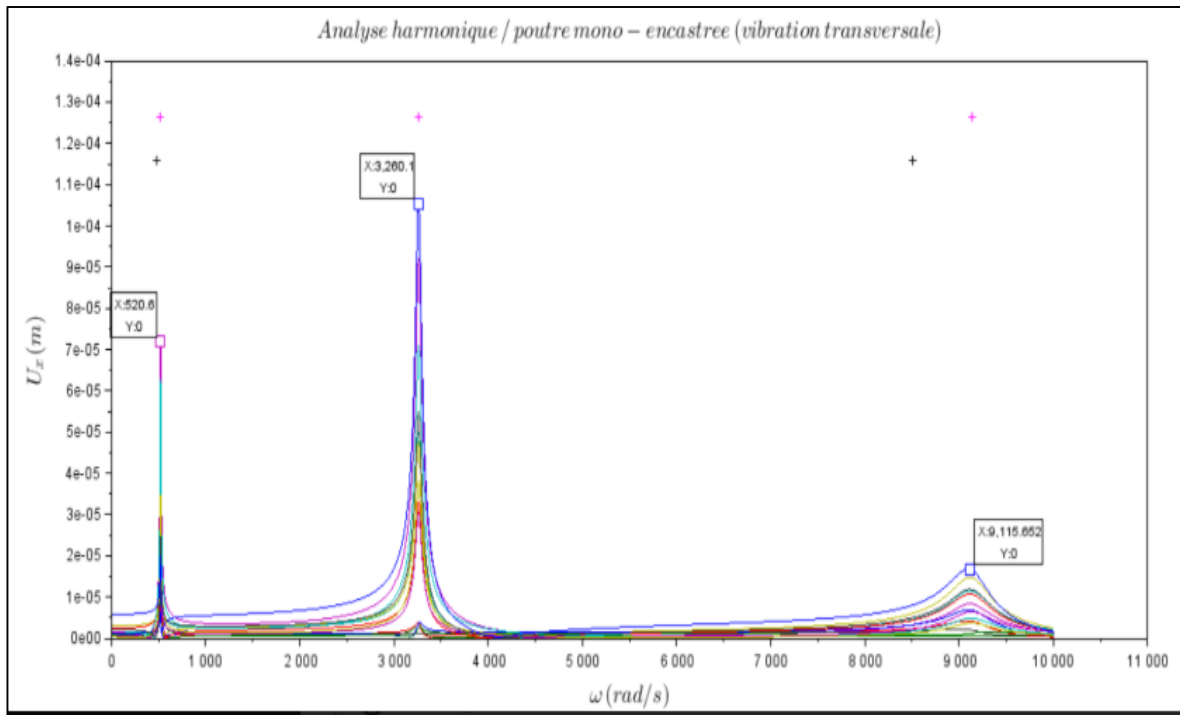


### Taux d'amortissement

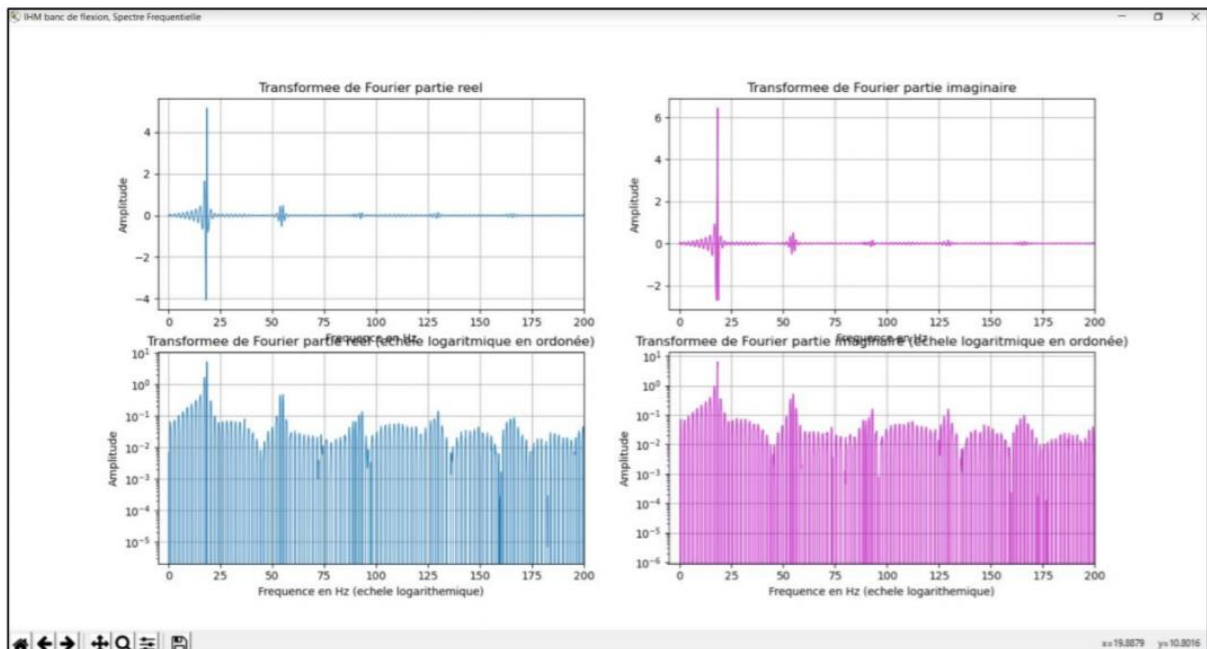


### Résultats Expérimentaux

Puis nous avons appliqué une force de 10 N pour un déplacement équivalent à celle appliqué au réglé nous avons obtenu les résultats suivants :



### Résultats numériques



### Résultats expérimentaux

La première fréquence propre numérique correspond à 82 HZ (520 rad/s)

La première fréquence propre expérimentale correspond à 20 HZ

Remarque :

Nous sommes devant plusieurs possibilités d'incertitudes :

- Paramètres du réglé numérique ne correspond pas à la réalité.
- L'effort appliqué différent de nos paramètres d'entrer.

Pour conclure, nous avons un outil numérique qui nous permet de valider les résultats expérimentaux et vice versa. Pour renforcer cette comparaison, nous aurons besoin des déformés modale expérimentaux et de révéfier la méthode d'obtention des pulsations propres expérimentaux pour qu'ils s'approchent au moins aux résultats analytiques

## II. Choix de l'orientation de la lame :

	Vibration horizontale	Impact	Vibration verticale	Impact
A V A N T A G E	-La gravité n'a aucune influence sur les mesures : Pas de réduction de la plage de la mesure l'accéléromètre.		- Faciliter la mise en place des amortisseurs.	
	-Pas d'effet de flambement.		- Faciliter l'installation du système d'excitation.	
I N C O N V E N I E	- Difficulté d'installation du système d'excitation.	4/5	- La gravité a une influence sur les mesures : réduction de la plage de la mesure l'accéléromètre.	5/5
	-Rajouter une structure pour la fixation de la lame.	2/5	- Effet de poids de la lame et la masse ponctuelle rajoute.	4/5
	- Risque plus important de blesser l'utilisateur → carter obligatoire.	3/5	- Adapter le chargement de la lame pour éviter les collisions avec le bâti	3/5
	- Difficulté d'installer les amortisseurs.	2/5	- Encombrement	1/5
	Résultats	3.5/5	Résultats	4/5



D'après le tableau nous avons un impact important de la vibration de la lame verticalement.

Barème :

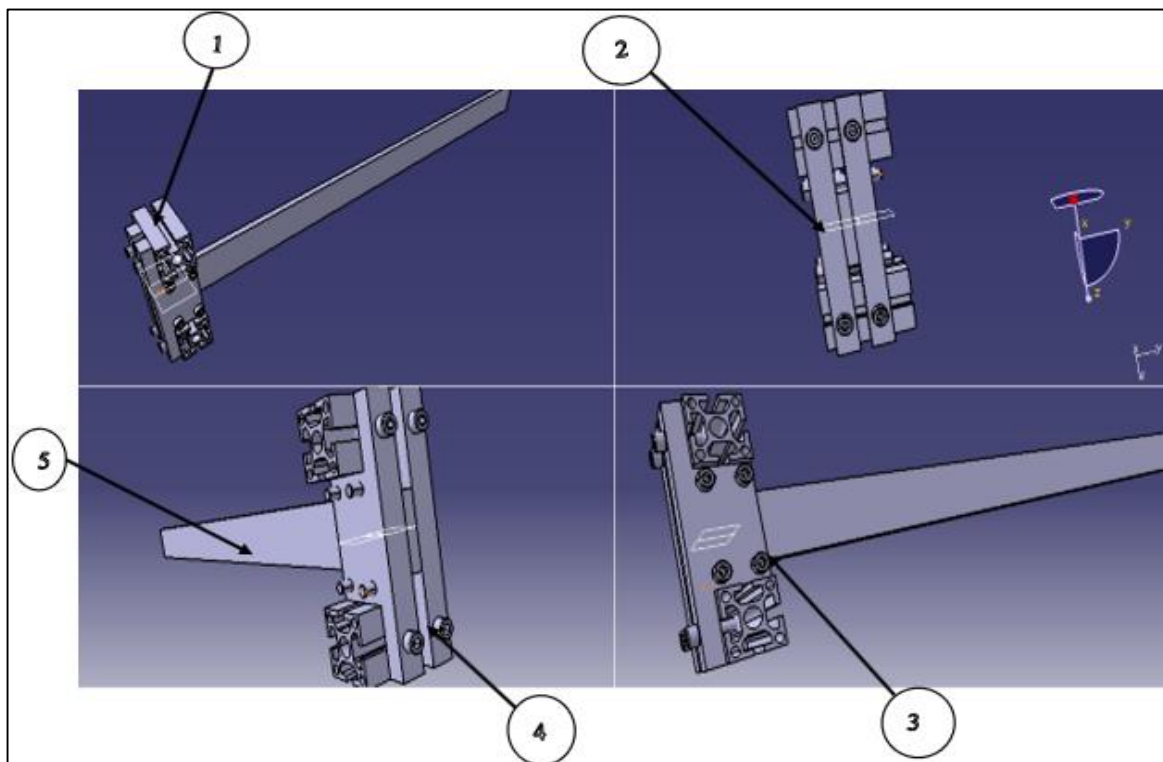
1/5 : faible impact.

5/5 : impact important.

Conclusion : nous allons orienter de façon que nous ayons une vibration horizontale.

## II.1 Solutions techniques pour la fixation de lame :

Après avoir étudié les différentes solutions, nous avons choisi ce système pour fixer la lame verticalement. Il est composé de deux profilés alu horizontaux sur lesquels viennent se fixer grâce à des vis et un jeu de mors (pièce de fixation). Ces mors sont perforés en quatre points afin de laisser passer quatre vis qui une fois serrées avec un écrou permettent de comprimer la lame entre les deux mors. Ces quatre vis permettent aussi d'empêcher l'éventuelle rotation de la lame dans son plan transversal. L'avantage de cette solution est qu'elle peut facilement être démontée et permettre d'installer la lame horizontalement ou bien verticalement.



Repère	Nombre	Désignation	Caractéristiques
01	2	Profile	Profile 45x45L B-Type slot 10
02	2	Mors (pièce de fixation)	Longueur totale = 170 mm, Largeur totale= 60 mm, facile à usiner, matériau : Acier
03	4	Vis	M4
04	4	Vis	Écrou marteau & vis à tête marteau M10
05	1	Lame	Différents matériaux et avoir différentes tailles

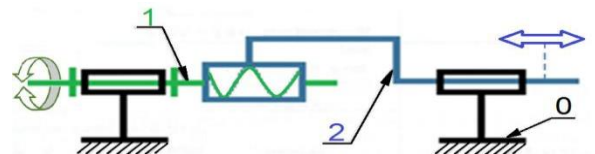
<b><u>Avantages</u></b>	<b><u>Inconvénients</u></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Encastrement rigide</li> <li>- système utilise les lames de différentes épaisseurs</li> <li>-Facile à réaliser</li> <li>- Encastrement uniforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trop d'opération</li> <li>- Nécessite de rajouter des profils, des équerres</li> </ul>

### III. Choix du système de transformation de mouvement :

Les systèmes présentés ci-dessous permettent de transformer un mouvement de rotation en translation ou inversement. Le système est dit réversible si le mouvement de sortie peut entraîner le mouvement d'entrée.

#### Le système vis-écrou :

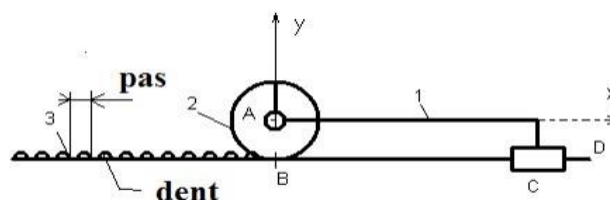
La vis tournant autour de son axe principal qui entraîne un écrou en translation.



Avantages	Inconvénients
Ce mécanisme permet d'exercer des forces et des pressions importantes. Il permet aussi des ajustements fins.	Ce mécanisme génère beaucoup de frottement. Sa fragilité peut entraîner des problèmes de guidage+ lent à moins d'avoir un pas de vis important.

#### Le système pignon crémaillère :

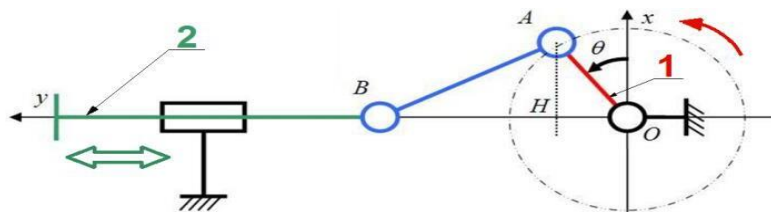
L'engrènement entre les dents de la crémaillère et les dents du pignon assure le roulement sans glissement en I



Avantages	Inconvénient
Ce type de mécanisme permet de transformer le mouvement sans qu'il y ait glissement entre les organes	Nécessite un ajustement précis entre la roue et la crémaillère à cause des dents Nécessite un changement de sens de rotation du moteur => impossible d'assurer une fréquence élevée d'oscillation sans surchauffer le moteur

#### Le système bielle manivelle :

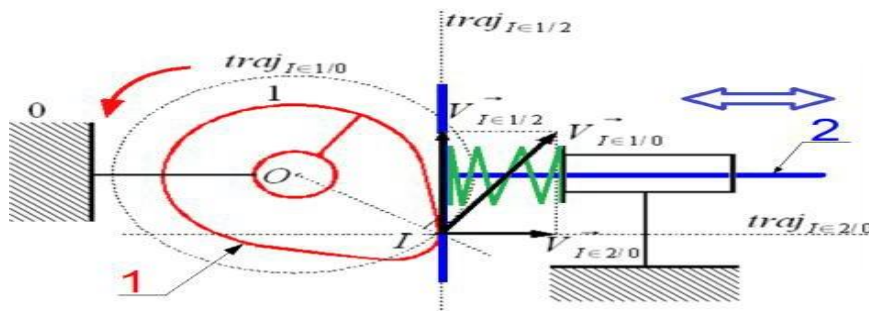
La rotation continue de la manivelle produit un mouvement de translation alternatif ou inversement.



Avantage	Inconvénient
Ce mécanisme peut fonctionner à grande vitesse Pas de changement de sens.	Il y a beaucoup de frottement dû aux nombreuses articulations de ce système. Il faut alors beaucoup de lubrification

#### Le système à came :

Une **came** (1) est une pièce mécanique non circulaire qui à partir d'un mouvement de rotation met en mouvement une **tige** (2). Ce système transforme un mouvement de rotation en un mouvement de translation alternatif.

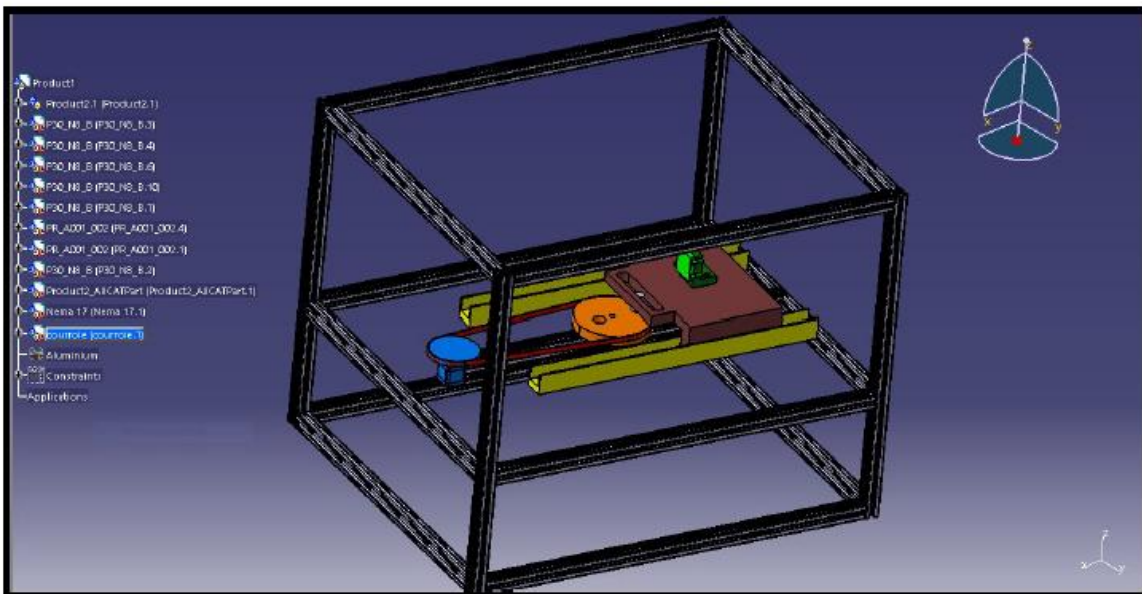
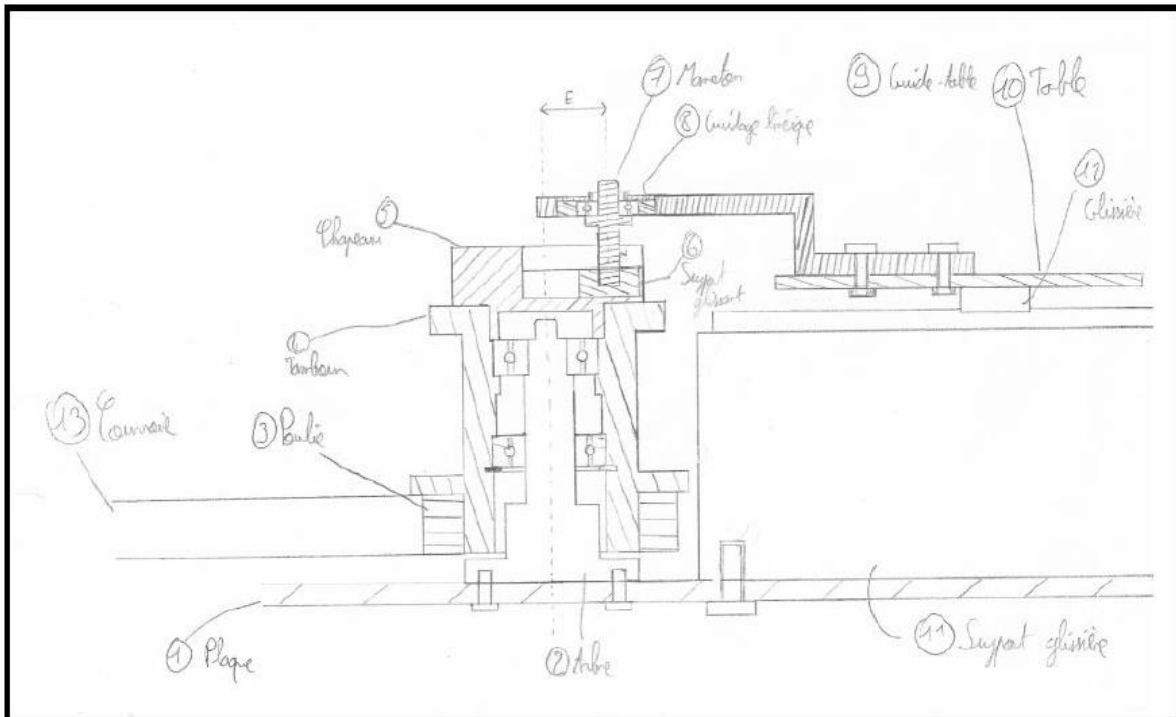


Avantage	Inconvénient
On peut configurer la came de façon à faire varier le déplacement de la tige d'un mouvement de translation à un autre. il permet une réduction considérable de la vitesse et ajustements précis	Les pièces s'usent rapidement et elle nécessite un besoin constant de lubrification. Le risque de vibrations importantes est présent si la came tourne à grande vitesse.

#### Le système de nos collègues de l'autre groupe :

La table est montée sur des glissières, et est reliée au système poulie-courroie à l'aide du maneton (7). Ce maneton est articulé en liaison ponctuelle avec le guide-table, et est en contact surfacique avec ce dernier à l'aide du guidage linéique (8). Le guide-table est en

acier, et le guidage linéique est en bronze afin de limiter les frottements pendant la translation du guidage linéique dans la rainure du guide-table.



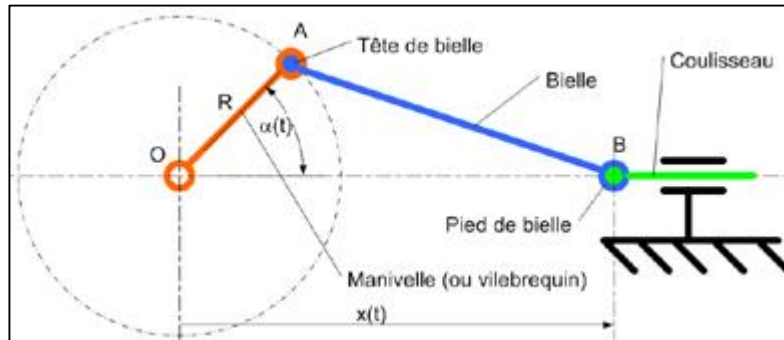
Avantage	Inconvénient
Souplesse de la transmission due à l'élasticité de la courroie. Possibilité de faire varier l'entraxe.	Frottement sec élevé → Usure Montage de la courroie il faut faire attention au tendeur de courroie, variation d'entraxe. Usure de la courroie Encombrement du système.

Conclusion : A partir des avantages et inconvénient des systèmes proposés nous avons opté que le système convenable à nos besoins du cahier des charges est la bielle manivelle.

Remarque : le système proposé par nos collègues de l'autre groupe peut être prise en considération.

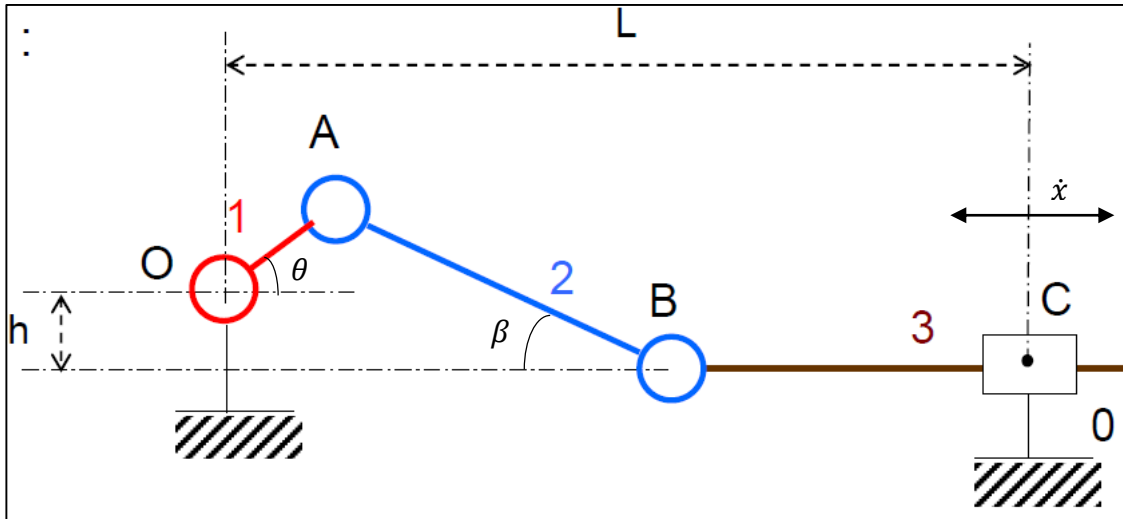
#### IV. Paramétrage cinématique de la transformation de mouvement :

Après avoir fait un brainstorming des solutions possibles pour choisir le système d'excitation, nous avons opté pour le système bielle manivelle, la figure ci-dessous représente un schéma de celle-ci :



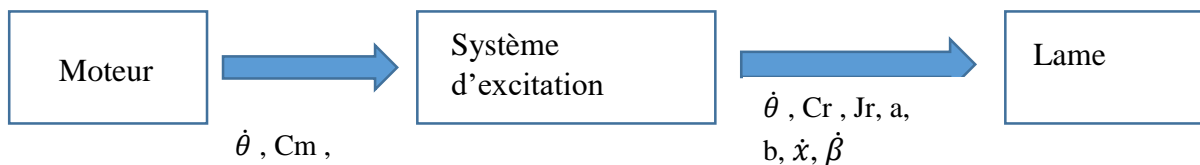
Le moteur fait tourner l'arbre autour de O, le piston dont la masse est m agit sur la lame.

Après une analyse cinématique du système nous poserons les paramètres cinématiques suivants :



Avec  $OA = a$  et  $AB = b$  et  $h = 0$ .

$$\begin{cases} \dot{x} = -a \times \dot{\theta} \times \cos \theta \times \tan \beta - a \times \dot{\theta} \times \sin \theta \\ \cos \beta = \frac{a}{b} \times \sin \theta \end{cases}$$



#### IV.1 Equation du mouvement du système :

Nous appliquons le théorème de l'énergie cinétique total :

$$Ec = Ec1 + Ec2 + Ec3$$

Tel que :

$$Ec1 = \frac{1}{2} \times J \times \dot{\theta}^2, Ec2 = \frac{1}{2} \times m_2 \times V(G2)^2 + \frac{1}{2} \times \omega(2/0) \times M(2/0), Ec3 = \frac{1}{2} \times m_3 \times \dot{x}^2$$

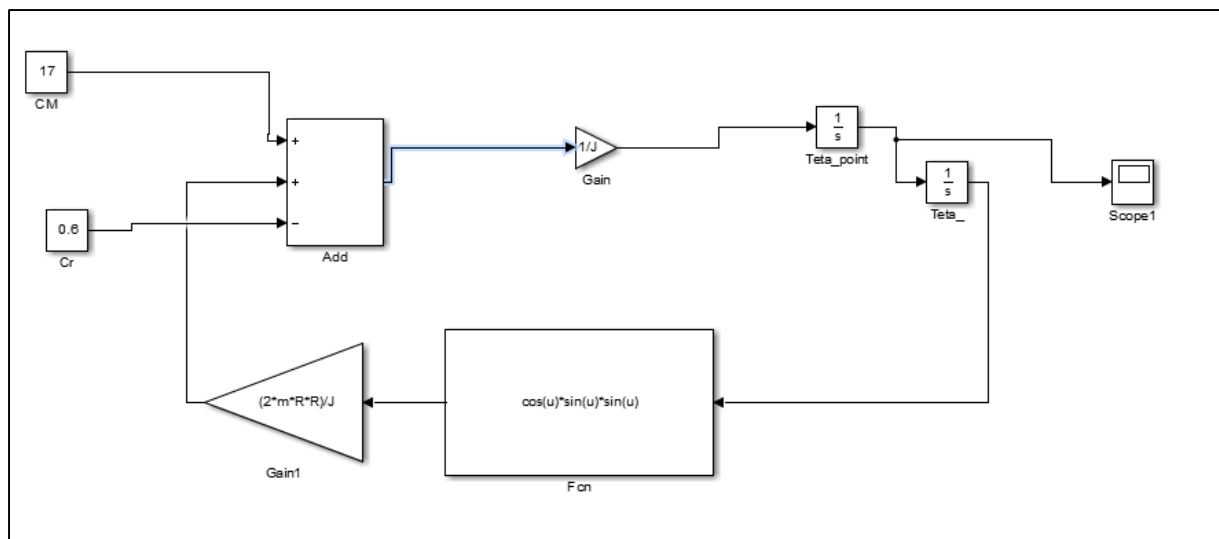
$$\frac{dEc}{dt} = \sum \frac{dEci}{dt} \quad \text{avec } i=1..3$$

En prenant compte des simplifications dimensionnelles :  $m_3 \gg m_2$  et  $b > a$

D'où l'équation :

$$\frac{dEc}{dt} = J \times \dot{\theta} \times \ddot{\theta} + 2 \times m_3 \times a^2 \times \dot{\theta} \times \cos \theta \times \sin \theta^2 = (Cm + Cr) \times \dot{\theta}$$

Simulation sur SIMULINK :



Remarque : on a considéré Cm comme une constante et Cr aussi

Cette simulation nous permet d'observer l'évolution de la vitesse de rotation du système en fonction du temps pour un couple moteur donné.

D'autre part notre étude est basé sur différents métaux de lames tel que l'acier l'aluminium le plastique notre intervalle d'étude sera compris entre  $F=2N$  et  $F=6N$  pour un couple égal à :

$$Cr = F \times R$$

D'après l'étude théorique la fréquence d'oscillation de la lame pour l'aluminium est : 36.6 rad/s

La fréquence d'oscillation de la lame pour l'acier est : 62.5 rad /s

D'où  $w_{max} = 62.5 \frac{rad}{s}$  pour la vitesse d'oscillation de la lame.

D'autre part le moteur à cc est régi par les équations électriques et mécaniques suivantes ;

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + e \quad \text{Avec} \quad e = k.n.\Phi \quad \Omega = 2\pi n$$

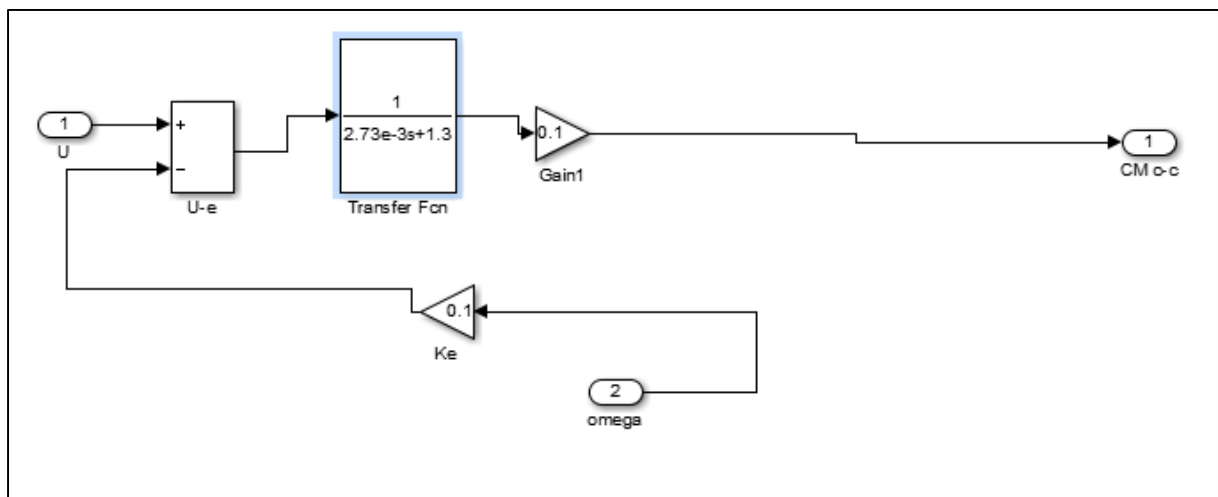
$$J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega = C_e - C_r \quad C_e = \frac{ei}{\Omega} = \frac{k.n.\Phi.i}{2\pi n} = K_e.i$$

La transformée de Laplace de ces équations donne

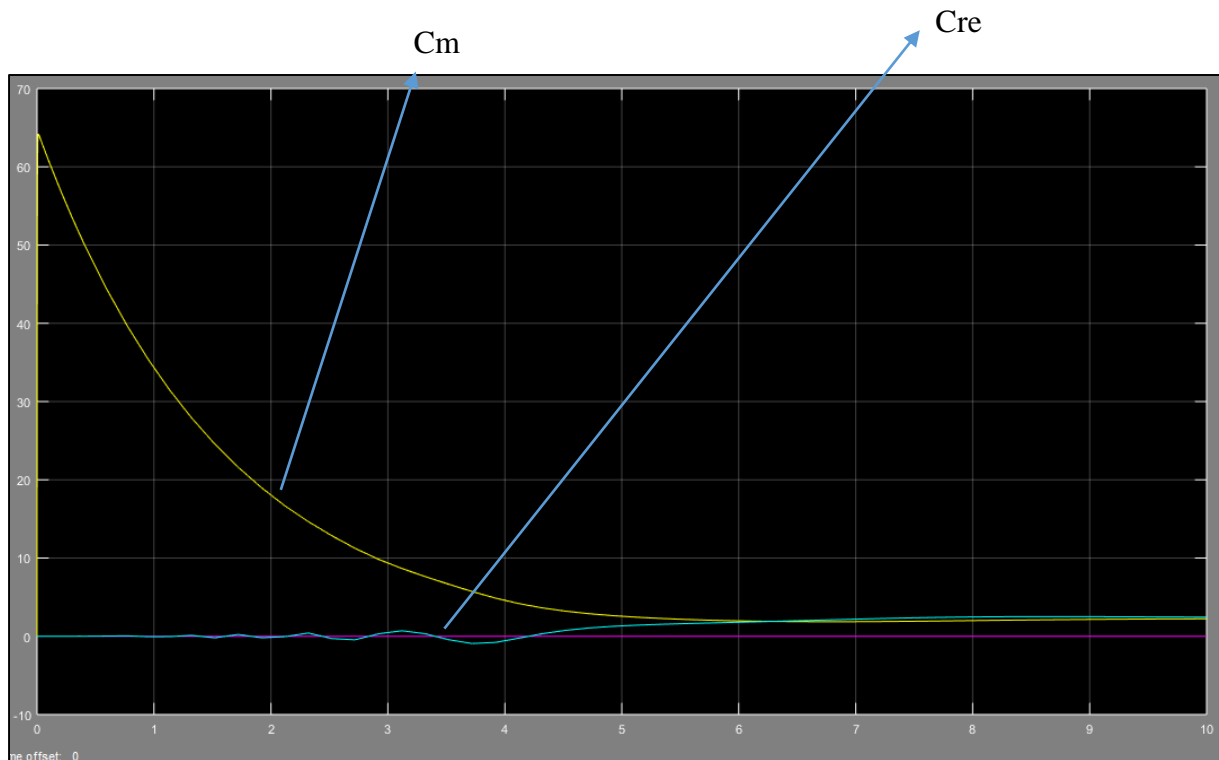
$$u(s) - e(s) = (R + Ls)i(s) \quad e(s) = k.n.\Phi = \frac{k.\Phi.\Omega}{2\pi} = K_e.\Omega(s)$$

$$C_e(s) - C_r = (f + Js)\Omega(s) \quad C_e(s) = K_e.i(s)$$

Nous aurons besoins de l'équation électrique pour notre cas. La figure ci-dessous représente le modèle sur SIMULINK :



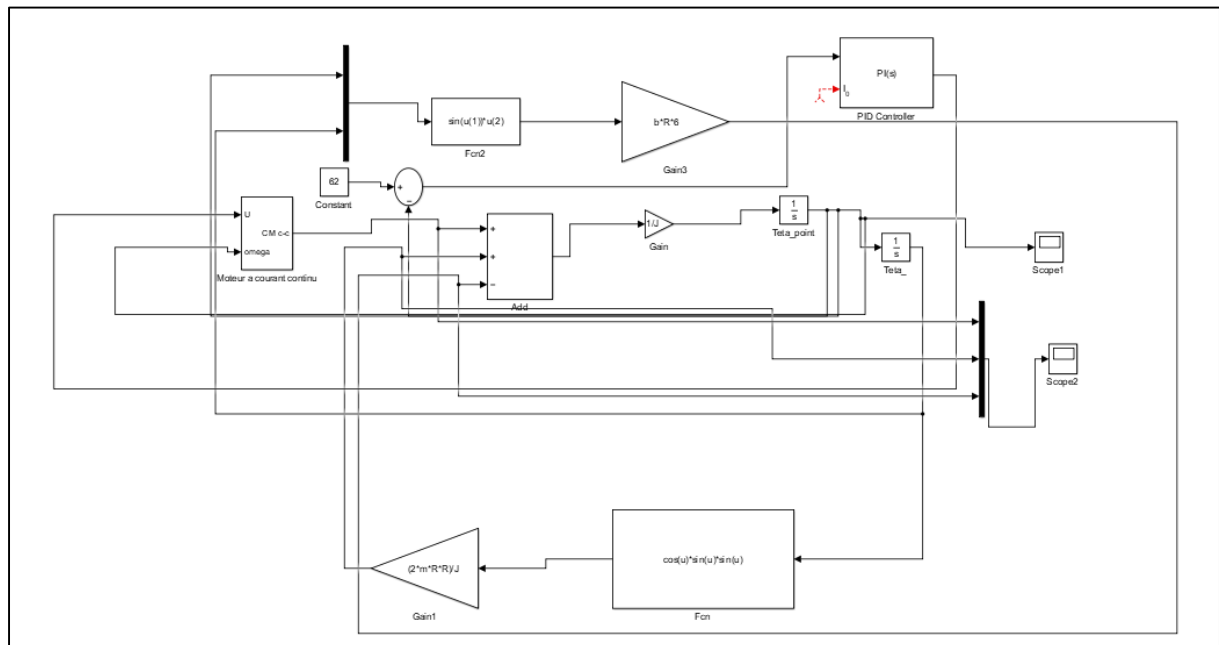
Simulation :



D'après la simulation le couple moteur dépasse le couple résistant qui est sinusoïdal puisque le rayon varie du système bielle manivelle vous trouverez en annexe le catalogue des moteurs proposés.

#### IV.2 Asservissement du moteur :

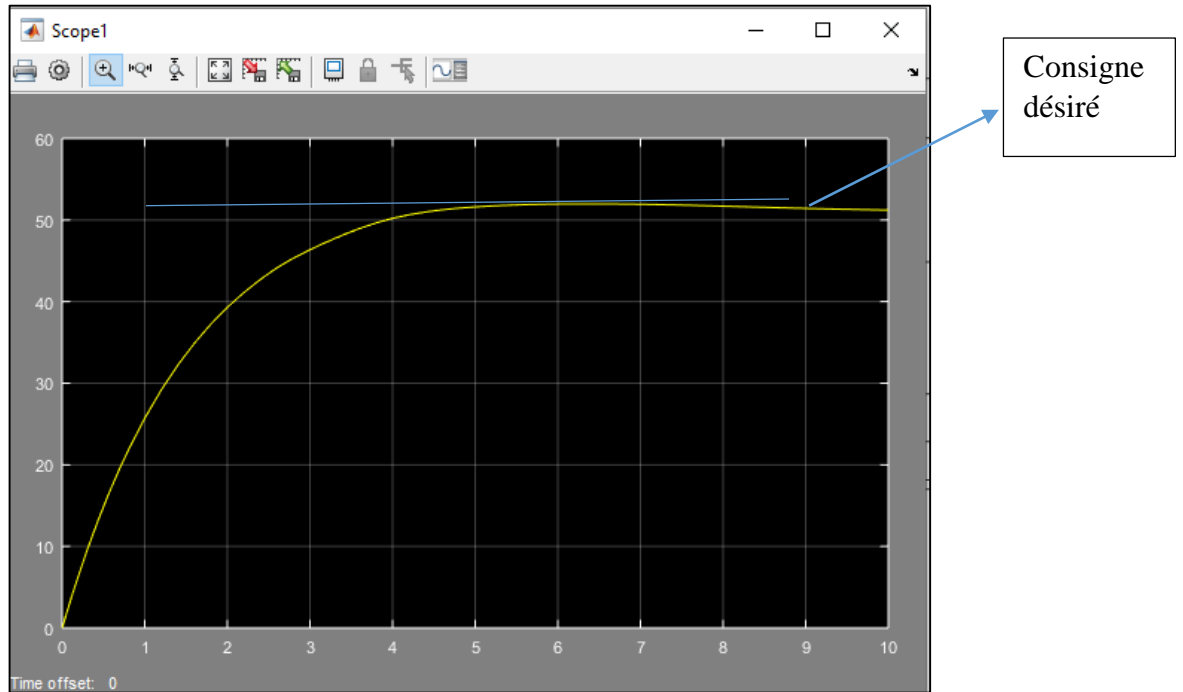
D'après notre étude nous voulons asservir le moteur en lui donnant une vitesse pour laquelle la lame oscille. L'étude précédente c'était en boucle ouverte nous allons passer en BF pour faire l'asservissement et choisir le correcteur convenable.





### Simulation :

Nous avons opté par un correcteur PI parce qu'il ne présente pas d'erreur statique. Nous avons imposé une consigne de 50 rad /S , la figure ci-dessous représente l'asservissement en vitesse .

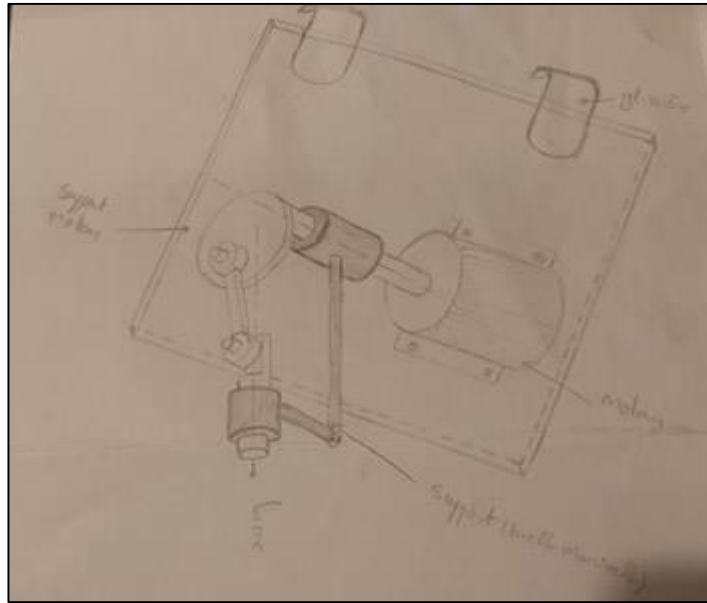


## V. Système de transformation du mouvement :

### V.1 Bielle manivelle :

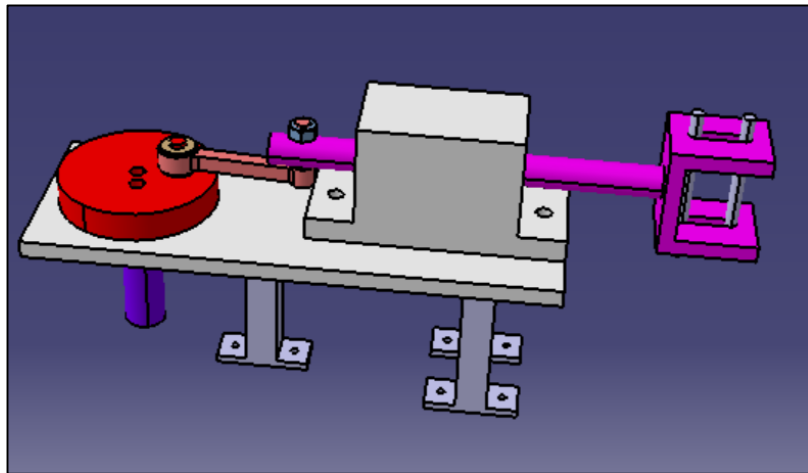
Pour répondre aux exigences du cahier de charges : « Le système permettant de transformer le mouvement de rotation du moteur en excitation sur la lame doit être adaptable pour pouvoir réaliser l'excitation en tout point de la lame » nous avons proposé 2 solutions différentes :

- Le système moteur+ bielle / manivelle sera fixé sur un support qui est en liaison glissière avec la partie haute du banc. Donc, notre support sera mobile pour pouvoir exciter la lame en tout point.



**Croquis de la première solution proposée.**

- La 2eme solution consiste à utiliser la table mobile existante sur le banc. Donc l'image ci-dessous montre l'ensemble du système de transformation du mouvement qui sera posé ou fixé sur la table en utilisant des pieds de support.



**vue globale du système bielle manivelle sur le support.**

Nous avons choisi la 2eme solution Pour plusieurs Avantages :

- L'utilisation de la table mobile existante
- La facilité de la réalisation et de la fixation de cette solution (pas besoin de glissière)
- Pas besoin d'un bâti de contrepoids (ex : solution 1)
- Solution compacte et massive

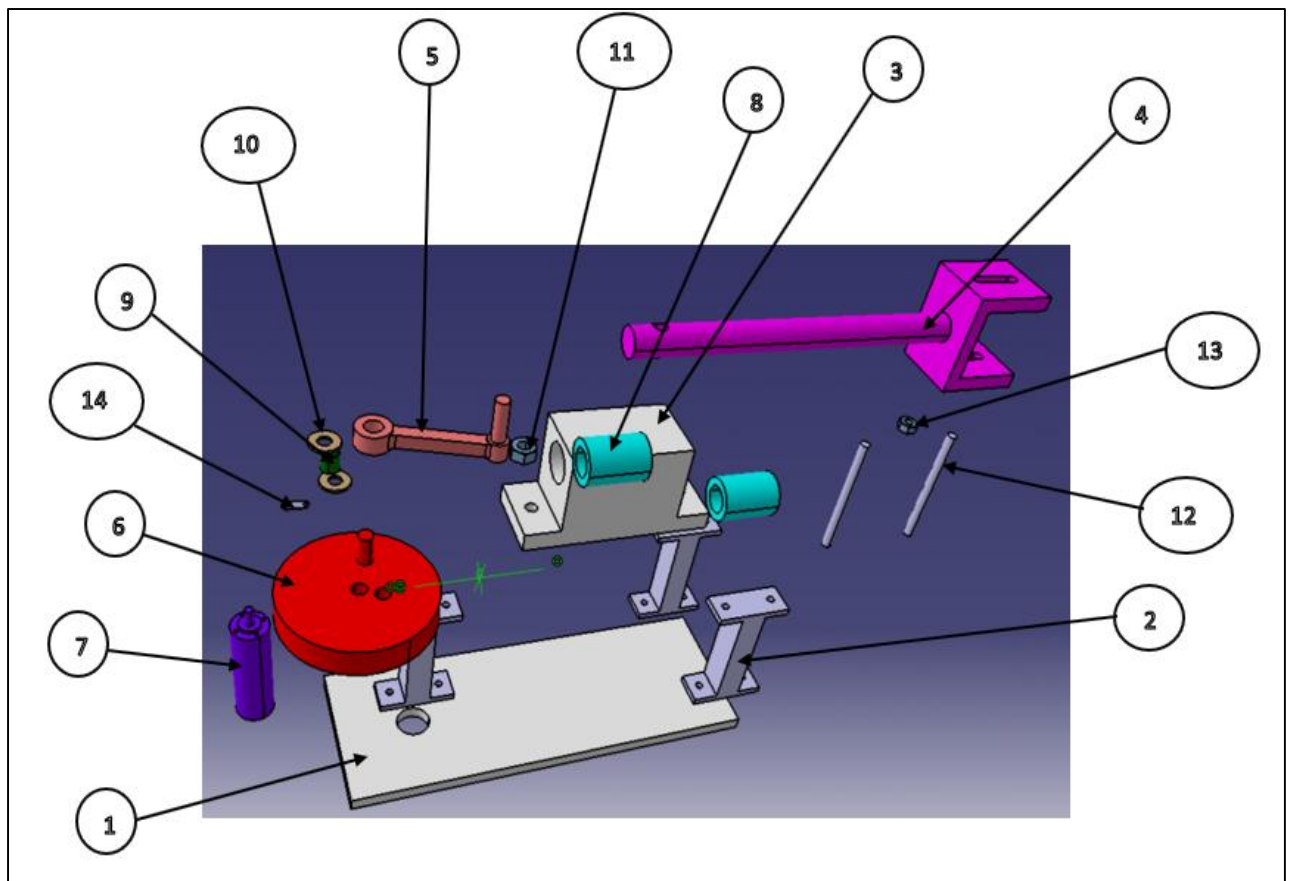
## V.2 Description de la solution choisie :

Le système que nous avons fait est un système compact qui répond à notre cahier des charges :

- Transmettre le mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation.
- Exciter la lame de différentes épaisseurs et avec différentes courses.
- Excitation à haute vitesse.
- Système mobile tout au long du banc à l'aide de vis sans fin.

## V.3 Détail des éléments et leur montage

Vue globale du système :



Vue éclaté du système complet

Nomenclature :

Repère	Nombre	Désignation	Caractéristiques
01	1	Support	330*120*11, matériau : Acier
02	3	Pied de support	Longueur totale = 105 mm, matériau : Acier
03	1	Support piston	Longueur de guidage : 100 mm, matériau : Acier. (Voir si possible acheter l'ensemble Douille à billes-support piston)

04	1	Piston	Longueur=240 mm, matériau : Alu
05	1	Bielle	Longueur totale = 100 mm, matériau : Acier
06	1	Manivelle	100 mm de diamètre, (3 courses : 1 mm, 30mm et 50 mm), matériau : Acier
07	1	Moteur	A définir
08	2	Douille à billes	KNO20-B-PP KNO20-B : diamètre intérieur 20mm, diamètre extérieur 32mm, largeur 45mm
09	1	Cages à aiguilles	K10X13X13-TV diamètre intérieur 10 diamètre extérieur 13 largeur 13
10	2	Rondelles	M10 diamètre extérieur 22, épaisseur 2
11	1	Ecrou	M15
12	2	Axe	
13	1	Ecrou	M8
14	4	Plaque (moteur)	14*5*2, matériau : Acier
Non représenter sur le dessin	14	Vis	M6 vis à six pans creux

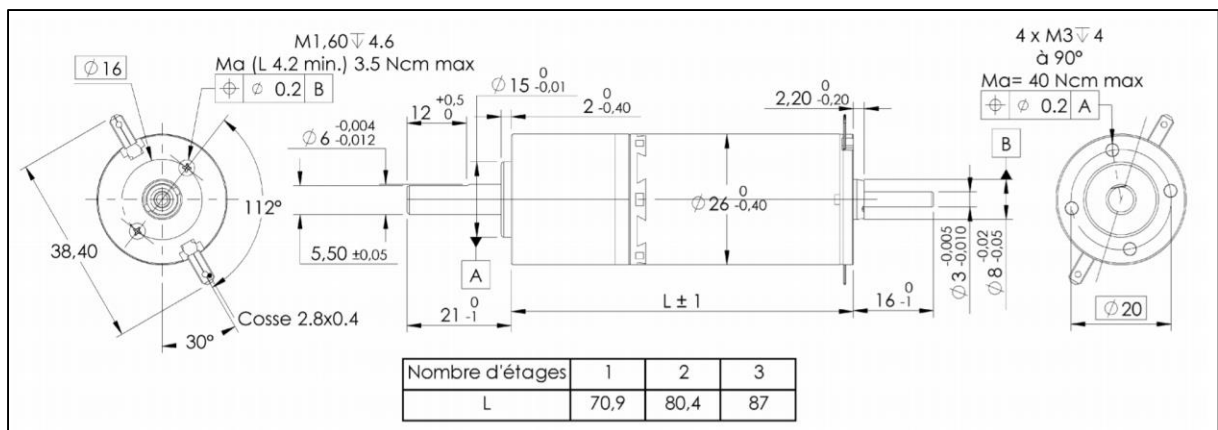
Cage à aiguilles et douille à billes sont des éléments de guidage choisis pour diminuer au maximum les frottements à fin d'éviter l'échauffement du système.

#### Montage manivelle / moteur :

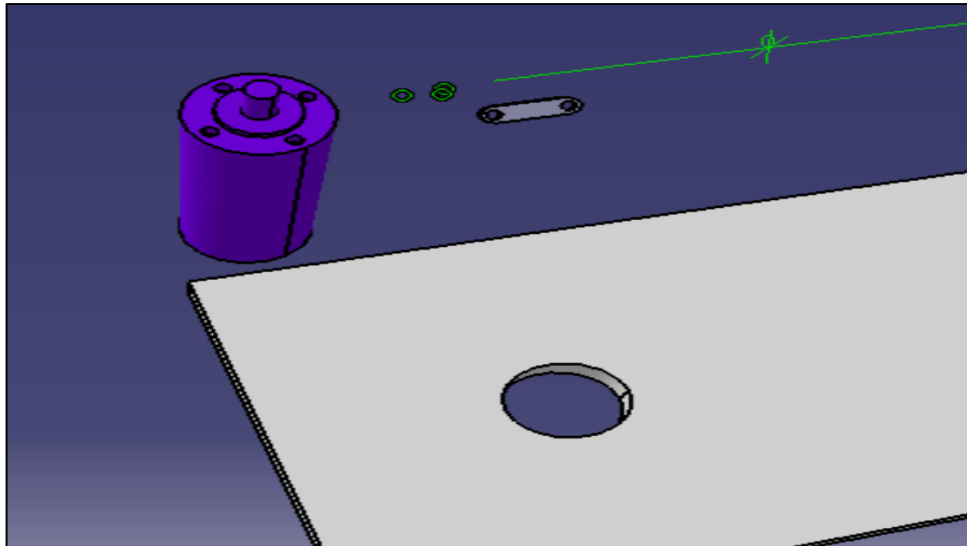
Manivelle assemblée avec le moteur par rainure-clavette.

Les charges seront supportées par les roulements intégrés dans le moteur.

#### Assemblage Moteur-Support :



Dessin du moteur.



**Vue éclaté de l'assemblage moteur/support.**

A l'aide des trous de fixations du moteur,

Nous pourrions fixer le moteur avec le support par intermédiaire d'une plaque qui sera fixé sur le support.

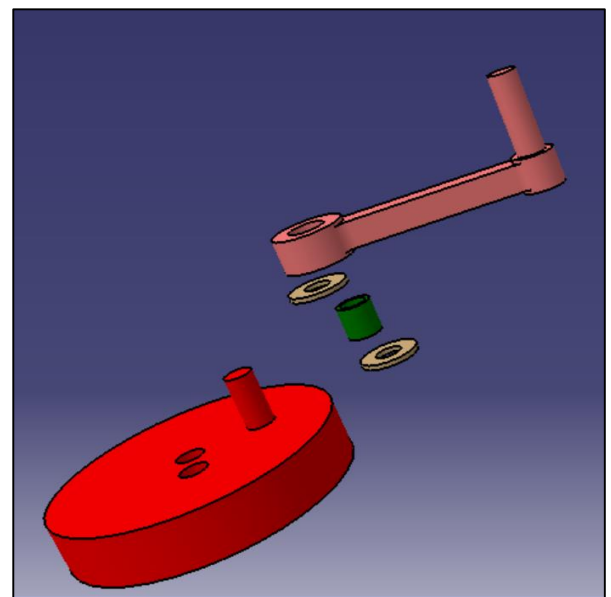
#### Montage bielle manivelle :

Liaison de la bielle avec la manivelle se fait à l'aide d'une cage à aiguilles désignation K10X13X13-TV diamètre intérieur 10 diamètre extérieur 13 largeur 13 (voir annexe 5), 2 rondelles diamètre 10 (voir image ci-dessous) et un circlips pour le serrage.

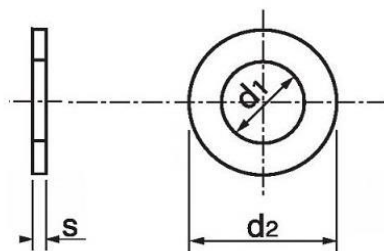
Nous utilisons un maneton Montable/Démontable sur la manivelle pour s'adapter aux différentes courses :

- 1mm
- 30mm
- 50mm

Course=2\*distance entre l'axe du moteur et l'axe du manet



**Vue éclaté de l'assemblage bielle manivelle**

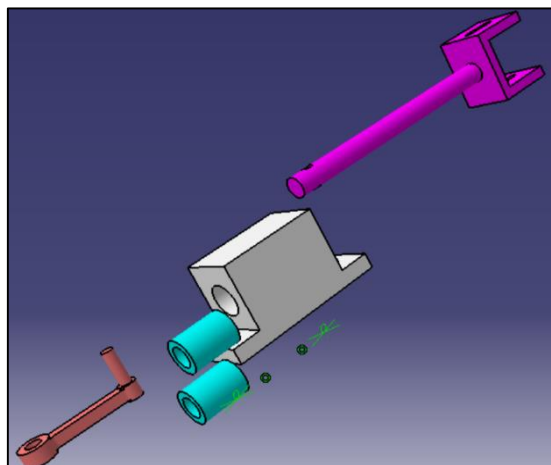


Pour Vis	Ø d1 mm	Ø d2 mm	S mm
M3	3,2	8	0,8
M4	4,3	10	0,8
M5	5,3	12	1
M6	6,4	14	1,2
M8	8,4	18	1,5
M10	10,5	22	2
M12	13	27	2,5
M14	15	30	2,5
M16	17	32	3

**Table des dimensions normalisées des rondelles.**

### Montage piston support piston :

Dans le support piston y aura 2 douilles à billes  
Pour la liaison glissière support piston-Piston :  
désignation KNO20-B-PP KNO20-B, diamètre  
intérieur 20mm, diamètre extérieur 32mm, largeur  
45mm (voir caractéristiques dans l'annexe 6)



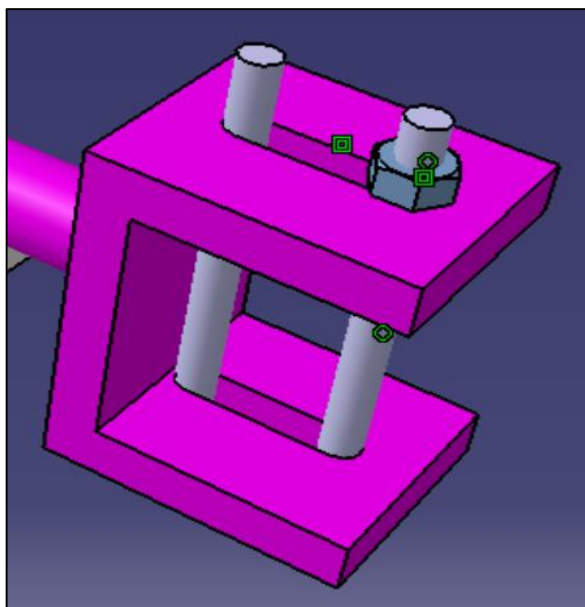
Vue éclatée de l'assemblage piston support piston.

### V.4 Fixation choix d'oscillation de lame :

Pour ces 2 exigences du CDC : Système d'excitation Fixe sans jeu sur la lame, L'adaptabilité de la fixation avec plusieurs épaisseurs de lames.

Donc l'image suivante représente la solution utilisée pour fixer le piston d'excitation avec la lame :

- Trou oblong pour permettre d'adapter le serrage aux plusieurs épaisseurs
- Tige montée serrée pour avoir le contact linéique avec la lame.
- Tige filetée des 2 cotés + écrous permettent de serrer la lame



Fixation avec la lame.

## VI. Fixation du capteur sur la lame :

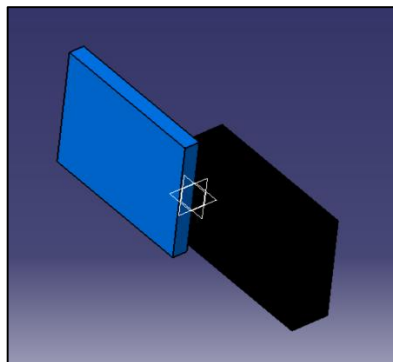
### VI.1 Rappel du cahier des charges :

L'objectif de notre banc de flexion c'est d'analyser l'influence de la lame en 2 étapes :

- Dans un premier temps la lame de flexion pourra osciller librement.
- Dans un second temps la lame de flexion doit osciller de façon forcée grâce à un système d'excitation mécanique forcée.

Donc pour analyser le comportement de la lame il faut mettre un capteur sur la lame et l'accrocher, le problème qui se pose c'est qu'il faut trouver une solution qui va permettre de porter le capteur, et il faut qu'elle soit adaptée à différente épaisseur de lame.

Notre capteur est composé de 2 parties : noir (20mm longueur, 13mm largeur, 5mm en épaisseur), bleu (20mm longueur, 15mm largeur, 5mm en épaisseur)



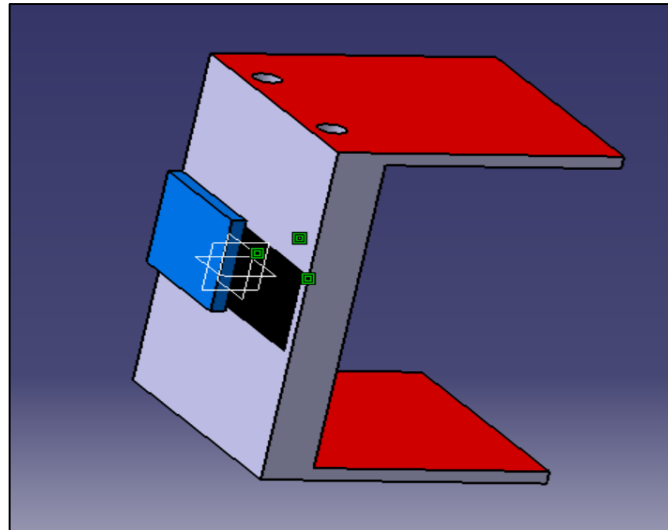
Capteur

Pour trouver la solution qui va répondre à notre cahier des charges nous avons proposées quatre différentes solutions suivantes :

### VI.2 1ere Solution :

L'idée de cette solution c'est de coller le capteur sur le support gris, et venir accrocher une plaque pliable sur les 2 cotés à l'aide des vis.

Avec cette solution la partie bleue sera sur la lame, et la partie rouge qui sera la plaque pliante on pourra l'adapter à n'importe quelle épaisseur.

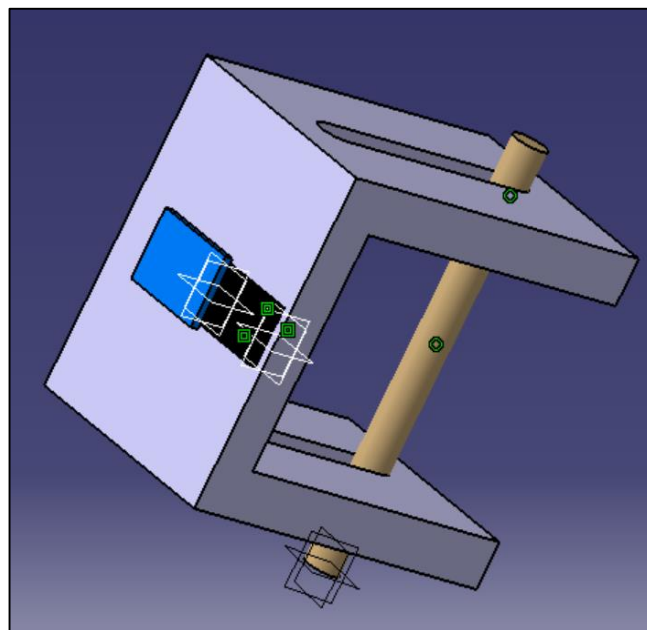


**Solution avec la plaque pliable.**

### **VI.3 2eme Solution :**

Dans cette solution j'ai mis le même principe du système d'excitation.

Le capteur sera collé sur la partie creuse du support et le trou oblong va permettre d'adapter le serrage aux plusieurs épaisseurs.



**Solution avec le trou oblong.**

### **VI.4 3eme Solution :**

Dans cette solution je suis partie du plus simple.

Collée le capteur sur une bande élastique et à l'aide du scratch on peut serrer selon notre épaisseur.





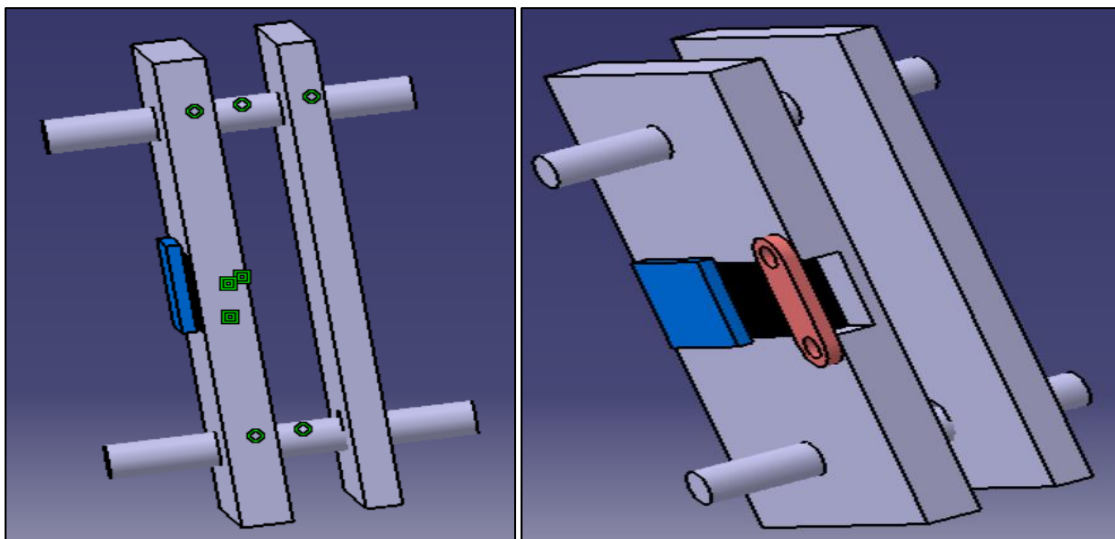
**Bande élastique.**

#### **VI.5 4eme Solution (Choisie) :**

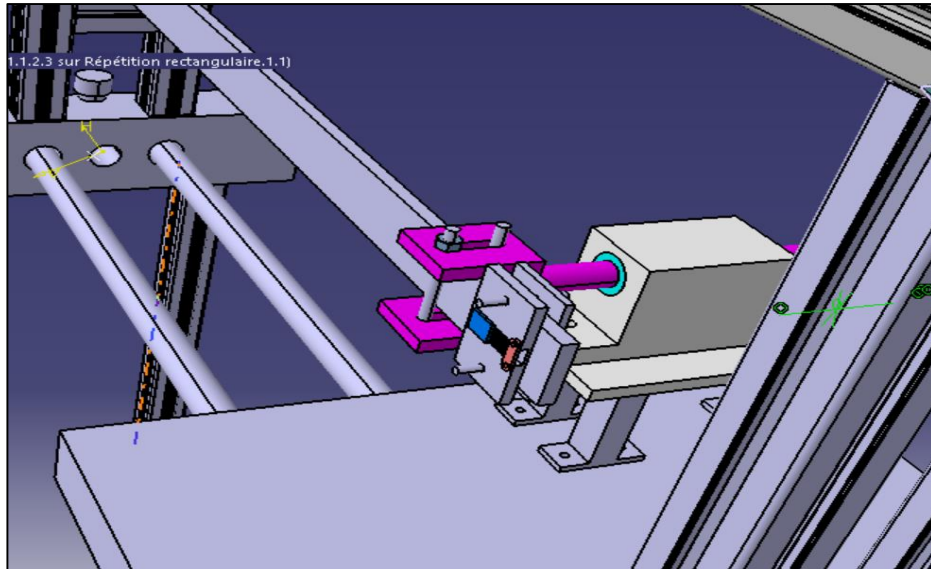
Cette solution peut répondre aux exigences de notre CDC, tout en protégeant notre capteur et les fils.

L'idée de cette solution est de coller le capteur sur le support gris, et avec une petite plaque (rose) accrochée sur le support qui protège les fils du capteur.

L'assemblage des 2 parties grises se fait à l'aide d'une tige filetée-écrou pour s'adapter aux différentes épaisseurs.



**Solution avec 2 plaques.**



Vue CAO d'ensemble.

### Conclusion :

Après avoir étudié les différentes solutions proposées, nous avons conclu que la 4e Solution est la plus adaptée à nos besoins du cahier des charges.

## VII. Conclusion de la partie mécanique :

Dans la conception du système de transformation de mouvement, nous avons commencé avec une vue d'ensemble global et itérativement nous avons essayé de se rapprocher vers les détails. Le point où nous sommes arrêtés dans la conception ne permet pas de lancer la fabrication du système, dû aux plusieurs contraintes :

- Manques des dimensions exactes du banc (pas accès au banc et difficulté de communication « COVID19 »)
- La Détermination de la course exacte de système, sachant que la course de départ selon l'étude réalisé était 100 mm et après nous l'avons réduit à 50 mm qui implique une modification totale de système.
- Validation des choix finaux des composants (Moteur, Bielle, Eléments de guidage...)

### Pistes d'amélioration :

- Mesure des dimensions réelles du banc.
- Définir les dimensions/matériaux des lames qui seront étudiées.
- Choix finaux des courses exactes.
- Rendre le système plus compact selon la course choisis.
- Valider le choix final du moteur et les éléments de guidage.



# **Partie Electronique**

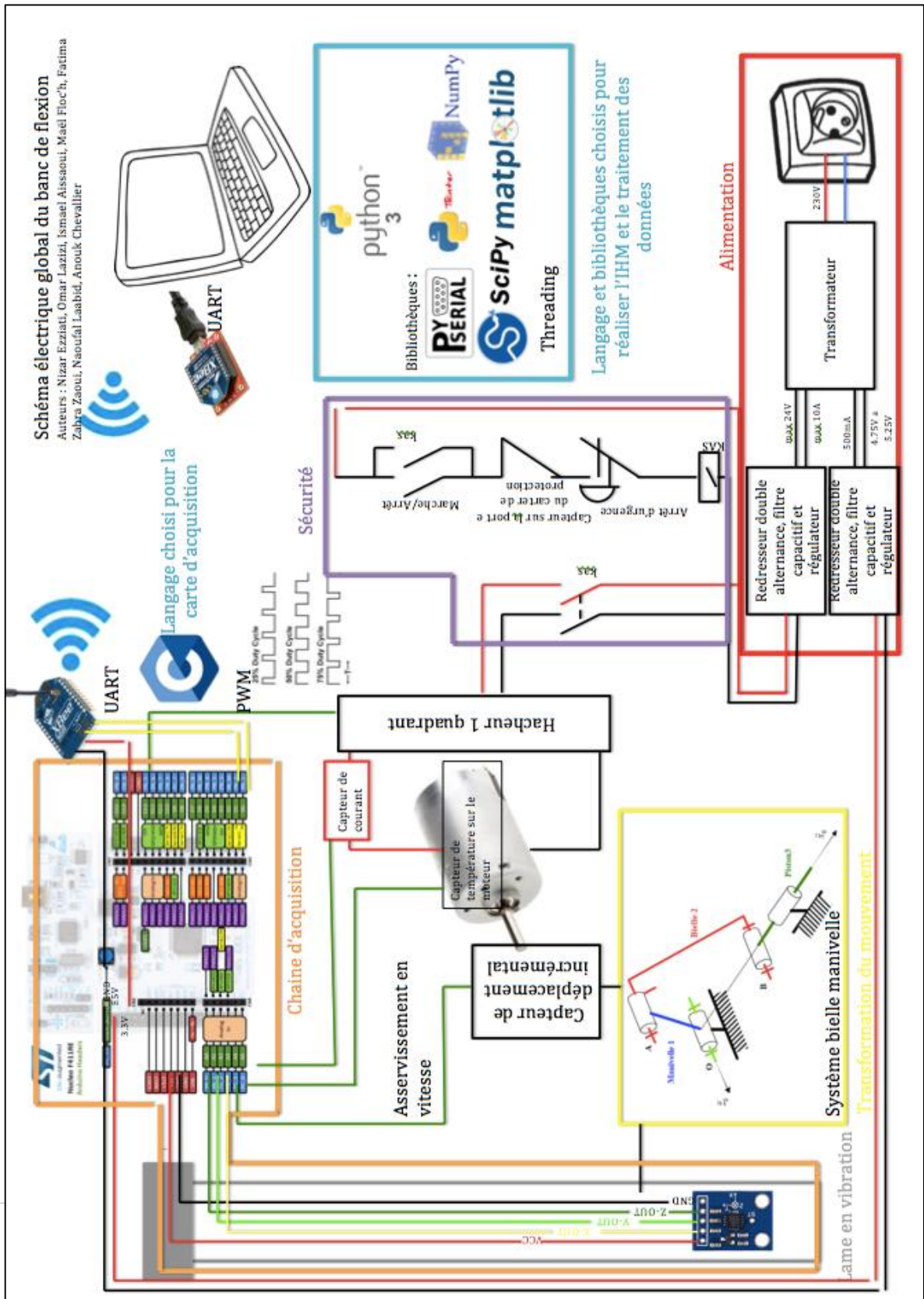
# I. Contrôle/commande/IHM :

La partie électronique dans le banc de flexion répond à deux besoins :

- Instrumenter la lame en vibration afin de pouvoir quantifier cette vibration
- Exciter la lame en vibration

Voici donc notre proposition de schéma électrique pour répondre à ces besoins :

## I.1 Synoptique général de contrôle/commande/IHM et schéma de câblage des sécurités et implémentation des capteurs :



L'accéléromètre est placé sur la lame en vibration et relié à la carte d'acquisition Nucleo STM32R411RE. Une IHM permettant de piloter l'ensemble du système est réalisé sur un ordinateur en Python. Les Xbee permettent l'échange sans fil de données entre l'IHM et la carte d'acquisition.

Le moteur, au travers du système de transformation de mouvement bielle manivelle, permet d'exciter la lame. L'intégration du signal fourni par le capteur de déplacement incrémental, placé sur l'arbre moteur, permet d'obtenir la vitesse de rotation de l'arbre moteur. Un asservissement en vitesse du moteur pourra donc être implémenté sur la carte Nucleo. Le hacheur continu – continu qui sert à convertir une tension continue à valeur fixe en une tension continue réglable est commandé par un signal PWM provenant de la carte Nucleo.

Le capteur d'intensité, relié à la carte Nucleo, permet de suivre sur l'IHM l'évolution du courant consommé par le moteur. Le capteur de température, relié à la carte Nucleo et placé sur le moteur permet lui aussi de suivre sur l'IHM l'évolution de la température du moteur.

Pour alimenter le système, un bouton-poussoir marche/arrêt ainsi qu'un auto-maintien sont mis en place. Pour la sécurité de l'utilisateur, un capteur d'ouverture de la porte du carter de protection ainsi qu'un bouton d'arrêt d'urgence permettent de couper l'alimentation du moteur.

L'ensemble de la partie électronique sera placé dans une boîte fermée qui sera accrochée par des crochets sur le banc de flexion pour son transport et mise sur une table à côté lors de son utilisation afin de ne pas transmettre de vibrations à la partie mécanique, ce qui pourrait endommager les composants.

## **I.2 Acquisition des données**

### **I.2.1 Grandeur physique et choix de capteurs :**

Les grandeurs physiques - les mesurandes de notre système - que l'on souhaite obtenir sont l'évolution de la position d'un point de la lame au cours du temps et les fréquences propres du mouvement en ce point. Pour cela on peut utiliser deux techniques :

- Soit on mesure l'accélération et on intègre successivement deux fois pour obtenir la vitesse et la position. Pour obtenir les constantes d'intégration c'est-à-dire la vitesse initiale et la position initiale, des capteurs de vitesse et de position initiales doivent être mis en place, ou alors il faut se débrouiller pour que ces conditions initiales soient nulles au démarrage. On calcule la transformée de Fourier discrète de l'accélération pour obtenir les fréquences propres de la lame.
- Soit on mesure directement l'évolution de la position au cours du temps que l'on peut dériver au besoin deux fois pour obtenir la vitesse puis l'accélération. On calcule la transformée de Fourier discrète de la position pour obtenir les fréquences propres de la lame.

Nous avons opté pour la première solution même si elle demande plus de capteurs, car un capteur d'accélération était déjà présent à l'école et nous a permis de commencer sans avoir à attendre de livraison surtout dans les circonstances actuelles.

### I.2.2 Architecture de la chaine d'acquisition de données

Nous choisissons d'utiliser la carte Nucleo STM32F411RE proposée car elle fournit toutes les fonctionnalités nécessaires au projet. Elle permet de :

- Gérer des signaux d'entrée analogiques et de les convertir sur onze ou douze bits,
- Générer un signal PWM pour commander le hacheur du moteur en mode oscillation forcée,
- Dialoguer en utilisant les protocoles UART, SPI ou I2C.

L'IHM est réalisée sur l'ordinateur.

Deux architectures de la chaine d'acquisition de données sont possibles. On peut :

- Soit faire tous les traitements sur la carte Nucleo et transférer les résultats à l'ordinateur,
- Soit transférer les données brutes de la carte Nucleo à l'ordinateur et réaliser tous les traitements sur l'ordinateur.

Nous avons opté pour la seconde solution, car elle permet de rendre plus disponible la carte Nucleo pour récupérer les données des différents capteurs à chaque instant et d'utiliser la puissance de calcul de l'ordinateur qui est plus importante que celle du microcontrôleur.

## II. L'Interface Homme Machine (IHM)

### II.1 L'utilisation de l'IHM :

Le rôle et l'utilisation de l'IHM du banc de flexion se sont précisés au fur et à mesure de son implémentation.

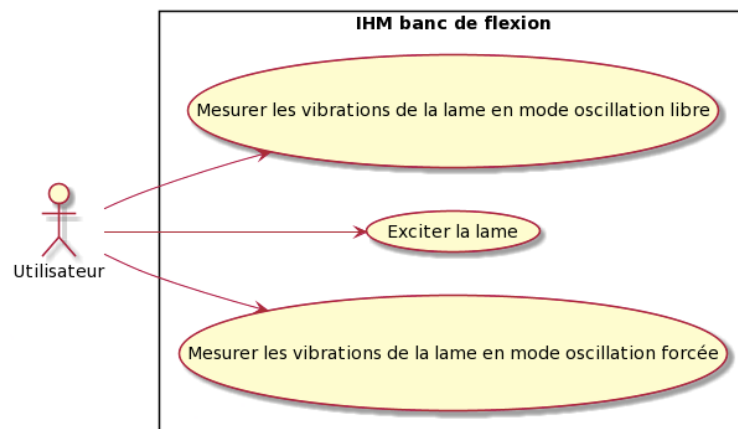


Diagramme de cas d'utilisation de l'IHM

L'IHM est conçue comme un outil servant à comparer la simulation et la théorie.

Durant de semestre nous avons surtout approfondi la partie « Mesurer les vibrations de la lame en mode oscillation libre » c'est-à-dire afficher les courbes d'accélération, vitesse et position de la lame en fonction du temps, le spectre fréquentiel de lame et surtout la déformée modale.

La déformée modale est un graphique qui représente la contribution de chaque mode propre à la déformée globale de la lame.



## II.2 Acquisition des données :

### II.2.1 Grandeur physique et choix de capteurs :

Les grandeurs physiques - les mesurandes de notre système - que l'on souhaite obtenir sont l'évolution de la position d'un point de la lame au cours du temps et les fréquences propres du mouvement en ce point. Pour cela on peut utiliser deux techniques :

- Soit on mesure l'accélération et on intègre successivement deux fois pour obtenir la vitesse et la position. Pour obtenir les constantes d'intégration c'est-à-dire la vitesse initiale et la position initiale, des capteurs de vitesse et de position initiales devraient être mis en place, ce qui ne nous a pas été possible de faire. On calcule la transformée de Fourier discrète de l'accélération pour obtenir les fréquences propres de la lame.
- Soit on mesure directement l'évolution de la position au cours du temps que l'on peut dériver au besoin deux fois pour obtenir la vitesse puis l'accélération. On calcule la transformée de Fourier discrète de la position pour obtenir les fréquences propres de la lame.

Nous avons opté pour la première solution même si elle demande plus de capteurs, car un capteur d'accélération était déjà présent à l'école et nous a permis de commencer sans avoir à attendre de livraison surtout dans les circonstances actuelles. La fréquence de mesure de l'accélération doit être choisie en considération de la fréquence propre de la lame (matériau, géométrie) ; pour notre lame « règle en plastique », nous avons choisi une fréquence de 1 kHz.

### II.2.2 Architecture de la chaîne d'acquisition de données :

Nous choisissons d'utiliser la carte Nucleo STM32F411RE proposée car elle fournit toutes les fonctionnalités nécessaires au projet. Elle permet de :

- Gérer des signaux d'entrée analogiques et de les convertir sur onze ou douze bits,
- Générer un signal PWM pour commander le hacheur du moteur en mode oscillation forcée,
- Dialoguer en utilisant les protocoles UART, SPI ou I2C.

L'IHM est réalisée sur l'ordinateur.

Deux architectures de la chaîne d'acquisition de données sont possibles. On peut :

- Soit faire tous les traitements sur la carte Nucleo et transférer les résultats à l'ordinateur,
- Soit transférer les données brutes de la carte Nucleo à l'ordinateur et réaliser tous les traitements sur l'ordinateur.

Nous avons opté pour la seconde solution, car elle permet de rendre plus disponible la carte Nucleo pour récupérer les données des différents capteurs à chaque instant et d'utiliser la puissance de calcul de l'ordinateur qui est plus importante que celle du microcontrôleur.

### II.2.3 Acquisition des données de l'accéléromètre :

Les données de l'accéléromètre sont récupérées toutes les périodes d'échantillonnage.

Le timer TIM5 permet de générer des interruptions toutes les périodes d'échantillonnage. Dans la routine d'interruption du timer TIM5, la donnée fournie par l'accéléromètre est lue et encodée sur douze bits par le microcontrôleur puis envoyée à l'IHM via la liaison série.

La programmation par interruption permet de laisser le processeur faire d'autres tâches et de passer dans la routine d'interruption uniquement quand le timer TIM5 le demande.

## II.2.4 Approche de la caractéristique réelle du capteur et intégration :

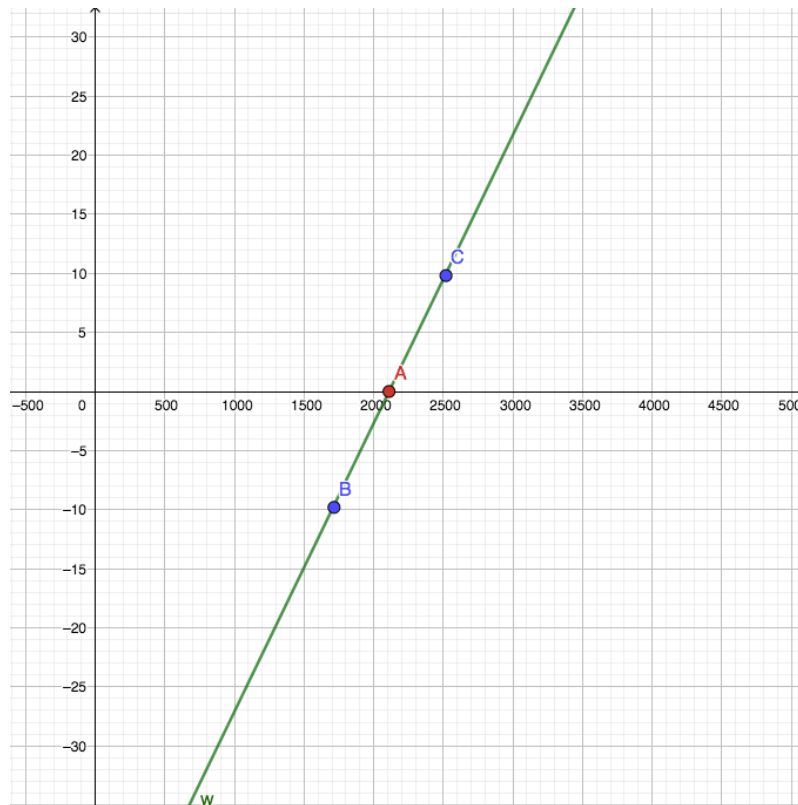
La plage de mesure de l'accéléromètre est de  $[-3g ; +3g]$ . Les valeurs d'accélération fournies par le capteur sont traduites par le microprocesseur sur 12 bits (de 0 à 4095). Nous essayons donc d'établir la correspondance entre la valeur d'accélération traduite sur 12 bits et sa valeur réelle en  $\text{ms}^{-2}$ . Pour cela, nous essayons donc d'approcher le plus possible la caractéristique réelle du capteur par une fonction affine  $w(x) = mx + p$ . Pour cela, nous avons tout d'abord fait des mesures pour faire la correspondance entre  $-g$ , et  $+g$  et les valeurs mesurées par l'accéléromètre et encodées sur 12 bits. Nous avons positionné les points B et C ainsi obtenus sur un graphique. L'abscisse,  $x_A$ , du point A est obtenue lors de l'appui sur le bouton *mesure des conditions initiales* sur l'IHM. 1 000 mesures de l'accélération sont alors réalisées et moyennées pour obtenir cette abscisse.

A ( $x_A$ , 0)

B : (1710 ; -9,81)

C : (2510 ; 9,81)

$w(x) = mx + p$



Le coefficient directeur,  $m$ , de la droite  $w$  est calculé à partir des coordonnées des points B et C.

L'ordonnée à l'origine,  $p$ , est calculée ainsi  $p = -m x_A$

Les valeurs calculées par cette fonction affine qui sont supérieures  $+3g$  ou inférieures à  $-3g$  sont respectivement égalisées à  $+3g$  et  $-3g$ .

Pour éviter les plages de saturation du capteur d'accélération, les deux intégrations successives ne sont faites que lorsque le signal est inférieur à 80% de ses valeurs extrêmes, donc sur la plage  $[-2,4 g ; +2,4 g]$ . (80% a été choisi arbitrairement pour avoir une chance d'être dans la plage de fonctionnement linéaire du capteur)



### III. Langages, architecture, bibliothèques et bibliothèques et classes utilisées pour réaliser l'IHM :

Nous avons choisi de réaliser l'IHM en python 3, car c'est un langage que nous avons déjà utilisé et qui propose des bibliothèques et des librairies utiles pour réaliser l'IHM.

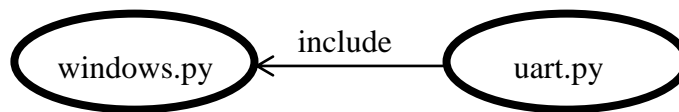
Pour réaliser toutes les fenêtres graphiques de l'IHM, nous avons choisi d'utiliser la bibliothèque Tkinter. Cette bibliothèque permet assez rapidement et facilement d'implémenter les fenêtres de notre application avec lesquelles l'utilisateur peut interagir et d'implémenter des pop-up d'erreur.

La bibliothèque SciPy propose différents services notamment les bibliothèques NumPy et matplotlib et la librairie SciPy. La bibliothèque NumPy propose des fonctions utiles pour réaliser les intégrations avec différentes méthodes. La bibliothèque matplotlib propose des outils pour afficher des graphiques. La librairie SciPy nous est utile pour le calcul de la transformée de Fourier discrète.

La bibliothèque PySerial propose des fonctions pour gérer la communication avec la liaison série.

La classe Threading nous est utile pour gérer le multiprocessus.

L'IHM sera implémentée dans 2 modules.



*Organisation des modules de l'IHM*

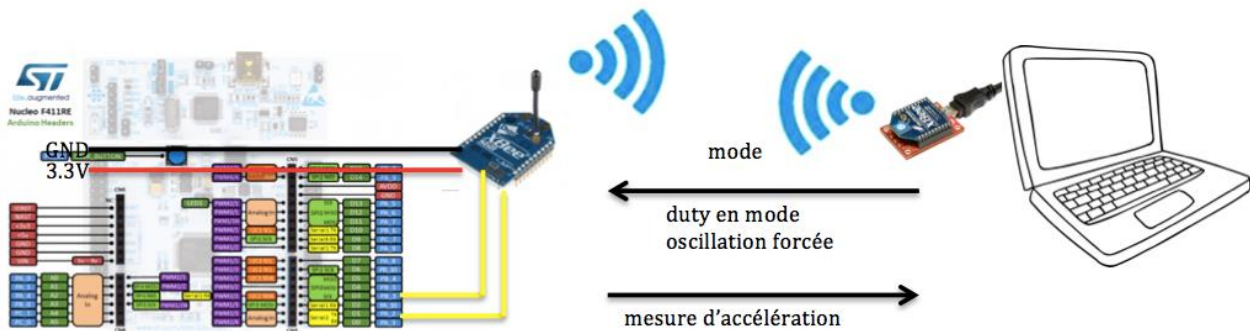
Le module uart.py implémentera les fonctions qui permettent la lecture et l'écriture sur le port série. Le module windows.py utilisera ces fonctions pour communiquer avec la carte Nucleo, réalisera l'affichage graphique de l'IHM, le traitement des données et l'affichage des différents résultats.

#### III.1 Dialogue entre la carte d'acquisition et l'IHM :

##### III.1.1 Support de communication :

L'IHM et la carte Nucleo dialoguent pour l'instant via une liaison filaire en utilisant le protocole UART. Nous avons pensé à mettre en place à l'avenir une liaison sans fil grâce à des Xbee. La carte Nucleo ou l'ordinateur dialoguera en UART avec le Xbee pour envoyer ou réceptionner des informations. Peu de modifications seront donc à apporter aux codes de l'IHM et de la carte Nucleo.

### III.1.2 Information échangée entre l'IHM et la carte Nucleo :



*Les échanges entre la carte Nucleo et l'ordinateur*

Côté ordinateur, la lecture des informations sur la liaison série se fait par paquet de deux octets et l'écriture se fait par un octet codé en little endian (les octets de poids faible sont placés en tête).

Coté carte Nucleo, la réception des informations se fait par interruption et sur 3 octets que l'on décale et masque pour reconstituer l'information ; l'envoi d'information se fait sur 2 octets.

L'IHM envoie sur la liaison série le mode dans lequel l'utilisateur souhaite travailler vers la carte Nucleo sous forme de trois digits, chacun codé sur huit bits (mode conditions initiales : code 200, mode oscillation libre : code 300, mode oscillation forcée : code 400, aucun mode de sélectionné : code 500).

En mode oscillation forcée, l'IHM envoie aussi le rapport cyclique du signal PWM à la carte Nucleo. Ce rapport cyclique est sous la forme d'un pourcentage sur trois digits, chacun codé sur huit bits.

La carte Nucleo envoie périodiquement à l'IHM, grâce à la liaison série, les valeurs d'accélération mesurées par le capteur et codées sur douze bits (premier octet : les huit MSB, deuxième octet : quatre zéros et les quatre LSB).

Pour améliorer l'IHM et prévenir la désynchronisation de l'IHM, il serait intéressant d'envoyer une trame de synchronisation tous les  $n$  trames ( $n$  à choisir judicieusement) de données pour resynchroniser l'ordinateur sur les trames émises pour la carte Nucleo.

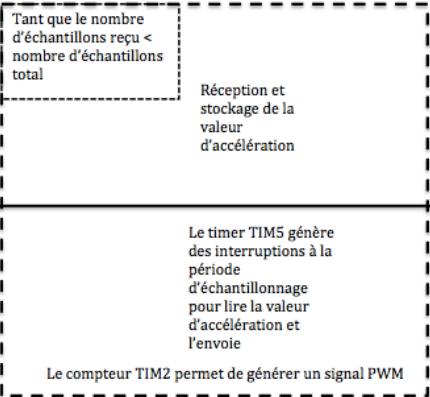
#### **Chronologie des échanges entre la carte Nucleo et l'IHM et les traitements**

# Ordinateur

L'utilisateur choisit dans quel mode il souhaite travailler (oscillation libre ou forcée). Il choisit la durée d'expérimentation. S'il a choisi le mode oscillation forcée, il doit aussi renseigner la vitesse du moteur.

Calcul du nombre d'échantillons total à recevoir en fonction de la durée de l'expérimentation et de la période d'échantillonnage. Si en mode oscillation forcée calcul du rapport cyclique du signal PWM.

Envoi du mode et du rapport cyclique



Conversion de chaque valeur d'accélération en  $m/s^2$  et intégration pour obtenir la vitesse et la position

Calcul de la transformée de Fourier  
Affichage des graphiques

Temps

# Carte Nucleo

Réception du mode et du rapport cyclique

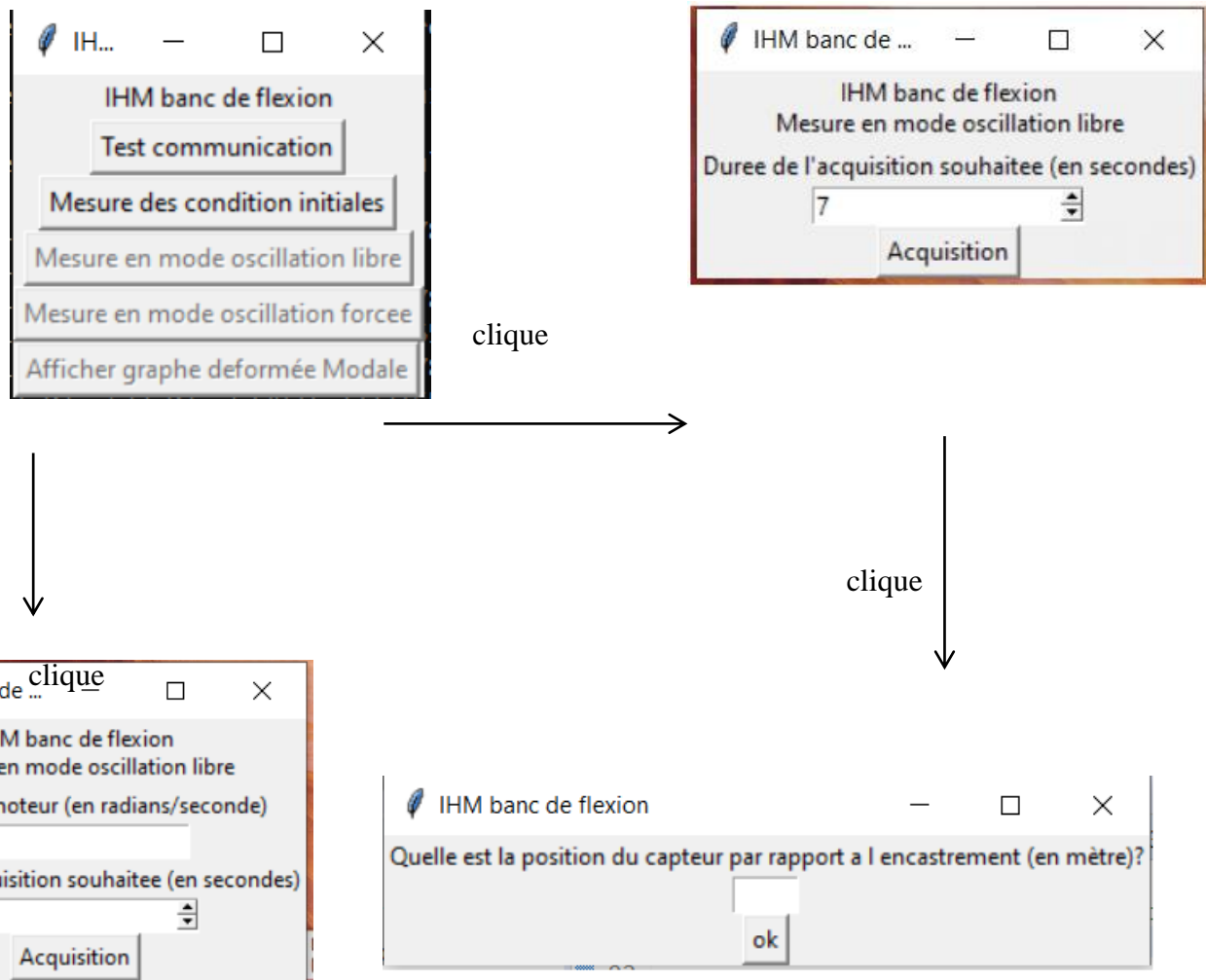
Le timer TIM5 génère des interruptions à la période d'échantillonnage pour lire la valeur d'accélération et l'envoi

Le compteur TIM2 permet de générer un signal PWM

Schéma de la chronologie des échanges entre la carte Nucleo et l'IHM et les traitements

## III.1.3 IHM pour le lancement de l'acquisition

Voici des captures d'écran de l'IHM et des flèches pour expliquer la navigation entre les différentes fenêtres :



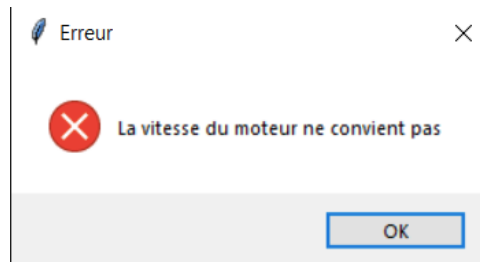
Liens entre les différentes fenêtres de l'IHM

Le bouton « Mesure des conditions initiales » devient cliquable lorsque la communication a été testée.

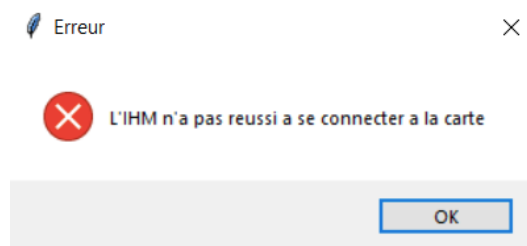
Les boutons « Mesure en mode oscillation libre » et « Mesure en mode oscillation forcée » deviennent cliquables lorsque les conditions initiales ont été mesurées.

Le bouton « Afficher graphe de déformée modale » devient cliquable lorsqu'une mesure a été effectuée.

Toute mesure commence par « test de communication » puis « mesure des conditions initiales ».



*Pour ce message d'erreur, il convient de choisir une vitesse plus petite.*



*Pour ce message d'erreur, deux sources possibles : la carte Nucleo n'est pas branchée à l'ordinateur ou le programme d'acquisition de la carte Nucleo n'est pas lancé.*

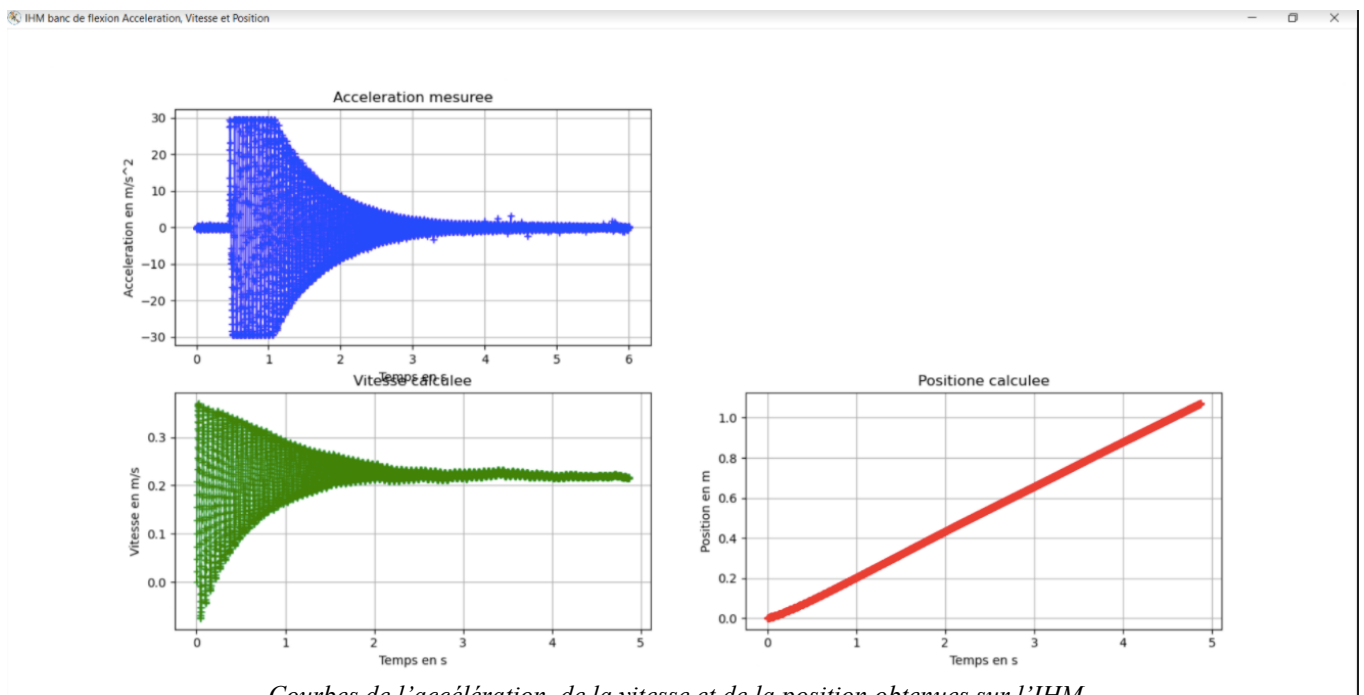
### **Les résultats obtenus à ce jour**

Dans l'état actuel d'avancement, ne disposant pas d'un banc de flexion et d'une lame qui pourrait y être installée, nous avons testé l'IHM et le code destiné à la carte d'acquisition en plaçant l'accéléromètre sur une règle en plastique de 40 cm, encastrée grâce à deux serre-joints sur 5 cm et en la faisant vibrer horizontalement.



Installation « maison » : une règle en plastique, encastrée sur un pied de table par des serre-joints, munie du capteur à son extrémité gauche, fixé par un serflex

Voici les courbes obtenues sur l'écran d'ordinateur :



*Courbes de l'accélération, de la vitesse et de la position obtenues sur l'IHM*

La courbe d'accélération est obtenue en convertissant les valeurs de l'accélération en  $\text{ms}^{-2}$  (cf. § Approche de la caractéristique réelle du capteur et intégration). De 0,5s à 1,2s le capteur atteint ses plages de saturation minimale et maximale.

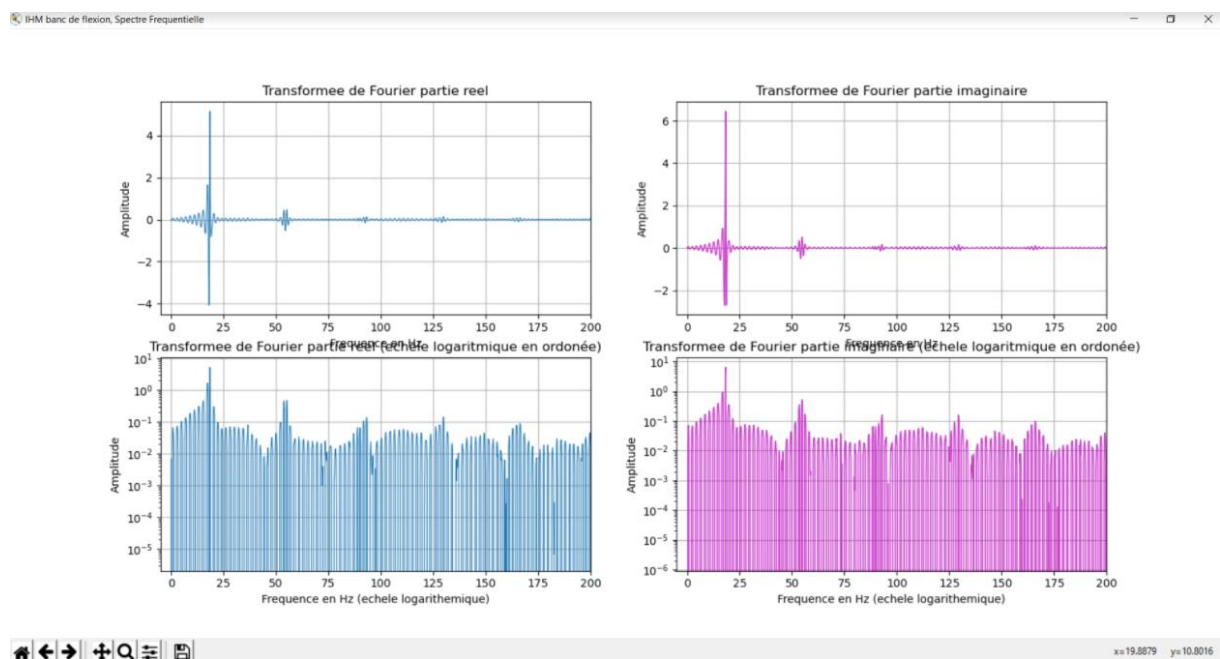
L'intégration de l'accélération grâce à la méthode des trapèzes, pour obtenir la vitesse, ne se fait qu'en dehors de cette plage de saturation, lorsque la valeur de l'accélération est dans l'intervalle  $[-2,4g ; +2,4g]$ . La courbe de position est obtenue en intégrant, grâce à la méthode des trapèzes, la courbe de vitesse. La courbe de vitesse est centrée sur une droite horizontale

d'ordonnée à l'origine  $b$  ; la vitesse initiale n'étant pas connue,  $b$  n'est, en général, pas nulle. On obtient alors une courbe de position dont l'allure générale est une sinusoïde amortie autour d'une droite dont la pente est  $b$ . Il est évident que la valeur de  $b$  doit être zéro ; nous ne nous sommes pas penchés davantage sur ce problème pour le résoudre.

Nous affichons aussi :

- le spectre fréquentiel de la partie réelle
- le spectre fréquentiel de la partie imaginaire
- la valeur absolue des amplitudes réelles en fonction des fréquences sur une échelle logarithmique en ordonnée
- la valeur absolue des amplitudes imaginaires en fonction des fréquences sur une échelle logarithmique en ordonnée.

Les spectres fréquentiels ont été calculés par application de la fonction `fft` (de la bibliothèque Scipy) sur l'accélération.



*Spectre fréquentiel de l'accélération affiché sur l'IHM*

Les pics de ce spectre fréquentiel permettent d'identifier les fréquences propres appartenant à chaque mode propre.

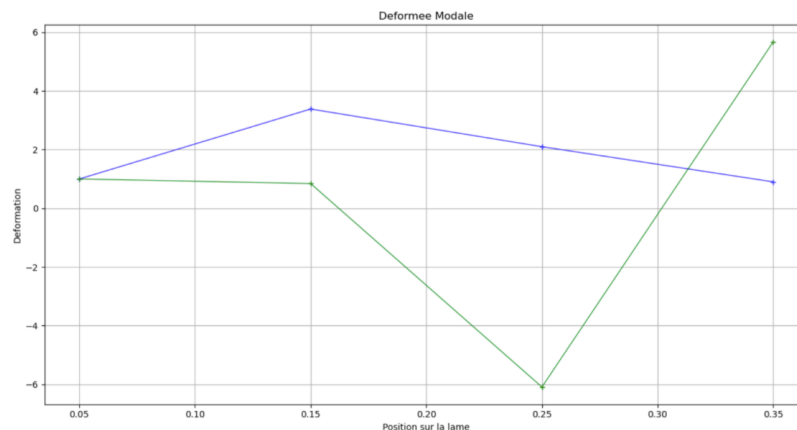
### **Méthode de calcul de la déformée modale :**

Voici la méthode de calcul permettant de calculer la déformée modale à partir des fréquences propres et de leur amplitude :

1. On lance l'IHM en mode oscillation libre. On place le capteur à un endroit sur la règle. On note sa  $\begin{matrix} [ ] \\ \text{SEP} \end{matrix}$  Position dans la fenêtre de dialogue ; elle est stockée dans un tableau.  $\begin{matrix} [ ] \\ \text{SEP} \end{matrix}$
2. On lance l'acquisition puis on fait osciller la règle une première fois. On relève les deux plus petites fréquences propres sur le graphique qui s'affiche sur l'écran. Ces valeurs sont entrées en réponse à la fenêtre de l'IHM qui s'ouvre. L'algorithme cherche alors l'amplitude des pics associés à ces fréquences propres. L'algorithme stocke ces fréquences propres et ces amplitudes dans le tableau. Le bouton « afficher le graphe de la déformée modale » devient cliquable lorsqu'au moins une mesure a été faite. Cliquer dessus n'empêche pas de faire d'autres mesures ultérieurement.  $\begin{matrix} [ ] \\ \text{SEP} \end{matrix}$
3. On déplace le capteur. On répète l'opération 1, on lance l'acquisition puis on fait osciller la règle comme en 2 sauf que l'algorithme recherche automatiquement les deux plus petites fréquences propres autour des fréquences renseignées en 2 et l'amplitude des pics associés. Ces valeurs sont stockées dans le tableau.
4. On répète l'étape 3 autant de fois que souhaité.
5. On clique sur le bouton « afficher le graphe de la déformée modale ». L'algorithme divise l'amplitude de la partie réelle de chaque pic du tableau par l'amplitude de la partie réelle du premier pic mesuré. A chaque fois, cette valeur est stockée dans un nouveau tableau dans le même ordre que dans le tableau précédent, ce qui permet d'associer chaque position du capteur au rapport calculé. Puis le graphique de la déformée modale est affiché. En abscisse, ce graphique affiche les différentes positions du capteur et en ordonnée le rapport associé à cette position. Les deux courbes correspondant aux deux premiers modes propres sont tracées sur un même graphique.

Voici le graphe de la déformée modale que l'on obtient avec les mêmes conditions d'expérimentation que précédemment. L'accéléromètre été placé initialement à 5cm de l'encastrement pour la première mesure puis déplacé trois fois de 10 cm.

Le graphe de la déformée modale obtenu à partir des amplitudes de la partie imaginaire reste à implémenter ; il pourra être comparé à celui obtenu à partir des amplitudes de la partie réelle.



Graphique de la déformée modale obtenu à partir des amplitudes de la partie réelle

Pour l'instant, les résultats obtenus sur l'IHM n'ont pas pu être validés par une simulation Scilab.

### **Le travail qu'il reste à faire pour la partie électronique et suggestion d'amélioration**

Voici une liste de l'ensemble des choses que nous n'avons pas eu le temps ou les moyens de mettre en place :

- Confronter l'IHM à la simulation afin de valider ou non son fonctionnement,
- L'envoi de trame de synchronisation entre l'IHM et la carte d'acquisition,
- La partie de l'IHM concernant l'excitation forcée est à approfondir,
- Le choix et l'achat du moteur en concertation avec la partie dimensionnement dynamique,
- La mise en place du capteur de déplacement incrémental et du correcteur afin d'asservir le moteur en vitesse,
- Le choix et l'achat des alimentations pour le moteur et la carte Nucleo,
- Le choix et l'achat de le hacheur même si M BOURGEOT nous a conseillé LMD18200 55V 3A de chez Texas Instrument,
- Le choix technologique, l'achat et la mise en place d'un capteur d'intensité pour la surveillance du moteur,
- Le choix technologique, l'achat et la mise en place d'un capteur de température pour la surveillance du moteur,
- Le choix et l'achat du relais, des capteurs détectant l'ouverture des portes du carter de protection, du bouton d'arrêt d'urgence et du bouton poussoir marche/arrêt,
- Mise en place de la communication sans fil avec le Xbee ainsi qu'implémenter le test de communication au lancement de l'IHM

Voici une liste de potentielle amélioration :

- Utiliser un accéléromètre avec une plus grande plage de mesure

### **Où trouver le code de l'IHM ? Quelle librairie installer sur son ordinateur pour que l'IHM fonctionne ?**

Le code de l'IHM ainsi que le code de la carte Nucleo est actuellement stocké sur le gitlab de l'ENIB sous le nom CMV banc de flexion. M. BOURGEOT et M. HELBERT y ont accès en tant que maintien ; ils pourront t'y ajouter.

Le code de la carte Nucleo a été conçue sur le logiciel STM32CubeIDE que tu peux télécharger sur ce site internet : <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>

Le code de l'IHM utilise python3 et les librairies :

- pyserial (<https://pypi.org/project/pyserial/> <https://pythonhosted.org/pyserial/>)
- Tkinter (<https://tkdocs.com/tutorial/install.html>)
- NumPy (<https://numpy.org/>)
- SciPy (<https://www.scipy.org/>)

Mathplot



# **ANNEXE**

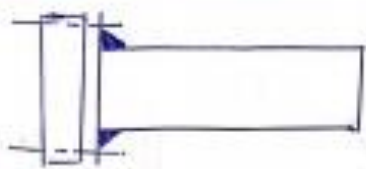
## Annexe 1 : Cahier de charge global

Le bâti	<p>Exigences : Un bâti déjà existant au sein de l'ENIB servant à étudier la vibration de corde doit être adapté.</p> <p>Il devra peut-être être agrandi afin d'éviter les collisions entre le bâti et la lame, ce qui fausserait les résultats de l'expérimentation.</p>
La lame	<p>Exigences :</p> <p>La lame pourra être fixée de façon horizontale ou verticale.</p> <p>Les lames pourront être réalisées dans différents matériaux et avoir différentes tailles.</p>
Liaison encastrement permettant de maintenir la lame	<p>Exigences : La liaison encastrement doit pouvoir maintenir solidement la lame en son extrémité. Elle doit pouvoir maintenir des lames de dimensions et matériaux différents.</p> <p>La surface encastree de la lame doit être assez importante pour réaliser un encastrement correct.</p> <p>La lame pourrait être fixée de façon à avoir une vibration horizontale.</p>
Installation de masses et d'amortisseurs	<p>Exigences : Des masses que l'on pourra assimiler ponctuelles et des amortisseurs pourront être mis en place pour voir leur influence d'où la nécessité de concevoir d'un support mobile pour la fixation des masses, des amortisseurs et des capteurs</p>
Alimentation	<p>Le système sera alimenté en énergie grâce au secteur (230V 50Hz). Le système aura une tension au maximum de 24V et une intensité de 10A pour la sécurité de l'utilisateur.</p>
Chaîne d'acquisition de données	<p>Exigences : La chaîne d'acquisition doit pouvoir acquérir soit la position soit l'accélération de la lame à intervalle de temps régulier.</p> <p>Cette chaîne d'acquisition doit être adaptable, c'est-à-dire pouvoir être utilisée facilement quel que soit l'orientation de la lame (horizontale ou verticale) et sa position.</p> <p>La carte d'acquisition sera installée sur la machine. Elle communiquera avec l'IHM grâce à une liaison sans fil ce qui évitera de transporter le banc de flexion à chaque utilisation à proximité d'un ordinateur. Elle sera alimentée grâce à une batterie. Un système permettra de l'isoler du bâti et des vibrations afin de ne pas perturber c'est traitement ou endommager des composants.</p>
L'interface entre l'Homme et la Machine (IHM)	<p>L'IHM sera réalisé sur l'ordinateur.</p> <p>Avant tout chose l'IHM doit pouvoir tester la communication entre la carte d'acquisition et elle-même.</p>

	<p>L'IHM doit pouvoir lancer une acquisition du mesurande.</p> <p>Il doit aussi pouvoir lancer le moteur et régler sa fréquence de rotation pour l'excitation forcée de la lame. Il doit aussi pouvoir afficher continuellement l'intensité consommée par le moteur ainsi que sa température.</p> <p>L'IHM doit pouvoir mettre en évidence les différentes grandeurs physiques mesurées ou calculées à travers des graphiques pour pouvoir les comparer à la théorie.</p> <p>Un système permettant de communiquer à distance avec la carte d'acquisition pour éviter une liaison filaire entre la carte d'acquisition et l'ordinateur sera mis en place.</p> <p>L'IHM doit pouvoir sauvegarder les mesures dans un format ouvert.</p>
L'électronique autour du moteur réalisant l'excitation forcée	<p>L'électronique autour du moteur doit permettre sa mise en route, son arrêt ainsi que de faire varier sa vitesse de rotation. Le moteur ne tournera que dans un sens.</p> <p>Un capteur de température permettra de suivre l'évolution de la température du moteur au cours du temps sur l'IHM.</p> <p>Un capteur d'intensité permettra aussi de suivre sur l'IHM l'évolution du courant consommé par le moteur au cours du temps.</p>
Système permettant la transformation du mouvement de rotation du moteur en excitation sur la lame	<p>Exigences :</p> <p>Le système permettant de transformer le mouvement de rotation du moteur en excitation sur la lame doit être adaptable pour pouvoir réaliser l'excitation en tout point de la lame avec une fréquence maximale 62 rad/s et une course réglable allant jusqu'à 50 mm.</p>
Système pour éviter de transmettre les vibrations mécaniques à l'ensemble de la structure	<p>Exigences :</p> <p>Un système sera aussi mis en place pour éviter de transmettre les vibrations mécaniques à l'ensemble de la structure.</p>
Assurer la sécurité de l'utilisateur	<p>Exigences :</p> <p>Le système doit pouvoir être utilisé en toute sécurité (mécanique et électrique) en ayant une bonne documentation des procédures opératoire sur la machine.</p>

## Annexe 2 : Solutions techniques pour la fixation de la lame verticalement

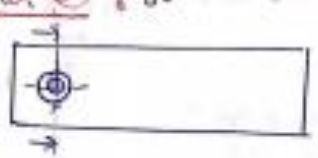
**Solution ①** : fixation avec le sachet + Visage



**Avantages**  
 → Pas de contact direct → pas d'opercule  
 → pas de P

**Inconvénient**  
 → sachet doit protéger

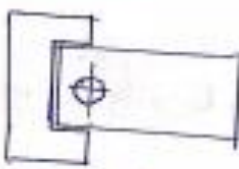
**Solution ②** : solution fronton avec système de ressort



**AV**  
 → système à ressort  
 → les lames de diff. épaisseur

**Im**  
 → risque de dévissage  
 → pas rigide


**Solution ③** : fixation avec une rainure + verrouillage



**AV**  
 → rainure siglé à recouler

**Im**  
 → risque d'opercule  
 → coût élevé  
 → pas utilisable pour les autres lames

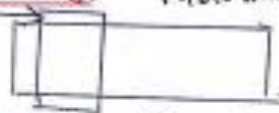
**Solution ④** : fixation par vissage de 4 trous sur lame et sur la partie



**AV**  
 → rigide  
 → peu

**Im**  
 → trop d'opercule sur les lames  
 → fixation non unifiée

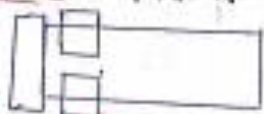
**Solution ⑤** : fixation avec des aimants



**AV**  
 → facile à retirer

**Im**  
 → non utilisable pour les autres métaux  
 → pas rigide  
 → coût élevé

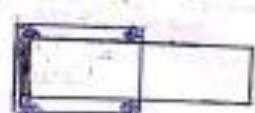
**Solution ⑥** : fixation avec des pinces + butée



**Avantages**  
 → économique  
 → rigide

**Inconvénient**  
 → fixation non unifiée

**Solution ⑦** : fixation par vissage 4 trous sur la partie

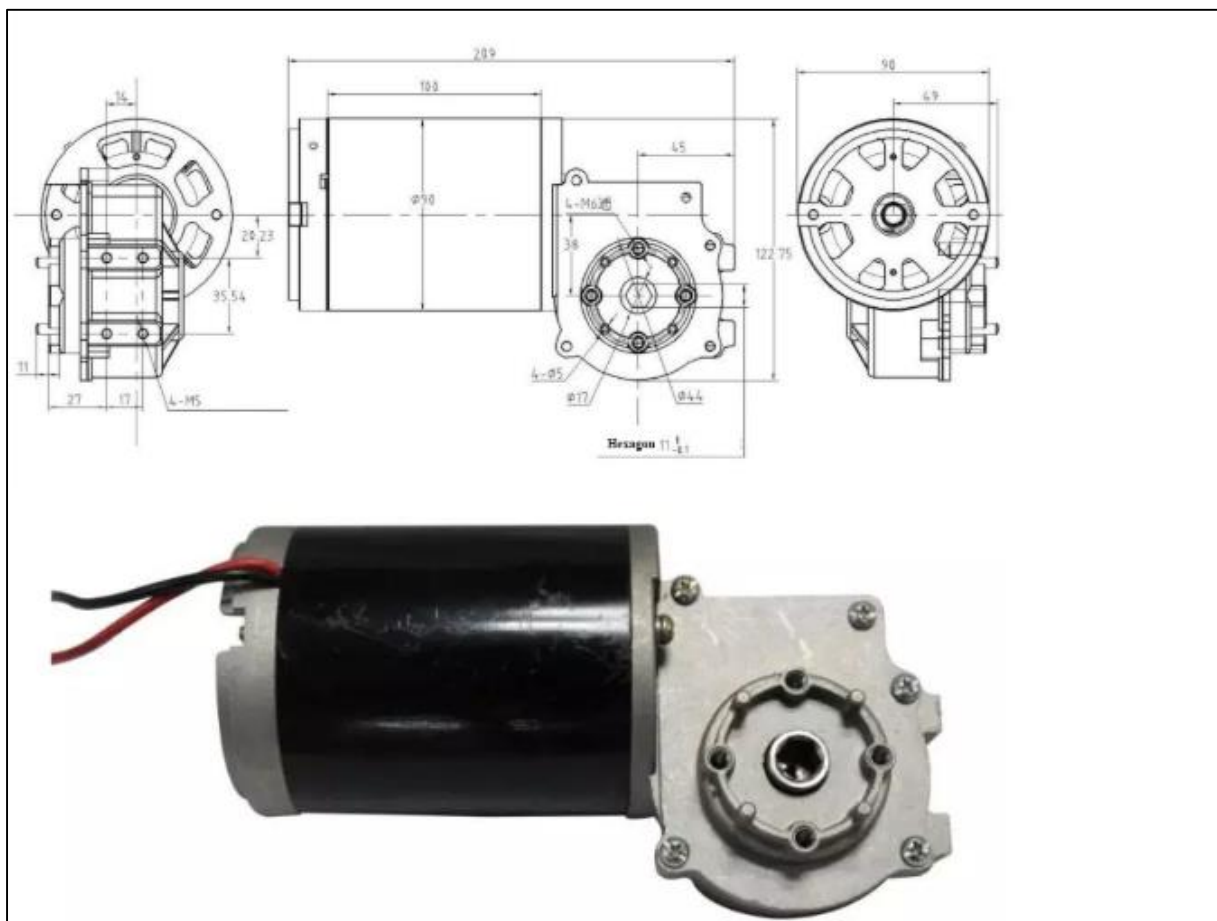


**Avantages**  
 → facile  
 → rigide  
 → unifiée sur toutes les lames

**Inconvénient**  
 → opercule sur les lames

### Annexe 3 : Catalogue moteur à courant continu

Modèle	Tension (V)	Puissance (W)	Sans Charge		Charge			Rapport de vitesse	Longueur (mm)
			Vitesse (tr/min)	Courant (A)	Vitesse (tr/min)	Courant (A)	Couple (N.m)		
LY90Z-220300-85	220	300	85±8	≤ 0.2	68±6	≤ 1.0	≥ 25	45	100
LY90Z-24200-70	24	200	70±7	≤ 1.6	60±5	≤ 8.0	≥ 15	45	100
LY90Z-24200-60	24	200	60±6	≤ 1.6	50±5	≤ 8.0	≥ 15	66	100
LY90Z-24300-70	24	300	70±7	≤ 2.0	60±6	≤ 8.0	≥ 20	66	100
LY90Z-220400-110	220	400	110±8	≤ 0.4	80±5	≤ 1.3	≥ 30	45	100
LY90Z-220200-45	220	200	45±5	≤ 1.0	35±5	≤ 1.3	≥ 30	66	100



## Annexe 4 : Partie sécurité

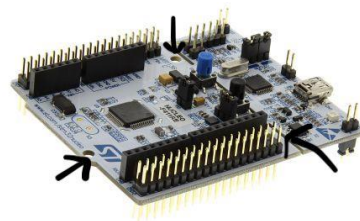
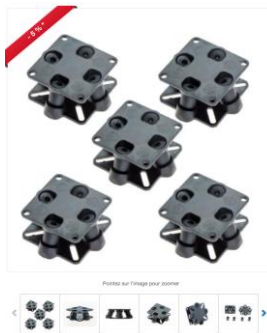
Recherches de solutions pour fixer la carte Nucleo au banc de flexion :

Nous avons plusieurs possibilités pour fixer la carte, étant donné que le banc va vibrer cela risque d'endommager la carte nucléo.

Nous pouvons donc utiliser un support anti-vibration, de la mousse ou bien seulement avec des vices (si le problème de vibration est négligeable)

Sur la carte il y a 3 trous qui nous permettent de la fixer facilement avec des vis.

- Support anti-vibration (figure 1)
- Support spécifique
- Fixation avec des vices (figure 2)



Sécurité :

Le banc d'essai doit être entièrement protégé pour éviter tout risque pouvant mener à un dommage sur l'utilisateur ou quelconque personne se trouvant à proximité.

Nous avons pensé à couvrir le banc avec des vitres en plexiglass afin de ne pas obstruer la vue lors de l'utilisation.

La protection sera composée de protecteurs fixes tout autour du banc sauf sur un côté il y aura un protecteur mobile (porte) permettant d'accéder à la lame et aux autres éléments du banc.

Protecteurs mobiles	§	Cas d'utilisation
Avec dispositif de verrouillage à un seul interrupteur	4.4-A	Protecteurs manœuvrés occasionnellement <sup>4</sup>
à manœuvre positive d'ouverture	4.4-B	(par exemple 10 fois par jour)
ou deux détecteurs de position	&	Protecteurs de transmissions
à commande non mécanique (inductifs, magnétiques, etc.)	4.4-C	Protecteurs pour zone de réglage

Protecteurs fixes	§	Cas d'utilisation
Sans dispositif de verrouillage	4.3	Protecteurs rarement manœuvrés (par exemple une fois par mois) Protecteurs de courroies, d'éléments de transmission de puissance

Le protecteur mobile sera muni d'un capteur pour déterminer si la porte est ouverte ou fermée, qui lui, sera directement lié au circuit électrique par un contact normalement fermé. (Porte ouverte = impossible de faire vibrer la lame)

Matériel nécessaire : (pièces modulables trouvées sur [elcom.fr](http://elcom.fr))

- Vitre en plexiglass (dimension du banc)
- Contact d'ouverture/fermeture de porte
- Charnières, poignée, fixation plexiglass (figure 4, 5, 6)



## Annexe 5 : Cage à aiguilles

### Cages à aiguilles

A une rangée

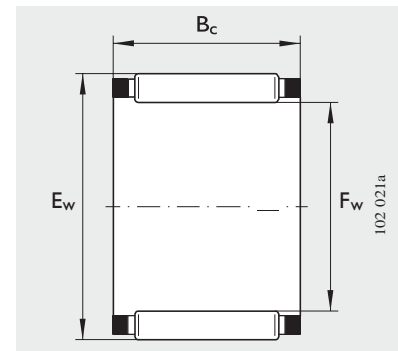


Tableau de dimensions (en mm)

Désignation	Masse m =g	Dimensions			Charges de base		Charge limite à la fatigue $C_{ur}$ N	Vitesse e limite $n_G$ $\text{min}^{-1}$	Vitesse de base $n_B$ $\text{min}^{-1}$
		$F_w$	E w	$B_c$	dyn. $C_r$ N	stat. $C_0$ rN			
<b>K3X5X7-TV</b>	0,3	<b>3</b>	5	7	1 540	1 290	152	50 000	78 000
<b>K3X5X9-TV</b>	0,4	<b>3</b>	5	9	1 710	1 480	188	50 000	80 000
<b>K3X6X7-TV</b>	0,4	<b>3</b>	6	7	1 430	970	109	47 000	75 000
<b>K4X7X7-TV</b>	0,5	<b>4</b>	7	7	1 740	1 270	145	42 500	59 000
<b>K4X7X10-TV</b>	0,7	<b>4</b>	7	10	2 330	1 840	236	42 500	59 000
<b>K5X8X8-TV</b>	0,7	<b>5</b>	8	8	2 350	1 920	237	39 000	48 000
<b>K5X8X10-TV</b>	0,9	<b>5</b>	8	10	3 000	2 650	350	39 000	47 000
<b>K6X9X8-TV</b>	0,8	<b>6</b>	9	8	2 600	2 280	285	36 500	41 000
<b>K6X9X10-TV</b>	1,1	<b>6</b>	9	10	3 350	3 150	420	36 500	40 000
<b>K6X10X13-TV</b>	1,9	<b>6</b>	1 0	13	3 800	3 100	395	35 500	40 000
<b>K7X9X7-TV</b>	0,6	<b>7</b>	9	7	1 730	1 770	215	35 500	40 000
<b>K7X10X8-TV</b>	0,9	<b>7</b>	1 0	8	2 850	2 650	330	34 500	36 000
<b>K7X10X10-TV</b>	1	<b>7</b>	1 0	10	3 650	3 600	485	34 500	35 000
<b>K8X11X8-TV</b>	1	<b>8</b>	1 1	8	3 100	3 000	375	32 500	32 000



<b>K8X11X10-TV</b>	1,2	<b>8</b>	1 1	10	3 950	4 100	560	32 500	31 000
<b>K8X11X13-TV</b>	1,7	<b>8</b>	1 1	13	5 100	5 800	790	32 500	30 500
<b>K8X12X10-TV</b>	2	<b>8</b>	1 2	10	5 000	4 700	560	31 500	29 000
<b>K9X12X10-TV</b>	1,5	<b>9</b>	1 2	10	4 500	5 000	680	31 000	27 500
<b>K9X12X13-TV</b>	2,1	<b>9</b>	1 2	13	5 900	7 100	970	31 000	27 000
<b>K10X13X10-TV</b>	1,6	<b>10</b>	1 3	10	4 750	5 500	750	29 500	24 900
<b>K10X13X13-TV</b>	2,3	<b>10</b>	1 3	13	6 200	7 800	1 060	29 500	24 400
<b>K10X13X16-TV</b>	2,9	<b>10</b>	1 3	16	7 100	9 300	1 310	29 500	24 600
<b>K10X14X10-TV</b>	2,5	<b>10</b>	1 4	10	5 800	6 000	720	29 000	23 500
<b>K10X14X13-TV</b>	4,6	<b>10</b>	1 4	13	7 500	8 400	1 020	29 000	23 000
<b>K10X16X12-TV</b>	5,5	<b>10</b>	1 6	12	8 100	7 200	1 000	27 500	21 800
<b>K12X15X10-TV</b>	2,9	<b>12</b>	1 5	10	4 900	6 100	830	27 000	21 500
<b>K12X15X13-TV</b>	2,3	<b>12</b>	1 5	13	6 400	8 500	1 170	27 000	21 100
<b>K12X16X13-TV</b>	5,5	<b>12</b>	1 6	13	8 000	9 400	1 150	26 500	19 900
<b>K12X17X13-TV</b>	4,9	<b>12</b>	1 7	13	9 600	10 400	1 330	26 500	18 800
<b>K12X18X12-TV</b>	6	<b>12</b>	1 8	12	10 000	9 900	1 400	26 000	18 100

## Annexe 6 : catalogue douilles

### Série légère

Douilles à billes

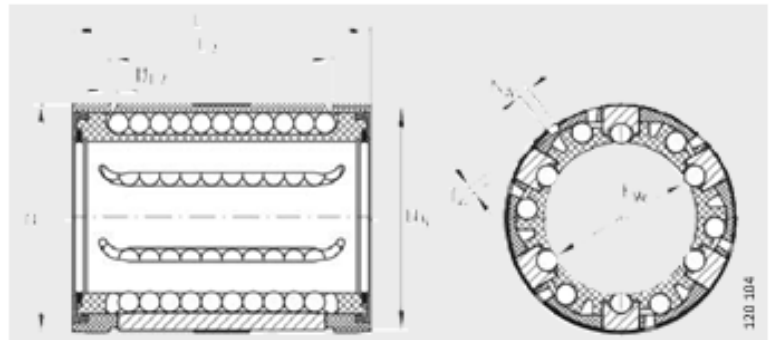
Auto-alignantes

Fermées ou

ouvertes sur un secteur

Avec ou sans étanchéité

Regraissables



KN..-B-PP, KN..-B

Tableau de dimensions (en mm)

Désignation				Masse m =g	Dimensions			Cotes de montage	
					$F_w$	D	L	$B_2^{2)}$	$L_2$ H13
KN12-B-PP	KN12-B	–	–	20	12	22	32	–	22,6
–	–	KNO12-B-PP	KNO12-B					6,5	–
KN16-B-PP	KN16-B	–	–	30	16	26	36	–	24,6
–	–	KNO16-B-PP	KNO16-B					9	–
KN20-B-PP	KN20-B	–	–	60	20	32	45	–	31,2
–	–	KNO20-B-PP	KNO20-B					50	9
KN25-B-PP	KN25-B	–	–	130	25	40	58	–	43,7
–	–	KNO25-B-PP	KNO25-B					110	11,5
KN30-B-PP	KN30-B	–	–	190	30	47	68	–	51,7
–	–	KNO30-B-PP	KNO30-B					160	14
KN40-B-PP	KN40-B	–	–	350	40	62	80	–	60,3
–	–	KNO40-B-PP	KNO40-B					300	19
KN50-B-PP	KN50-B	–	–	670	50	75	100	–	77,3
–	–	KNO50-B-PP	KNO50-B					570	22,5

<sup>1)</sup> Les charges indiquées sont valables uniquement en combinaison avec des arbres trempés (dureté 670 HV + 165 HV) et rectifiés.

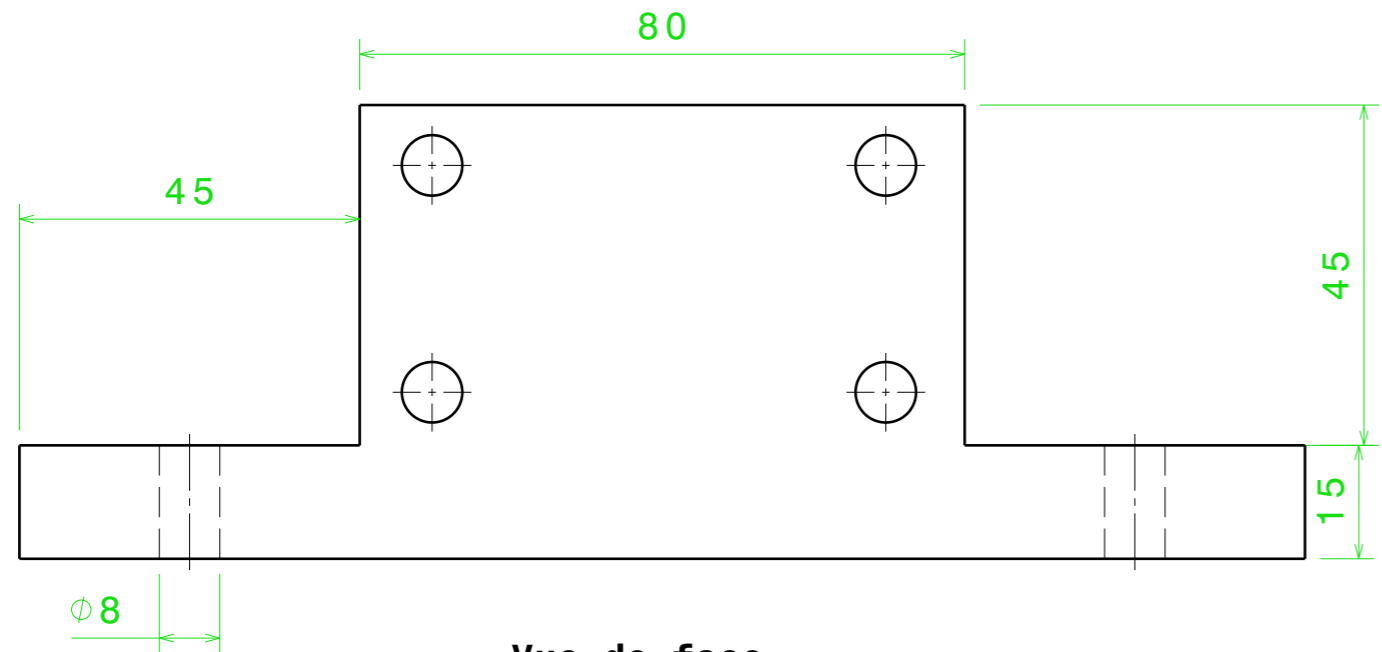
<sup>2)</sup> Cote  $B_2$  au niveau du diamètre  $F_w$ .

<sup>3)</sup> Position des trous symétrique par rapport à la longueur L de la douille.

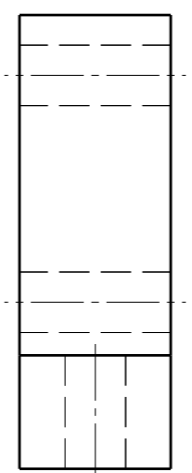
<sup>4)</sup> Charge de base dans la direction de charge principale.

H G F E D C B A

4

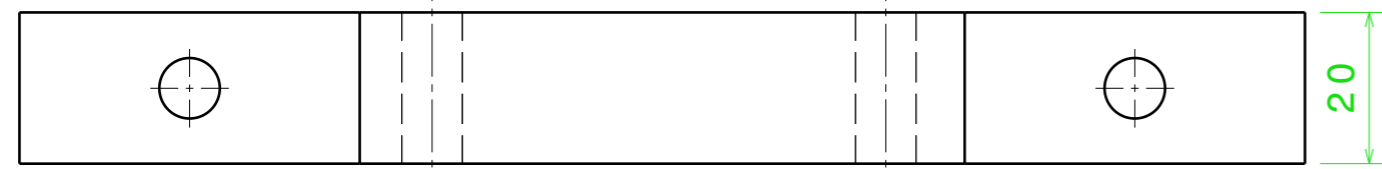


Vue de face

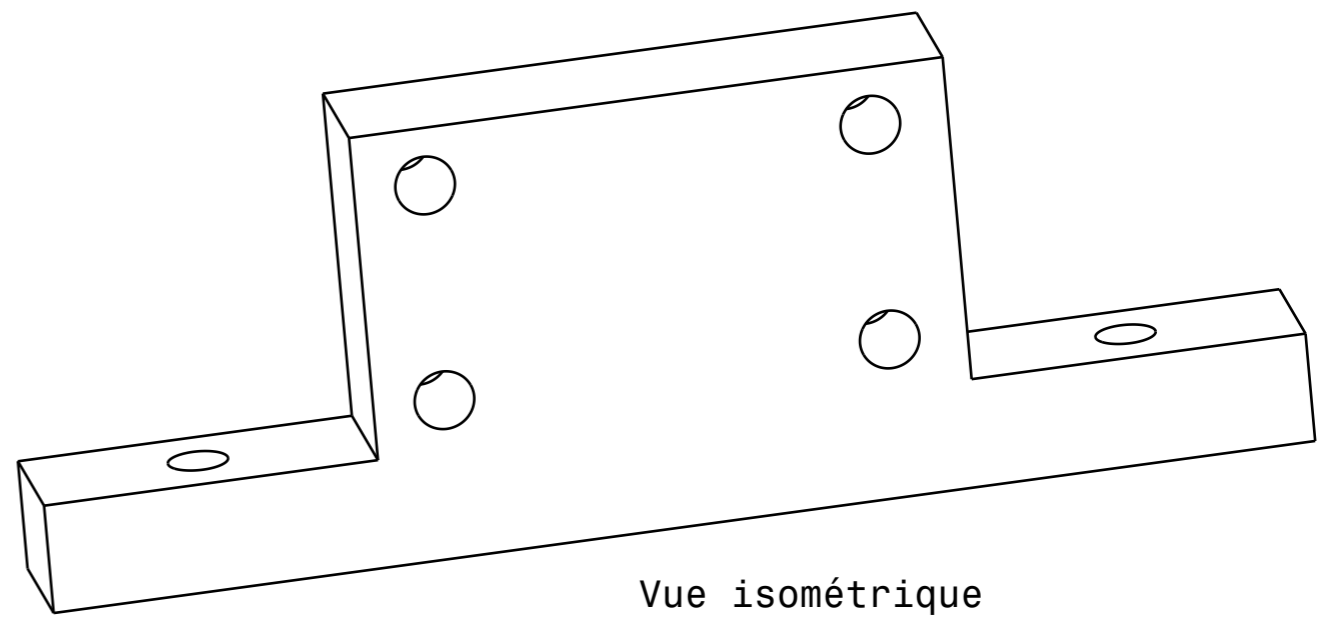


Vue de gauche

3



Vue de dessus



Vue isométrique

2

1

H G B A

DESIGNED BY: <b>LAZIZI Omar</b>			I	-	
DATE: <b>14/06/2020</b>			H	-	
CHECKED BY: <b>XXX</b>			G	-	
DATE: <b>XXX</b>			F	-	
SIZE: <b>A3</b>		<b>Piece de fixation</b>		E	-
SCALE: <b>1:1</b>		WEIGHT (kg): <b>0,12</b>	DRAWING NUMBER: <b>Part1</b>	SHEET: <b>1/1</b>	D
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

4

3

2

1