

# Rapport Global

## Projet TABLE VIBRANTE

Le 16 juin 2020

Fait par :

**Halim El Baba**  
**Corentin Lambert**  
**Edwin Fontenelle**  
**Dylan Garnier**  
**Gabriel Rouvier**  
**Asaad Alakoum**

# 1. Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>2</b>
<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>Conception mécanique</b>	<b>4</b>
Choix d'orientation de la lame	4
Choix du système de transmission du mouvement.	4
Avantages et inconvénients	4
Dessin manuel de l'ensemble	5
Choix des éléments	5
Glissière	6
Poulies	6
Courroie	7
CAO de l'installation	8
<b>Dimensionnement dynamique</b>	<b>16</b>
Schéma cinématique transformation de mouvement	16
Calcul du couple moteur	20
<b>Analyse vibratoire</b>	<b>23</b>
Calcul de la fréquence propre sous Abaqus	23
Analyse modale de la lame	23
Calcul de l'accélération	24
Simulation avec les fichiers Scilab	26
Calculs des pulsations propres	26
Détermination de la course et de la fréquence de la table	27
<b>Contrôle, commande et IHM</b>	<b>33</b>
Schéma de câblage des sécurités et implantation des capteurs	33
Résumé explicatif du schéma	33
Acquisition des données de l'accéléromètre	34
IHM	34
Langage, architecture et bibliothèques utilisées	34
Aperçu de l'IHM réalisé et de sa navigation	35
OPENMECA	36
<b>Annexes</b>	<b>37</b>

## 2. Introduction

Pour ce module de CMV au semestre de Printemps 2020, nous avons choisi de travailler sur la conception d'une table uniaxiale. Le projet a été divisé en différentes parties :

- la conception mécanique,
- le dimensionnement dynamique,
- l'analyse vibratoire,
- le contrôle commande / IHM et l'acquisition des données.

L'objectif étant qu'à la fin du semestre, nous soyons en état de présenter cette table. Malheureusement, à cause des mesures sanitaires liées au Covid19, nous ne pouvions plus accéder aux salles de cours et mener à bien ce projet à la manière prévue. Nous avons réussi à nous adapter en télétravail et pu néanmoins avancer ce projet, certes, plus lentement que prévu mais à un niveau de conception réalisable et pouvant être repris par les futurs groupes.

Ce document est un rapport détaillé du projet "table vibrante". Il présentera, pour chaque domaine du projet, les parties réalisées, les démarches qui ont permis aux résultats ainsi que les choses qui pourront être réalisées par nos successeurs.

L'organisation du groupe sur ce projet a été effectuée de la façon suivante :

Nom/prénom	Rôles	Contact
Halim El Baba	Chef de projet / CAO	h7elbaba@enib.fr
Corentin Lambert	Responsable communication / IHM / Récupération données capteurs	c4lamber@enib.fr
Lorenzo Le Boulbard (P1)	Conception / CAO	l5leboul@enib.fr
Asaad Alakoum (P2)	Conception / CAO	a7alakou@enib.fr
Gabriel Rouvier	Récupération données capteurs / IHM	g6rouvie@enib.fr
Dylan Garnier	Conception / mécanique vibratoire	d5garnie@enib.fr
Edwin Fontenelle	Conception / mécanique vibratoire	e5fonten@enib.fr

Un planning prévisionnel et de l'avancement des tâches a été réalisé et modifié tout au long du semestre, il sera joint à ce rapport sous la forme d'un tableur.

## 3. Conception mécanique

### 3.1. Choix d'orientation de la lame

Il a été décidé par l'ensemble du groupe de créer un mouvement de table horizontal. La lame qui sera fixée dessus sera en position verticale, afin que ses mouvements soient bien visibles par l'utilisateur.

### 3.2. Choix du système de transmission du mouvement.

Le système à poulies-courroie permet de transmettre un mouvement de rotation à une distance plus ou moins importante. Il existe plusieurs types de transmission par poulies-courroie : courroies plates, rondes, trapézoïdales, striées et crantées.

La courroie synchrone est une courroie dentée qui assure une transmission par obstacle et non par adhérence. On l'appelle souvent, de façon impropre, courroie crantée, ce qui prête à confusion, car certaines courroies présentent des encoches semblables à des dents mais dont la fonction est toute autre : il s'agit généralement d'en diminuer la raideur ou parfois d'en améliorer le fonctionnement dans certains milieux difficiles. La fonction de la courroie synchrone est d'assurer une transmission sans glissement.

Les deux poulies choisies sont flasquées afin que la courroie ne sorte pas des poulies.

#### 3.2.1. Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
Souplesse de la transmission due à l'élasticité de la courroie	Usure de la courroie
Possibilité de faire varier l'entraxe	Rapport de transmission irrégulier dû au glissement
Pas de lubrification	Nécessité d'un tendeur de courroie
Silencieux	

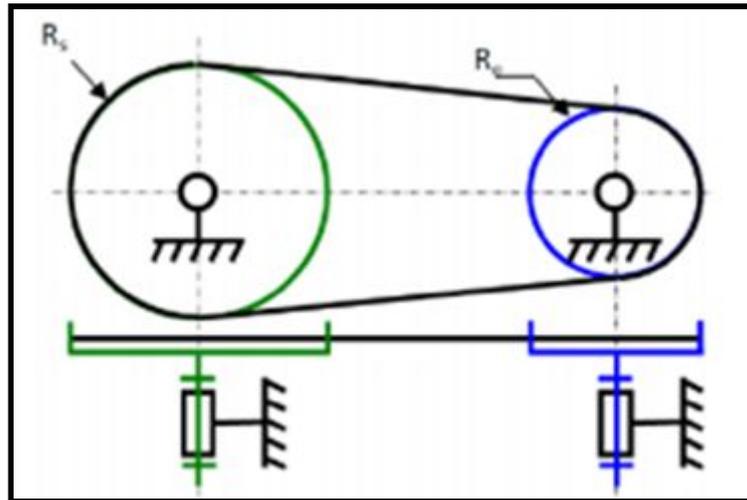


Figure 1 : schéma cinématique poulie-courroie

### 3.3. Dessin manuel de l'ensemble

Après avoir étudié les différentes solutions de mise en mouvement de la table (cf annexe "Document présentation solutions"), un schéma à main levé a été réalisé. Ce schéma global décrit le fonctionnement du système, sans approfondissement des éléments.

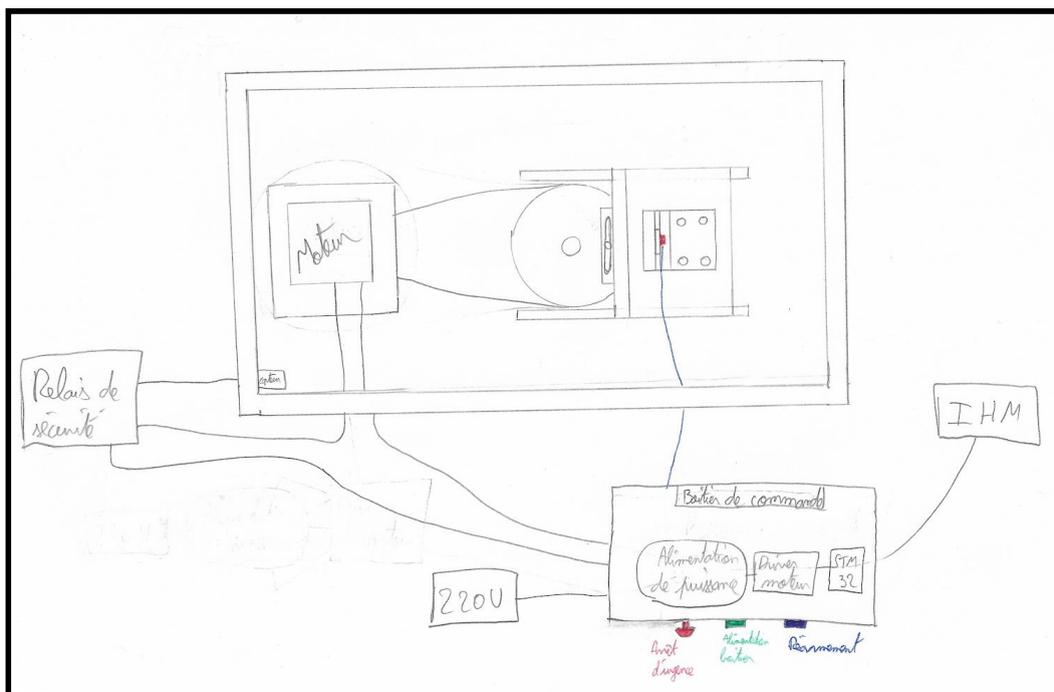


Figure 2 : schéma à main levé de l'ensemble du système

### 3.4. Choix des éléments

Plusieurs éléments étaient à choisir : principalement les glissières, les poulies et la courroie.

### 3.4.1. Glissière

Pour la liaison glissière du système, il a été décidé d'utiliser un rail de guidage à bille. Celui choisi est est à la page 166 du guide Michaud-Chailly :

[https://www.michaud-chailly.fr/custom/docs/produit/guid\\_d/gamme-guidage-entrainement-lineaire-2016-guid-lgam1.pdf?fbclid=IwAR0KjGWq26SpTY3ZoZC7b1Yd\\_KUuWBTfojNJFOCwT34ogi15R8EnSNoZMZQ](https://www.michaud-chailly.fr/custom/docs/produit/guid_d/gamme-guidage-entrainement-lineaire-2016-guid-lgam1.pdf?fbclid=IwAR0KjGWq26SpTY3ZoZC7b1Yd_KUuWBTfojNJFOCwT34ogi15R8EnSNoZMZQ)

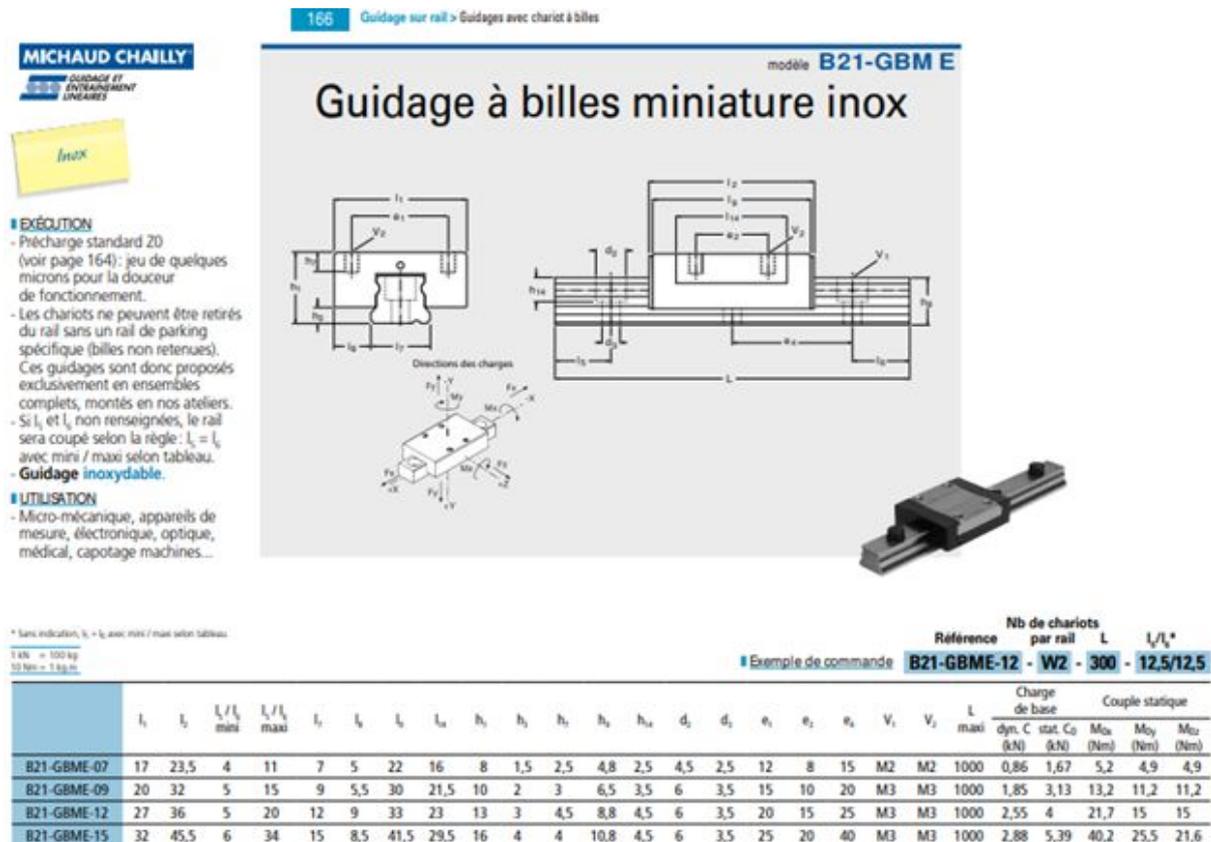


Figure 3: extrait du guide des gammes de guidages de Michaud Chailly

Les avantages de ce guidage sont les suivants :

- Haute performance par rapport à l'espace requis.
- Faible frottement et usure avec un fonctionnement doux sur des surfaces de haute qualité.
- Guidage de précision.
- Grande capacité.
- Jeu de quelques microns.
- Installation et réglage faciles avec peu d'entretien.

### 3.4.2. Poulies

Les poulies choisies sont des poulies dentées à moyeu plein, trouvées sur le site internet de Michaud-Chailly

La poulie menante :

<https://www.michaud-chailly.fr/fr/poulie-dentee-element-serrage-midas-pas-10-mm-a9-t10/>



Figure 4 : type de poulie (menante) choisie chez Michaud Chailly

Référence : A9-40T10-60-5227

Diamètre extérieur (sans flasque) : 189.1mm

La poulie menée :

<https://www.michaud-chailly.fr/fr/poulie-dentee-element-serrage-midas-pas-10-mm-a9-t10/>



Figure 5 : type de poulie (menée) choisie chez Michaud Chailly

Référence : A9-40T10-40-5227

Diamètre extérieur (sans flasque) : 125.45

La poulie menée est plus petite, ce qui nous donnera un rapport de  $189,1/125,45 = 1.5$ .

### 3.4.3. Courroie

La courroie choisie est une courroie dentée simple trouvée sur le site internet du même fournisseur : <https://www.michaud-chailly.fr/fr/courroie-polyurethane-pas-metrique-profil-t10-10-mm-a8-t10/>

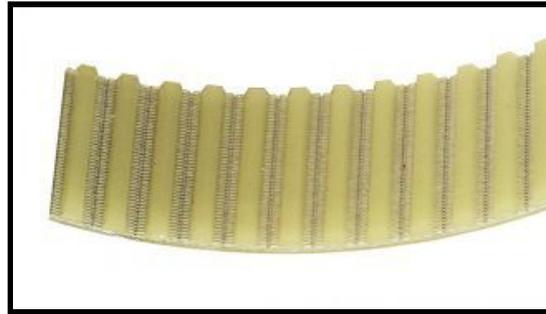


Figure 6 : type de courroie choisie chez Michaud Chailly

### 3.5. CAO de l'installation

Une fois la solution de mise en mouvement de la table et les éléments que nous voulions utilisés choisis, un assemblage du système a été réalisé en CAO. Pour fixer la lame sur la table, il a été décidé de fixer et d'utiliser un mors.

- CAO de la structure extérieure :

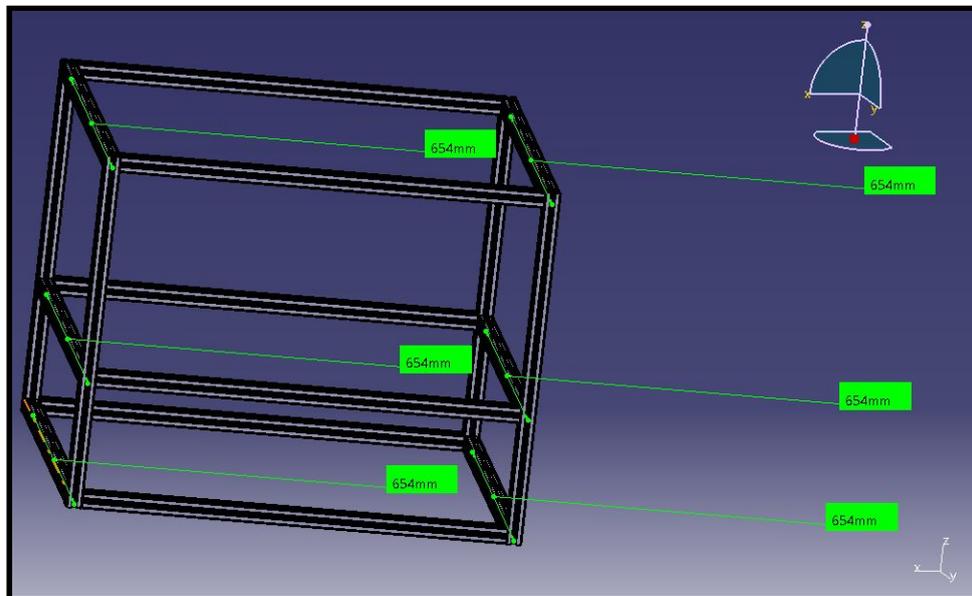


Figure 7 : conception de la structure extérieure sous Catia

- CAO des poulies : selon les choix des poulies, les fichiers CAO sont pris de chez le fournisseur, la première version des poulies :

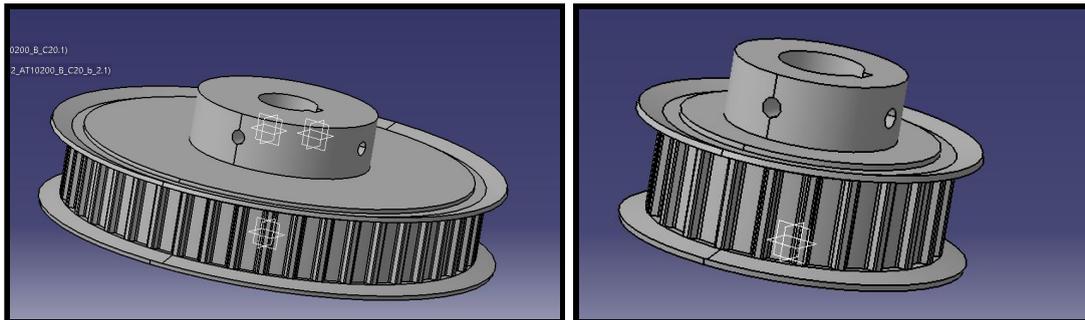


Figure 8 : poulies dentées de 44 dents (à gauche) et de 22 dents (à droite) avec une largeur de courroie de 20mm

- CAO de la glissière :

On a choisi la glissière B21-GBME-15. Cette glissière porte un déplacement douce grâce au petit jeu, ainsi qu'elle supporte un charge et des couples statiques intéressants.

Pour la partie linéaire, on a utilisé deux glissières à billes de type (rail-chariot) B21-GBME-15 fournie par MICHAUD CHAILLY parce que la table support de la lame a pour dimension de 300\*300 mm dont le but de garder une rigidité importante.

La version CAO est fournie par MICHAUD CHAILLY qui est présenté dans la figure 9.

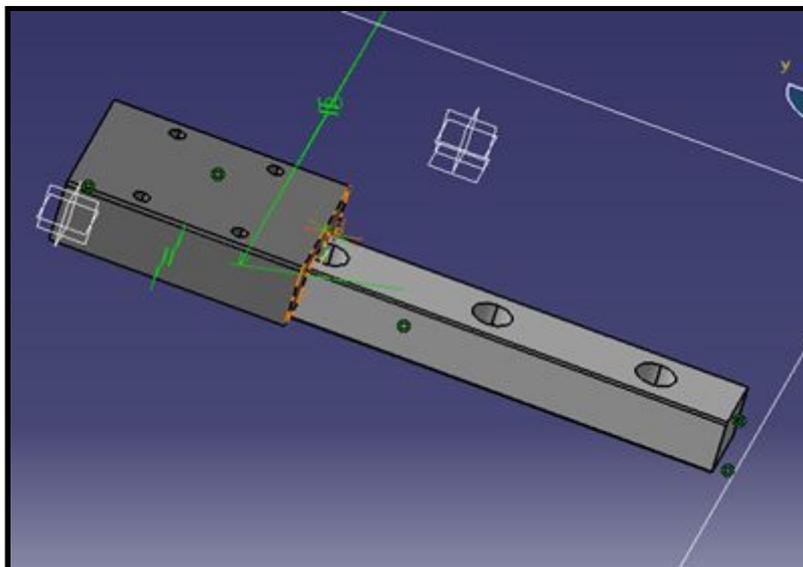


Figure 9 : système glissière à bille B21-GBME-15

- Le choix du modèle de fixation du chariot du système linéaire sur la table est le suivant :

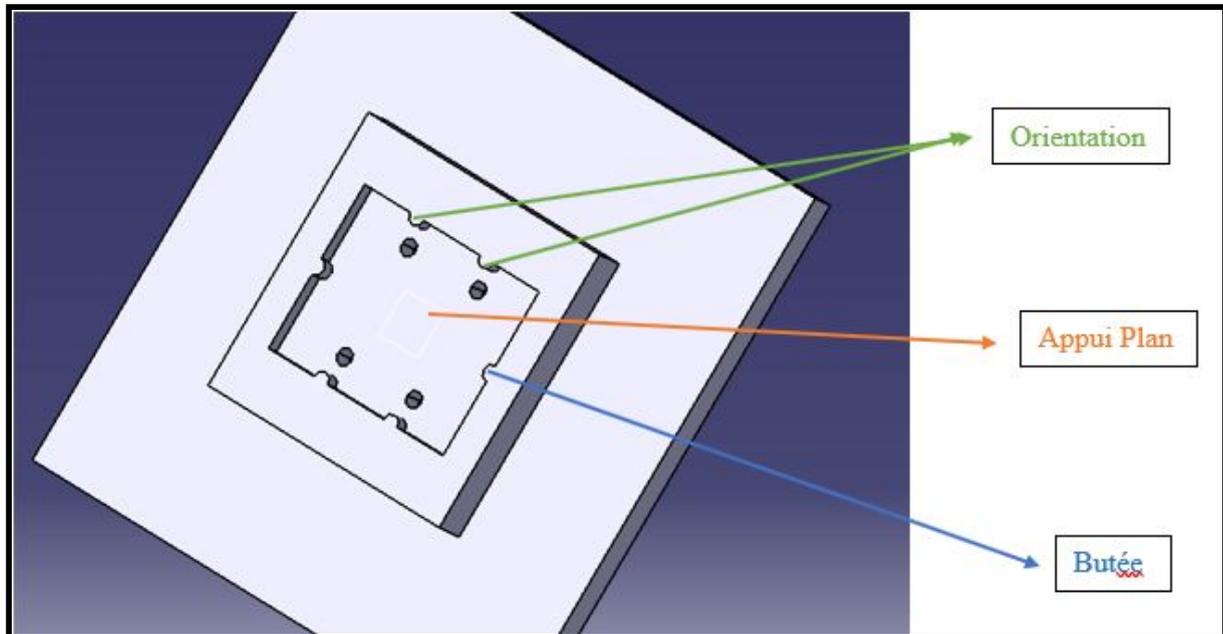


Figure 10 : conception de la table

Pour réussir une conception mécanique juste, il faut maintenir le terme d'isostatisme de tout le système. Toutes les pièces de sous-système doivent être isostatiques entre elles et avec la platine (châssis qui assemble tous les pièces ensembles). Pour un assemblage isostatique deux pièces entre elles, il faut bloqués les 6 degrés de libertés de chaque pièce dans l'espace (3 degrés de translation selon x, y et z et les 3 degrés de rotation selon x, y et z).

Un appui plan qui impose 3 degrés de liaison.

Un centrage court qui impose 2 degrés de liaison.

Un centrage long qui impose 4 degrés de liaison.

Une orientation impose 2 degrés de liaison.

Une butée impose 1 degré de liaison.

Un locating impose 1 degré de liaison.

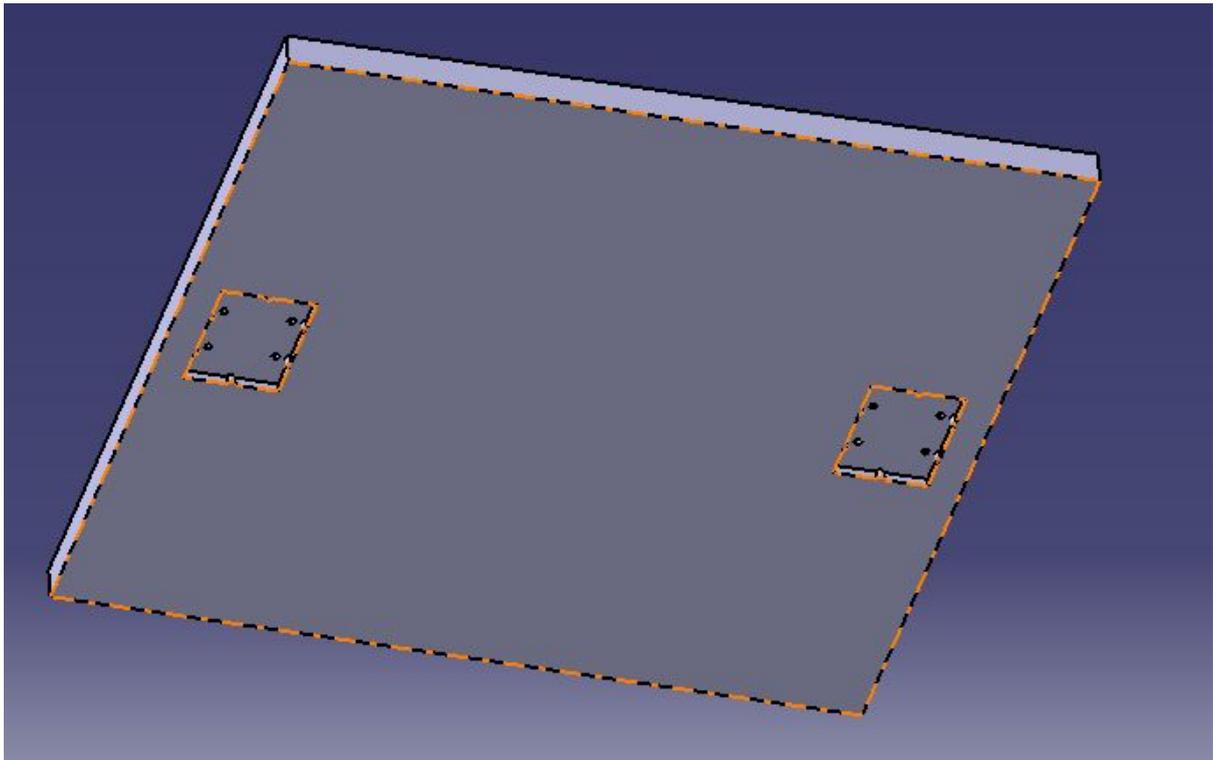
La conception de la table qui sera fixée sur le chariot de la glissière est faite par un système Appui plan-orientation-butée 3-2-1 (figure 10). Tous les degrés de libertés sont bloqués isostatisme appliqué.

Il faut respecter les spécifications de tolérance géométrique, portées sur le dessin technique qui ont pour objet la maîtrise de la géométrie de la pièce à fabriquer ou à imprimer.

- La conception de la table qui relie le système glissière avec la fixation de la lame.

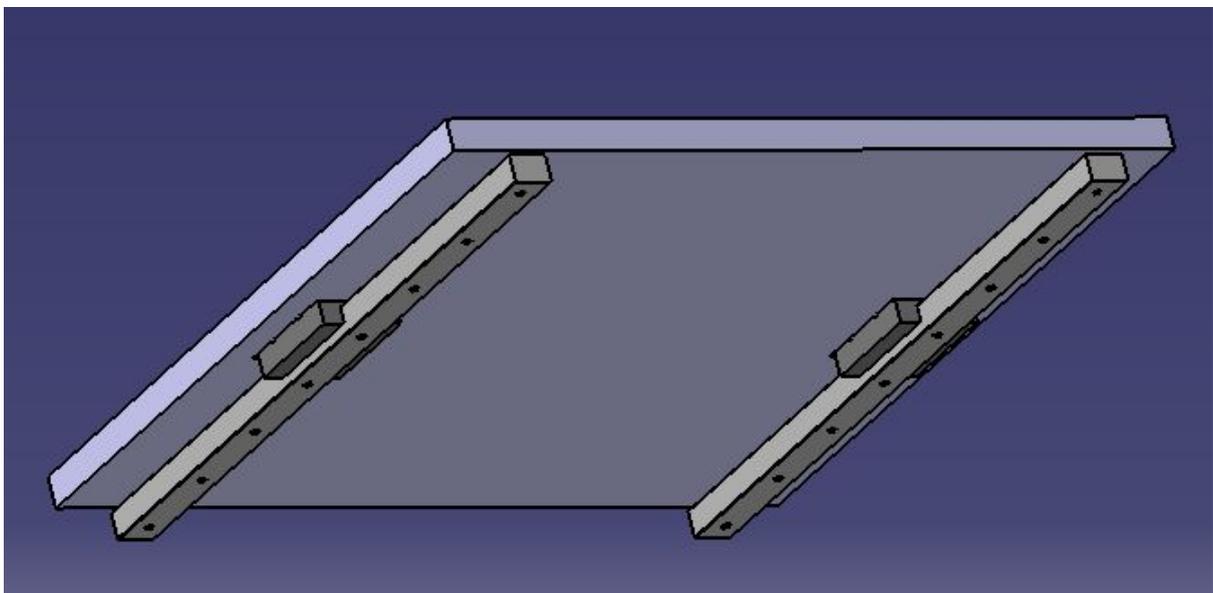
Concernant la modélisation de la table support du système linéaire, la table a pour dimension de 300\*300 mm, le système linéaire choisi est fixée sur les deux extrémités de la table.

La version finale de la table support de la lame et du système linéaire :



*Figure 11 : Table support de la lame version final avec le système de fixation de la glissière.*

- CAO de l'ensemble glissière-table de la lame :

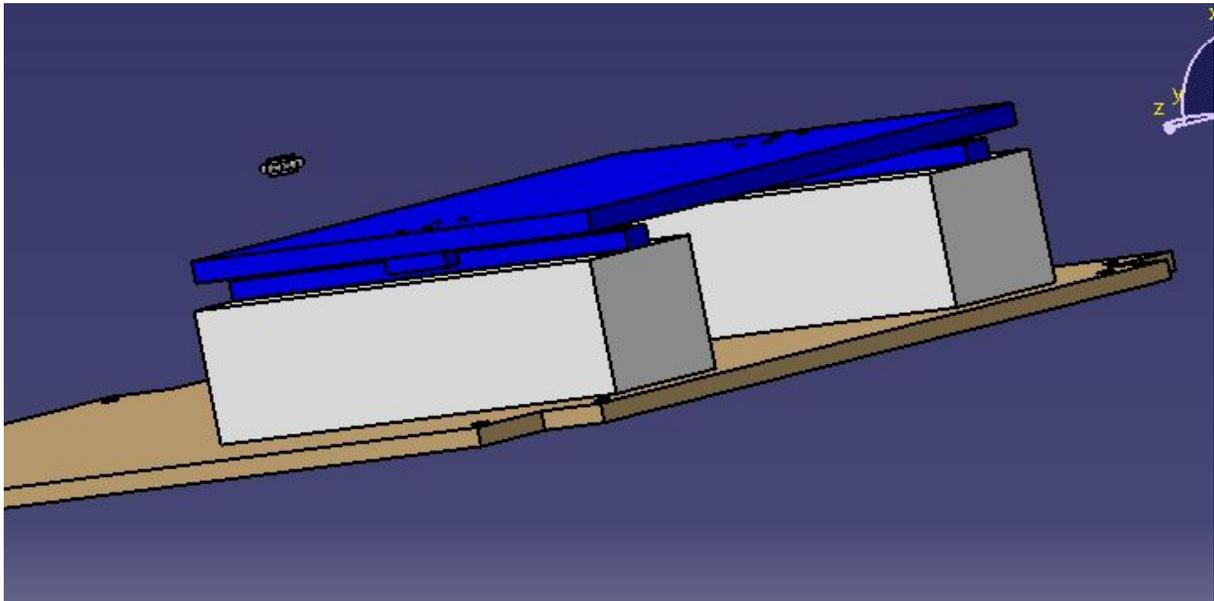


*Figure 12 : ensemble glissière +table*

Le système de fixage du rail est fait avec l'intermédiaire d'une pavée d'aluminium d'un hauteur de 70 mm qui relie la rail et la fixation sur le châssis.

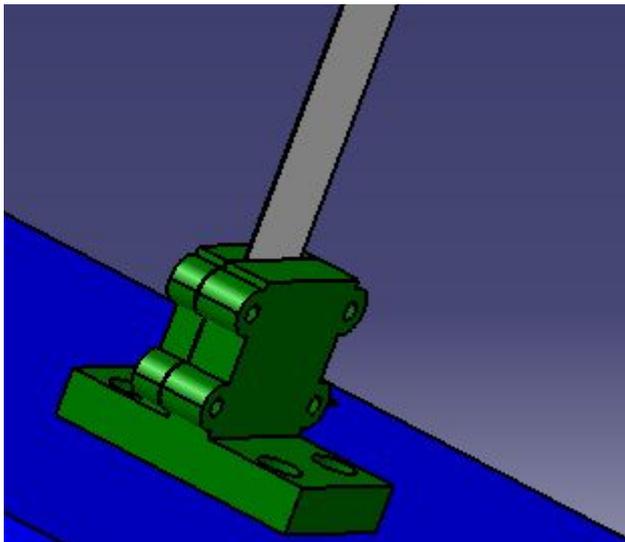
Ce système est proposée par M. PELT pour fixer chaque rail d'une manière séparé de l'autre.

- CAO de l'ensemble : plaque - système linéaire - table - pavée d'aluminium :



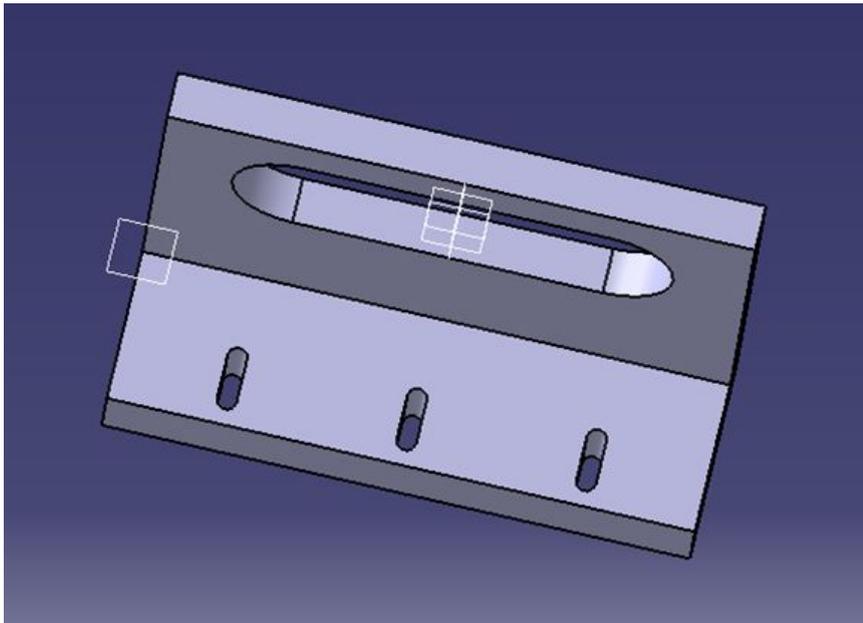
*Figure 13 : ensemble glissière + table + pavée + plaque*

- CAO du support lame qui est constituée deux pièces fixées ensemble par des vis :



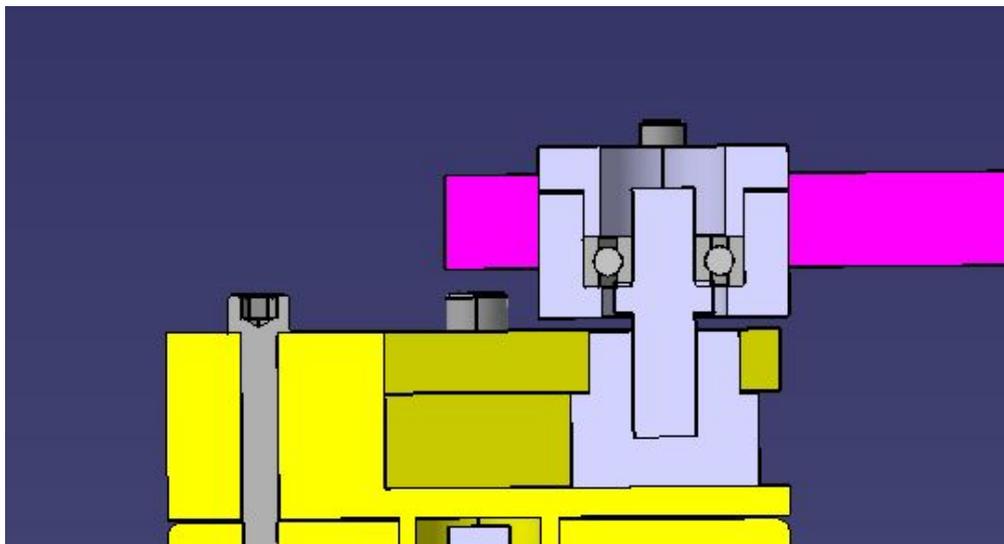
*Figure 14 : ensemble support lame + lame*

- Pour relier la partie rotation et le système linéaire pour la translation, on a modifié le guide coulisseau pour le fixer sur la table en ajoutant trois trous oblongs pour régler la fixation avec la table.

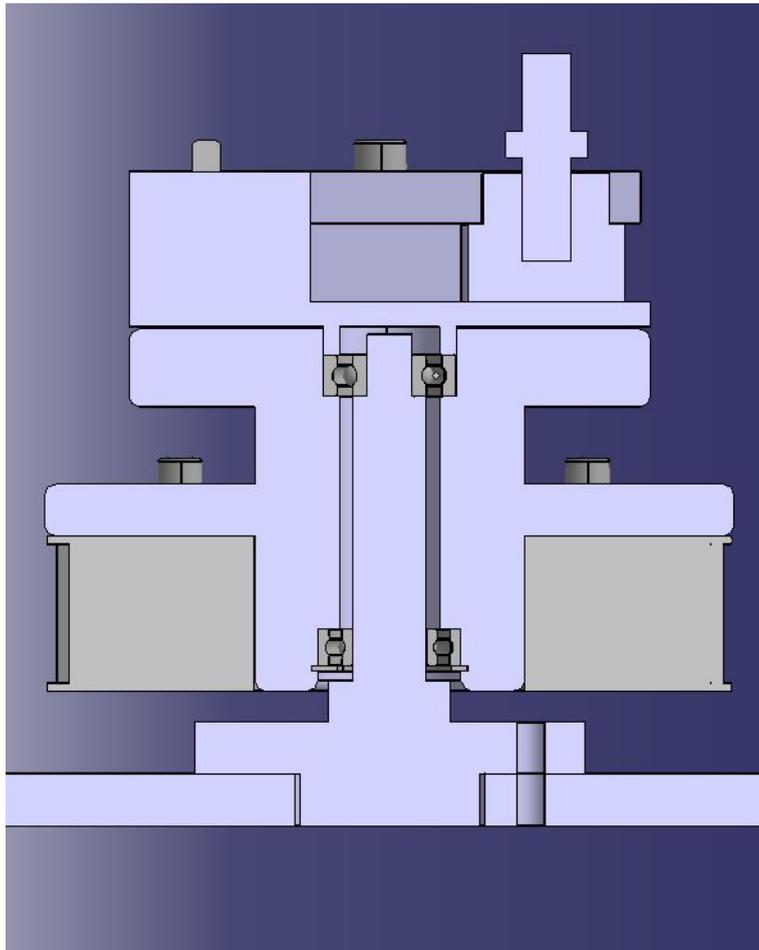


*Figure 15 : CAO de guidage coulisseau.*

Pour la partie permettant de transformer la rotation de la poulie menée en mouvement de translation, voici la solution utilisée :



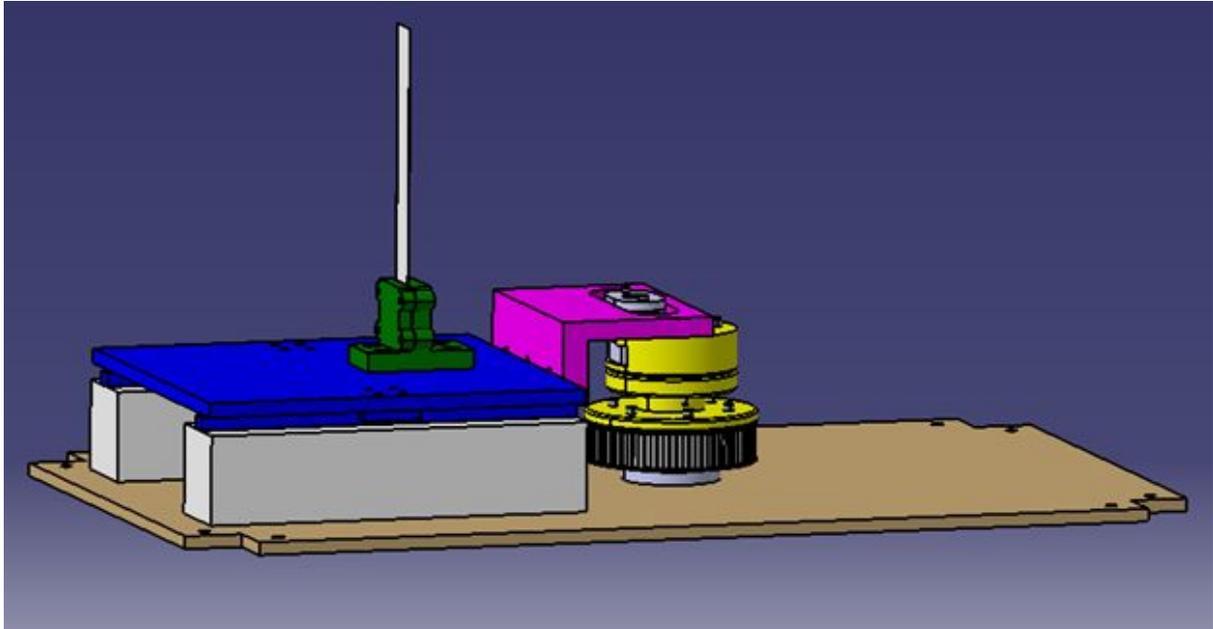
*Figure 16 : Vue en coupe du guidage rotation-translation..*



*Figure 17 : Vue en coupe du système de guidage en rotation.*

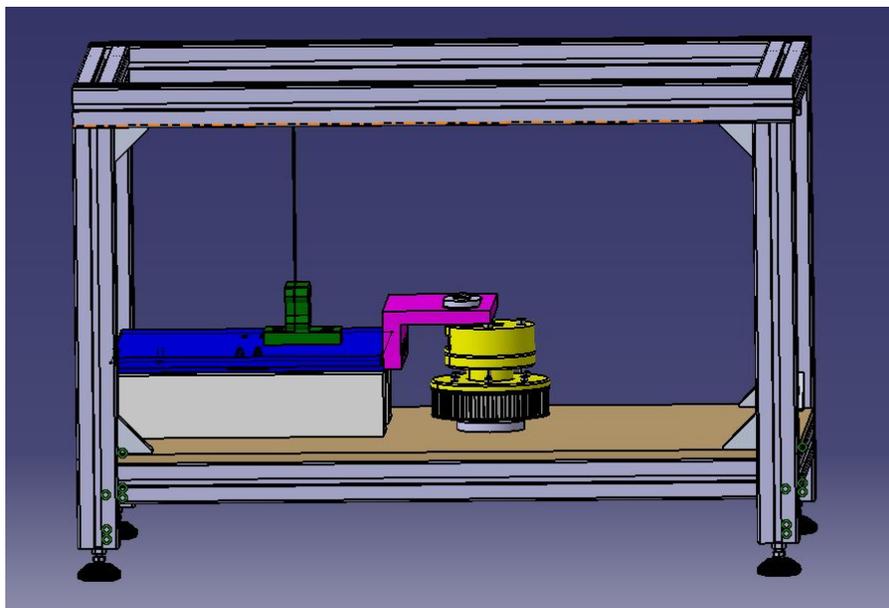
La poulie, fixée sur le tambour, entraîne ce dernier en rotation. Le mouvement de rotation entraîne le coulisseau dans la rainure du guide coulisseau ce qui permet de faire translater la table sur ses rails.

- CAO de l'ensemble de transmission de mouvement :



*Figure 18 : Assemblage global du système de transmission du mouvement.*

- CAO de l'ensemble :



*Figure 19 : conception du système de transformation de mouvement avec son châssis en structure norcan.*

## 4. Dimensionnement dynamique

### 4.1. Schéma cinématique transformation de mouvement

Un dessin cinématique du système poulie - courroie a été réalisé, ce dessin cinématique a été modifié en fonction des discussions eu avec les encadrants. La version finale du dessin cinématique des liaisons est celle ci-dessous.

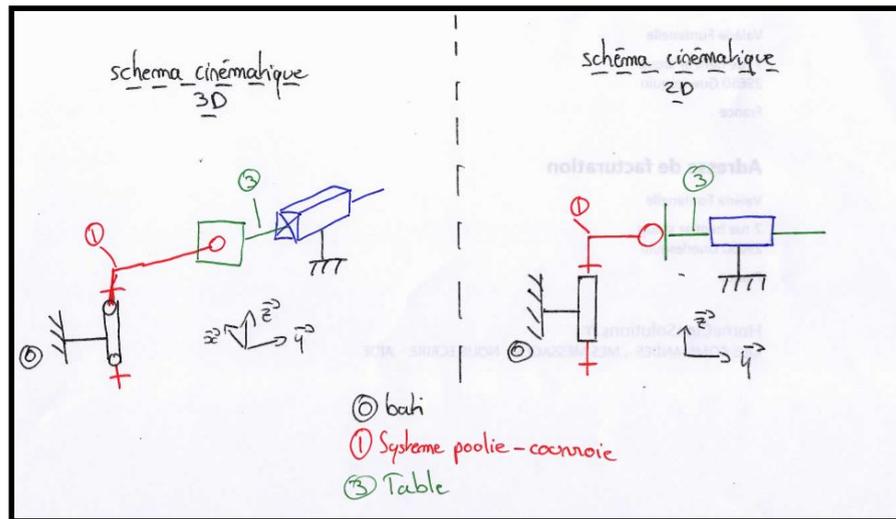


Figure 20 : schéma cinématique de la transformation du mouvement

Nous avons pris en compte les remarques de M. Pelt et avons calculé les degrés d'hyperstatisme des solutions qu'il nous a proposé. Nous en avons déduit une solution pour laquelle le degré d'hyperstatisme est de  $h=1$ . Ainsi, le système est hyperstatique sans supprimer certains degrés de libertés trop inutilement.

La transmission de mouvement entre le système poulie-courroie et la table sera établie de cette façon :

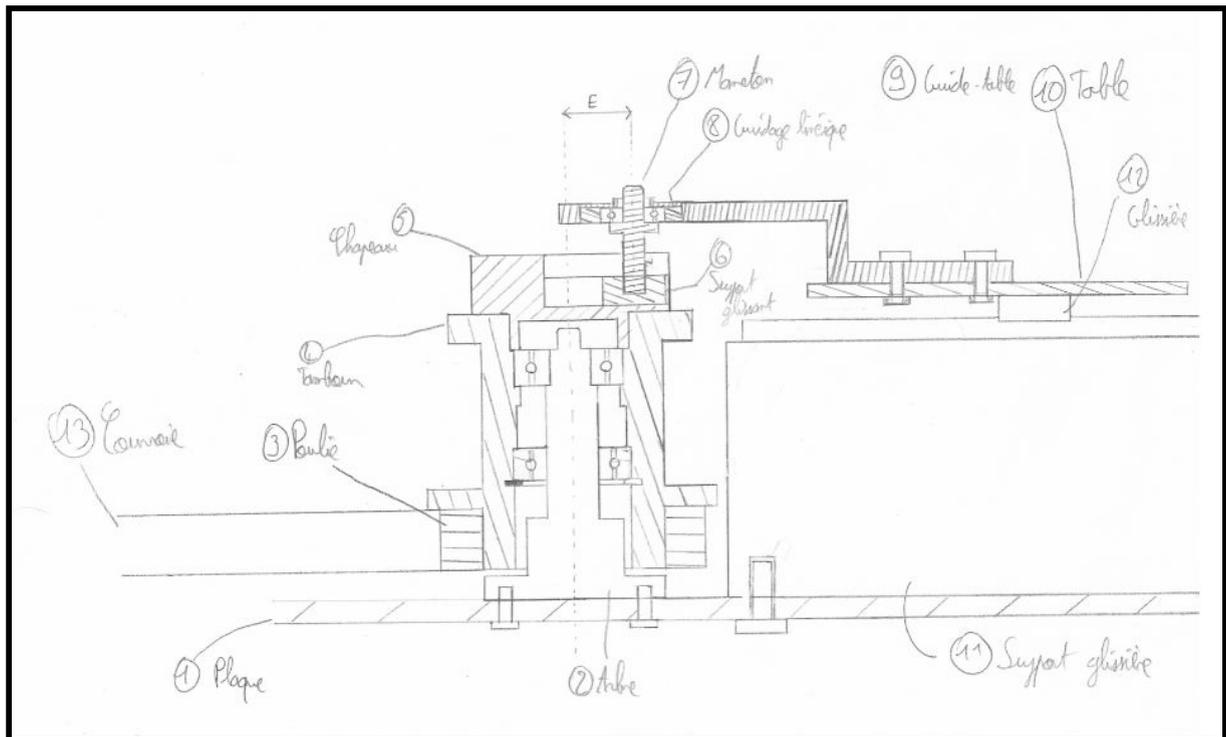


Figure 21 : dessin (vue de côté en coupe) de la transmission de mouvement entre le système poulie-courroie et la table (Échelle non représentative)

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.

L'arbre de la poulie menée est en liaison rotule, guidé suivant l'image suivante :

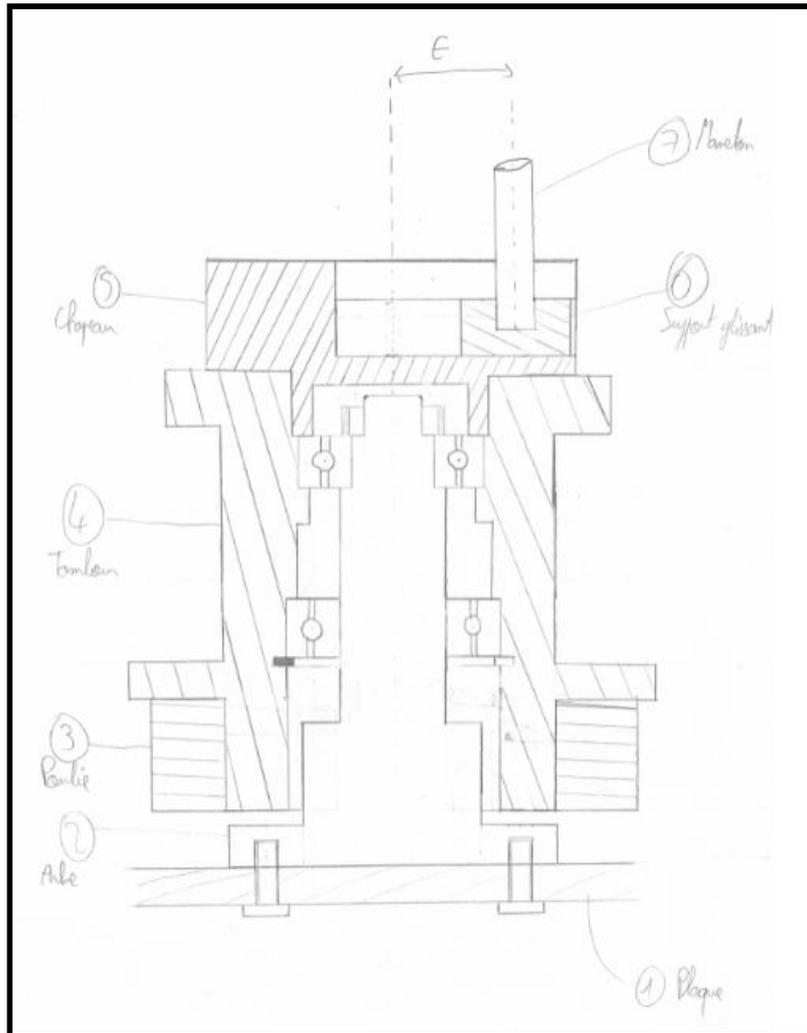


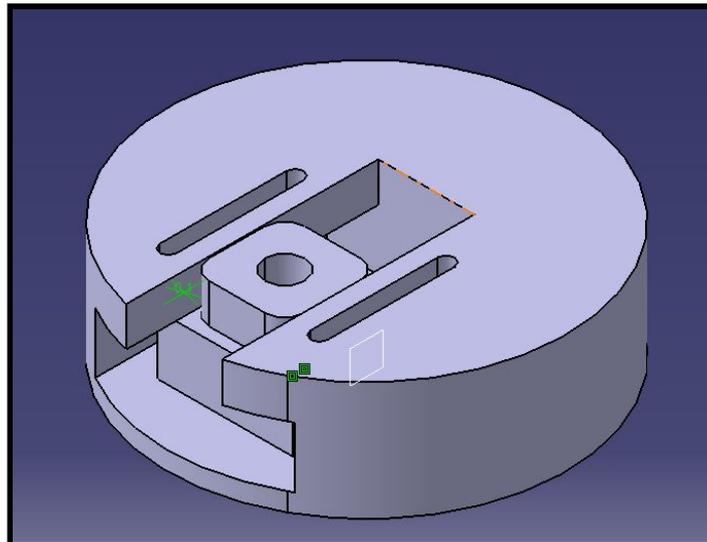
Figure 22 : dessin (vue de côté en coupe) de l'arbre de la poulie menée (Échelle non représentative)

Les roulements sont montés serrés dans le Tambour (4) afin de mettre en rotation ce dernier, la poulie (3) et le chapeau (5). L'arbre (2) reste donc fixe.

Enfin, le maneton (7) est monté serré dans le support glissant, et ce dernier coulisse dans le chapeau afin de régler l'entraxe entre l'arbre et le maneton. Cette entraxe est comprise entre 0 et 30 mm.

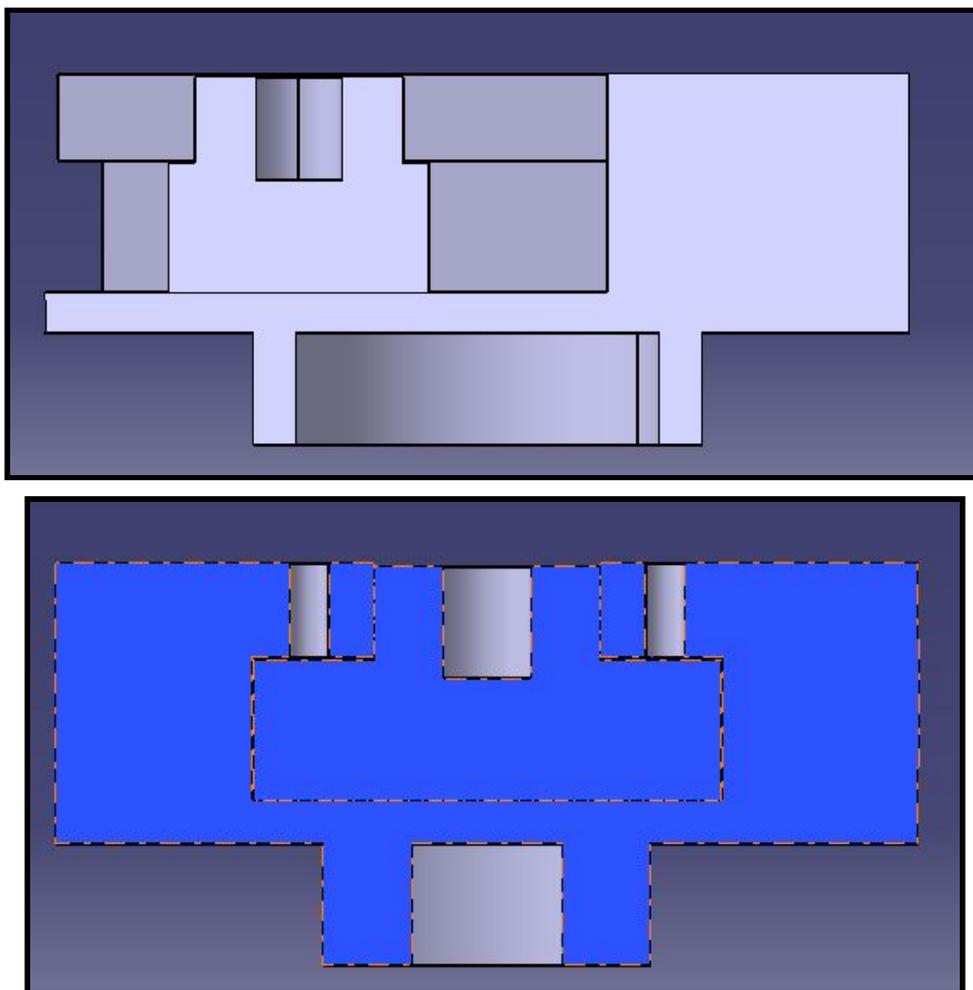
La poulie menée est usinée afin d'agrandir son alésage, pour permettre son montage sur le tambour.

Voici maintenant le chapeau et le support glissant en vue CAO pour plus de détails sur l'entraxe variable :



*Figure 23 : conception du chapeau et du support glissant sous Catia*

Le support glissant peut-être fixé (à l'aide de trous dans ce dernier et des rainures dans le chapeau) pour maintenir une entraxe fixe.



*Figure 24 : conception du support glissant sous Catia*

Enfin, ce dernier peut coulisser dans le chapeau puisque la rainure est plus grande quelques dixièmes de mm.

L'entraxe sera réglable facilement puisqu'il est tout à fait possible de graver au laser des graduations (allant de 0 à 30 mm) sur le chapeau, et un trait sur le support glissant afin de faire coïncider ce dernier avec la graduation correspondant à l'entraxe voulue.

## 4.2. Calcul du couple moteur

Le type de moteur choisi est un moteur à courant continu. Ce type de moteur étant réversible, il sera plus simple de régler sa vitesse. Un schéma de simulation du mouvement a été réalisé et les calculs du couple moteur sont en cours de réalisation.

On a calculé l'équation de mouvement du notre système pour simuler la vitesse du moteur demandé et pour calculer le couple moteur demandé pour le projet et à la fin pour réaliser une simulation SIMULINK sur Matlab pour simuler complètement le moteur.

Voilà le démarche du calcul de l'équation du mouvement :

$$P_{réel} = C_m \dot{\varphi} - f_{res} \cdot K_i \cdot \dot{\varphi}$$

$$P_{eq} = C_m \cdot \ddot{\varphi} + C_{re} \cdot \dot{\varphi}$$

$$C_{re} = - f_{res} \cdot K_i$$

Equation du mvt :  $(J_m + J_{re}) \ddot{\varphi} = C_m + C_{re}$

---


$$J_m \ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 - K_i \cdot \dot{\varphi} \cdot M \cdot f \cdot \sin(2k \cdot \varphi) + M \cdot K_i \cdot P \cdot \cos^2(k_i \cdot \varphi) \cdot \ddot{\varphi}$$


---


$$= C_m - f_{res} \cdot K_i$$

$$E_{créel} = \frac{1}{2} (J_m + J_{m \text{ et } l} \cdot K_i^2 + M \cdot K_i \cdot P \cdot \cos^2(k_i \cdot \varphi)) \dot{\varphi}^2$$

$$E_{ceq} = \frac{1}{2} (J_m + J_{re}) \dot{\varphi}^2 \rightarrow J_{re} = J_{m \text{ et } l} \cdot K_i^2 + M \cdot K_i \cdot P \cdot \cos^2(k_i \cdot \varphi)$$

M = masse table + lame  
 f = coef frottements sec  
 R = rendement poulie

$$F_{res} = M \cdot g \cdot f = M \cdot g \cdot 0,2 + C_m \dot{\varphi} (1 - R^t)$$

$$R^t = \frac{120}{60}$$

$$\frac{dE_c}{dt} = \left[ J_m + J_{\text{moteur}} K_i^2 + M l^2 K_i^2 \cos(K_i \varphi) \right] \left[ -K_i \sin(K_i \varphi) \dot{\varphi} + \cos(K_i \varphi) \ddot{\varphi} \right]$$

$$J_{ne} = J_{\text{moteur}} + K_i^2 + M \cdot K_i^2 \cdot l^2 \cos^2(K_i \varphi) \quad C_{ne} = -F_{\text{res}} + K_i$$

$$\Rightarrow \frac{dE_c}{dt} = \left[ J_m + J_{ne} - M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} \right] \dot{\varphi} \ddot{\varphi} = \dot{\varphi} (C_m + C_{ne})$$

$$\Rightarrow \ddot{\varphi} = \frac{C_m + C_{ne}}{J_m + J_{ne} - M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \frac{\dot{\varphi}}{\varphi}}$$

$$= \frac{C_m + C_{ne}}{\dot{\varphi} (J_m + J_{ne}) - M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \varphi}$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{\dot{\varphi} (C_m + C_{ne})}{\dot{\varphi} (J_m + J_{ne}) - M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \varphi}$$

$$\Rightarrow \ddot{\varphi} = \frac{C_m + C_{ne} + M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \varphi}{J_m + J_{ne}}$$

$$\Rightarrow \ddot{\varphi} = \frac{C_m + C_{ne}}{J_m + J_{ne}} + \frac{M l^2 K_i^3 \sin(K_i \varphi) \cos(K_i \varphi) \varphi}{J_m + J_{ne}}$$

$$F = M \cdot l \cdot K_i^3$$

On a réalisé sous Matlab une simulation du moteur complète pour visualiser sa vitesse de rotation en fonction du couple demandé.

```

1 - close all;
2 - clear ;
3 - clc;
4
5 - global Jre Jman Cre Jm Cm M l R1 R2 F Fres ki;
6
7 % Definition des parametres
8 - Cm = 17; %couple moteur
9 - Jman = 12; % moment d'inertie de maneton
10 - M = 5; % Masse de la lame + la table
11 - Fres =0.2*9.8*M; % Force resistant
12 - R1 = 0.094; % rayon de la poulie menante
13 - R2 = 0.062; % rayon de la poulie menée ou receptrice en m
14 - ki = R1/R2; % rapport de reduction
15 - Cre = Fres*ki; % couple resitant
16 - l = 0.030; % longueur de la lame
17 - Jm = 20; % moment d'inertie de moteur
18 - F = M*(l^2)*(ki^3);
19 - Jre = Jman*(ki^2) + M*(ki^2)*(l^2); % inertie de receptrier equivalent
20 % frequence propre de la lame = 40.76 Hz
21

```

Figure 26 : Un fichier script sur Matlab pour définir les variables de l'équation du mouvement.

Ce fichier Matlab définit toutes les variables utilisées pour la simulation sous Matlab SIMULINK.

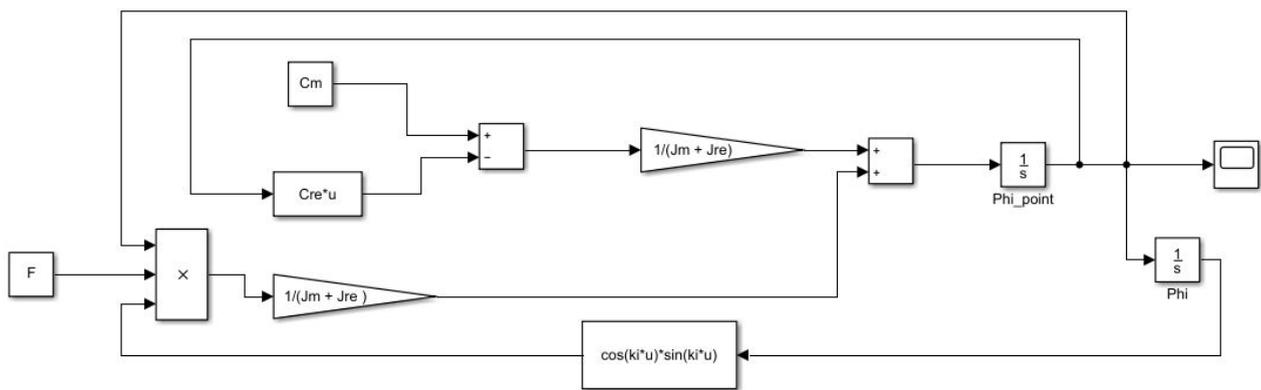


Figure 27 : Schéma de simulation du moteur sous SIMULINK.

## 5. Analyse vibratoire

### 5.1. Calcul de la fréquence propre sous Abaqus

#### 5.1.1. Analyse modale de la lame

- Objectifs :
  - Calcul de la fréquence propre de la lame.
  - Présentation de l'accélération du point où on va poser l'accéléromètre en fonction du temps.
  
- Données :
  - Dimensions de la lame :
    - Largeur : 30 mm,
    - Épaisseur : 0.5 mm,
    - Longueur : 250 mm.
  - Caractéristique physique de l'aluminium :
    - Module de Young = 69000 Mpa.
    - Densité = 2.71E-9 kg/mm<sup>3</sup>.
    - Rapport poisson = 0.334.

- Résultats obtenus :

D'après Abaqus on obtient :

La fréquence = 6.4879 Hz et Value =  $w^2 = 1661.8$ .

Donc pour calculer la pulsation propre de la lame, on a deux méthodes si on calcule avec la fréquence  $w=2\pi f=2*\pi*6.4879=40.7646$  Hz, ou à l'aide de valeur Value,  $w=\sqrt{Value}=40.7646$  Hz.

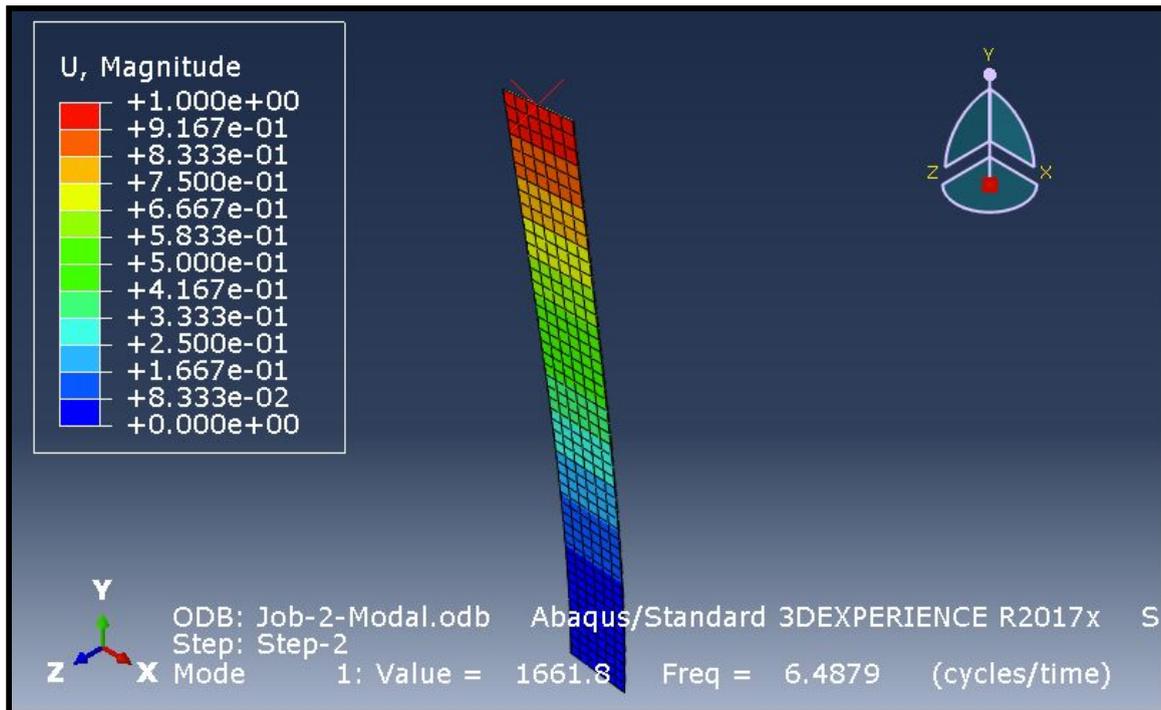


Figure 28 : capture d'écran de logiciel Abaqus montre les valeurs de Value et fréquence de la lame

### 5.1.2. Calcule de l'accélération

Le premier essaie était pour faire l'analyse modale de la lame. Après on a créé un deuxième modèle sur Abaqus, pour calculer l'accélération en fonction du temps. Alors pour ce faire il faut faire vibrer la lame qui est encastré en bas, tel que la distance parcourue soit de 1 mm. Nous avons donc créé une fonction sinusoïdale de la forme  $y=A\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)$ , (avec  $A=0$ ,  $B=0.5$  et  $\omega=40.76\text{Hz}$ ) pour faire ce déplacement, ici l'amplitude est l'abscisse de la partie encastrée de la lame.

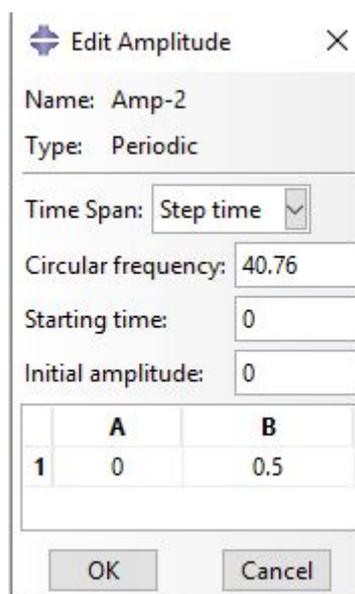


Figure 29 : tableau montrant les paramètres de fonction sinusoïdale

On obtient alors le graphe suivant, qui montre le déplacement en mm du point P en fonction du temps en secondes.

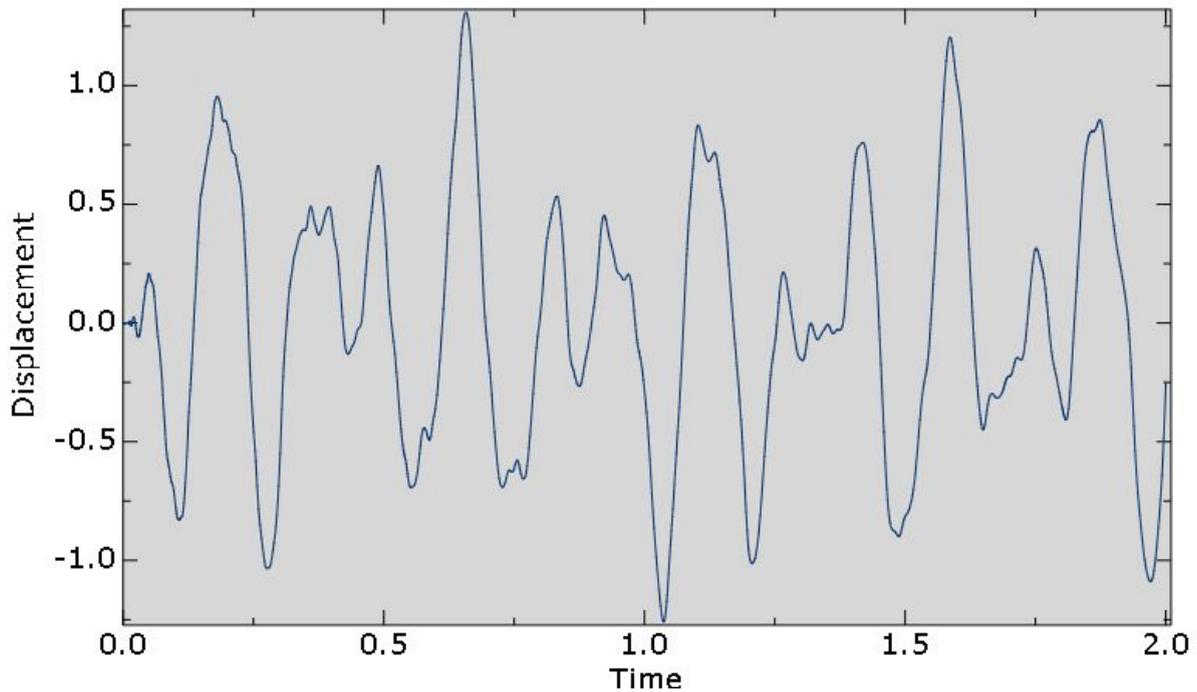


Figure 30 : graphe montrant le déplacement en fonction du temps

Le but de représenter le déplacement en fonction de temps sur abaqus, est de faire la comparaison entre la résultat expérimental avec la résultat réel obtenu avec l'accéléromètre .

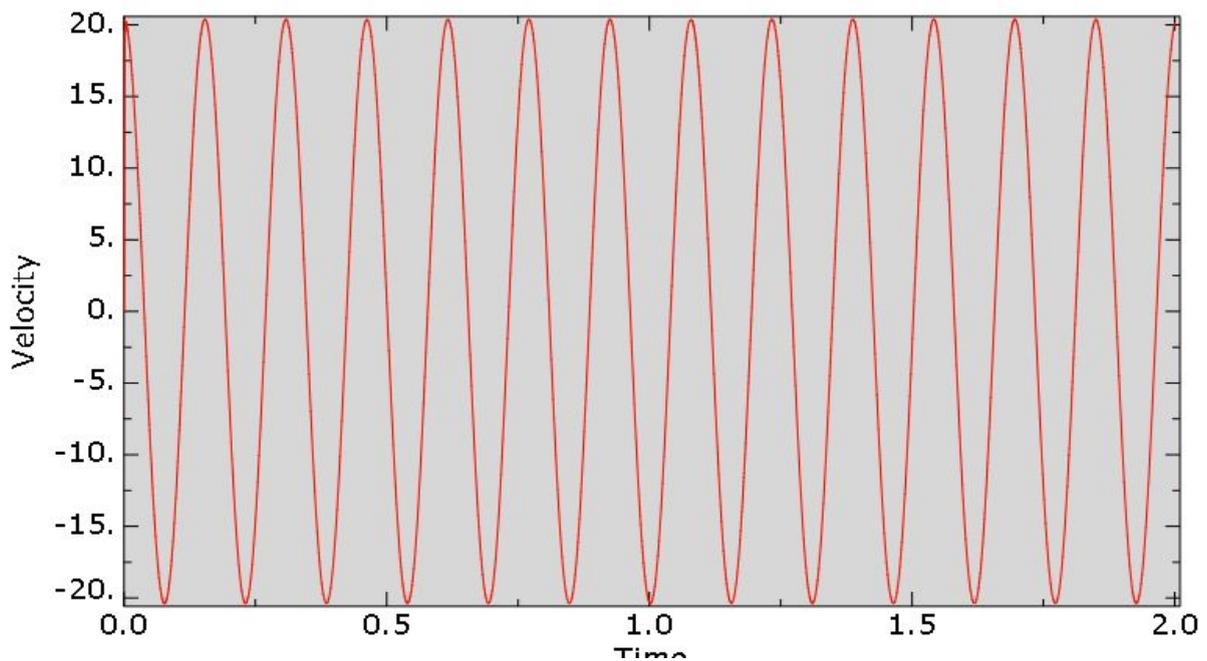


figure 31 : graphe représentant la vitesse en fonction du temps.

Pour calculer la vitesse max de la table, on peut sur abaqus faire la représentation de la vitesse de point où la lame est encastrée avec la table (figure 21). Donc d'après le graphe la vitesse max de la table est de 20 mm/s.

## 5.2. Simulation avec les fichiers Scilab

### 5.2.1. Calculs des pulsations propres

Pour toute la partie, les résultats sont valables pour une lame en aluminium avec les dimensions ci-après.

Largeur : 30 mm

Longueur : 250 mm

Épaisseur : 0,5 mm

Pour calculer les pulsations propres de la lame, les formules sont les suivantes :

- Pour des vibrations transversales :

$$w1 = (1.87)^2 * \sqrt{(E * I_x) / (m * (Long^3))}$$

$$WT(i) = ((2*i-1) * (\pi/2))^2 * \sqrt{(E * I_x) / (m * (Long^3))}$$

Avec E : le module de Young (Pour de l'aluminium E=69 GPa)

Iz : le moment quadratique selon x

$$I_x = ((larg * (ep)^3)) / 12;$$

m : la masse de la lame

Long : la longueur de la lame

On cherche les 3 premières pulsations propres et on arrive à ce résultat :

```
WT =
40.82491
259.2533
720.14805
```

La première pulsation est quasi similaire à celle obtenue par Abaqus.

- Pour des vibrations longitudinales :

$$WL(i) = (2*i-1) * (\pi/2) * (1/Long) * \sqrt{E/rau}$$

Avec rau: la masse volumique (Pour de l'aluminium rau=2700 kg/m3)

On cherche les 3 premières pulsations propres et on arrive à ce résultat :

WL =

```
31763.074
95289.223
158815.37
```

- Pour les vibrations angulaires :

$$WA(i) = (2*i - 1) * (\pi/2) * (1/Long) * \sqrt{(G*J) / (rau*I_o)}$$

Avec  $I_o$ : le moment quadratique au point O (le centre de la lame)

$$I_o = ((larg*ep) * ((larg)^2 + (ep)^2)) / 12;$$

$$J = (larg*(ep)^3) * ((16/3) - 3.36*(ep/larg) * (1 - (ep^4)/(12*larg^4))); // Approximation à 4%$$

$$G = E / (2 * (1 + \nu)); \quad \text{où } \nu \text{ est le coefficient de Poisson}$$

On cherche les 3 premières pulsations propres et on arrive à ce résultat :

WA =

```
2567.2687
7701.8062
12836.344
```

Les seules pulsation propres qui sont comprises dans la bande passante du capteur sont les pulsation propres en vibrations transversales (WT). Le capteur ne permet pas de détecter les autres, cependant les pulsations propres les plus importantes à étudier dans ce cas sont les celles en vibrations transversales. De plus, les fréquences propres en vibrations transversales sont inférieures à la fréquence d'échantillonnage de la carte d'acquisition.

### 5.2.2. Détermination de la course et de la fréquence de la table

Dans cette partie, on va tenter de déterminer la course et la fréquence de la table grâce au logiciel Scilab et à la méthode vu avec Mr Helbert.

On considère un système mécanique dont le mouvement est décrit par N paramètres indépendants  $q_i=1..N(t)$  appelés "coordonnées généralisées".

On a l'équation de mouvement suivante :  $[M] \{\ddot{q}\} + [B] \{\dot{q}\} + [K] \{q\} = \{f\}$

Avec :

$[M]$  La matrice de masse généralisée du système.

$[B]$  La matrice d'amortissement généralisée du système.

$[K]$  La matrice de raideur généralisée du système.

Soit  $[M] \{\ddot{q}\} + [B] \{\dot{q}\} + [K] \{q\} = [M]\{\ddot{u}\}$  (1)

Or, dans le cas de notre table vibrante, on est en présence d'un mouvement d'ensemble, puisque tous les points de la fondation de la table sont sollicités de la même manière. On aura alors une accélération d'entraînement et une accélération relative. On notera de la façon suivante l'accélération de la lame :

$$\{\ddot{q}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{q}_f \\ \ddot{q}_{\bar{f}} \end{Bmatrix} = \underbrace{\begin{Bmatrix} \{u_f\} \ddot{\Phi} \\ \{u_{\bar{f}}\} \ddot{\Phi} \end{Bmatrix}}_{\text{accélération d'entraînement}} + \underbrace{\begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{\ddot{q}_r\} \end{Bmatrix}}_{\text{accélération relative}} \quad (2)$$

où  $\{u_f\}$  représente les efforts de sollicitation du support

et  $\{u_{\bar{f}}\}$  toutes les autres sollicitations.

En injectant (2) dans (1), on aura l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} [M_{ff}] & [M_{f\bar{f}}] \\ [M_{\bar{f}f}] & [M_{\bar{f}\bar{f}}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{\ddot{q}_r\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C_{ff}] & [C_{f\bar{f}}] \\ [C_{\bar{f}f}] & [C_{\bar{f}\bar{f}}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{\dot{q}_r\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_{ff}] & [K_{f\bar{f}}] \\ [K_{\bar{f}f}] & [K_{\bar{f}\bar{f}}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{q_r\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{g_f(t)\} - ([M_{ff}] \{u_f\} + [M_{f\bar{f}}] \{u_{\bar{f}}\}) \ddot{\Phi} \\ \{g_{\bar{f}}(t)\} - ([M_{\bar{f}f}] \{u_f\} + [M_{\bar{f}\bar{f}}] \{u_{\bar{f}}\}) \ddot{\Phi} \end{Bmatrix}$$

où  $g_f$  représente les efforts de réaction du support

et  $g_{\bar{f}}$  toutes les autres réactions.

On va alors essayer de résoudre l'équation liée à la deuxième ligne. Ce qui donne :

$$\left[ M_{\bar{f}\bar{f}} \right] \{ \ddot{q}_r \} + \left[ C_{\bar{f}\bar{f}} \right] \{ \dot{q}_r \} + \left[ K_{\bar{f}\bar{f}} \right] \{ q_r \} = \left\{ g_{\bar{f}}(t) \right\} - \left( \left[ M_{\bar{f}f} \right] \{ u_f \} + \left[ M_{\bar{f}\bar{f}} \right] \{ u_{\bar{f}} \} \right) \ddot{\Phi}$$

La résolution de cette équation se fait grâce au code Scilab fourni par Mr Helbert par la méthode de la superposition modale.

On peut ainsi observer les déplacements en différents points de la lame en fonction de divers paramètres. On peut bien entendu changer les dimensions de la lame et sa matière. On peut également modifier la fréquence d'excitation de la table, ainsi que sa course.

Ce code va donc nous permettre de vérifier que la fréquence et la course de la table, et permettra d'observer, à partir du capteur, la pulsation propre de la lame.

Testons avec une pulsation d'excitation (noté plus tard  $w_{exc}$ ) de 326 rad/s et de course (noté plus tard  $u_{max}$ ) de 0,006 m soit 6 mm.

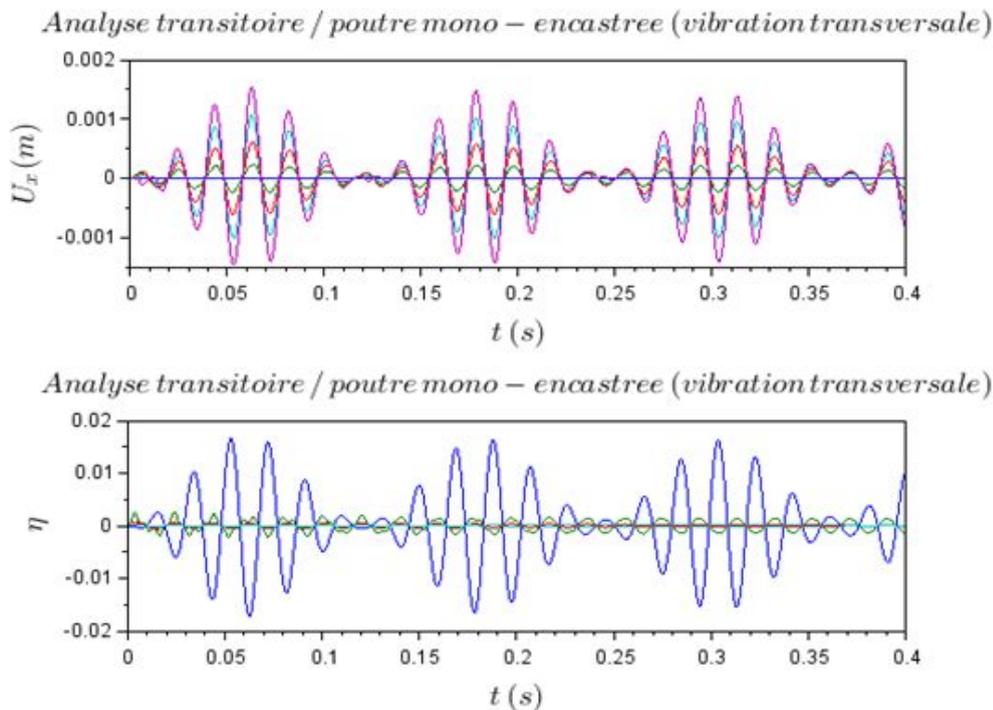


Figure 31 : Analyse transitoire en vibration transversale de la lame

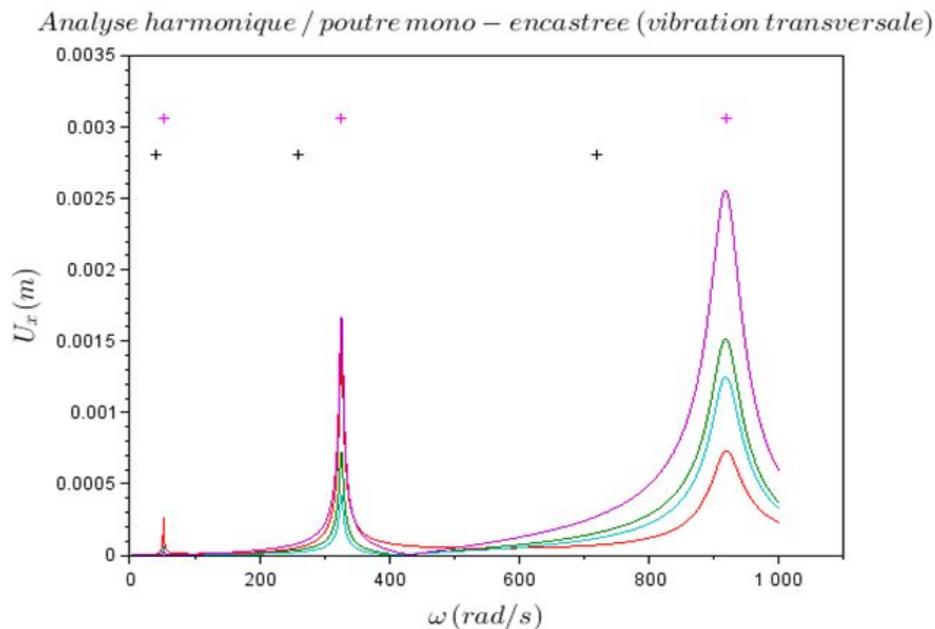


Figure 32 : Analyse harmonique de la lame en vibrations transversales

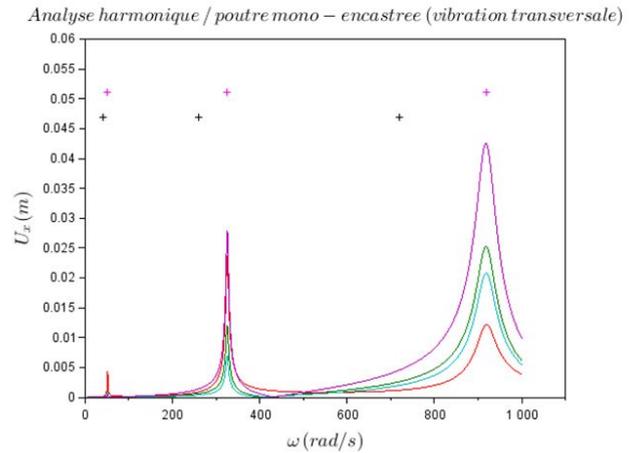
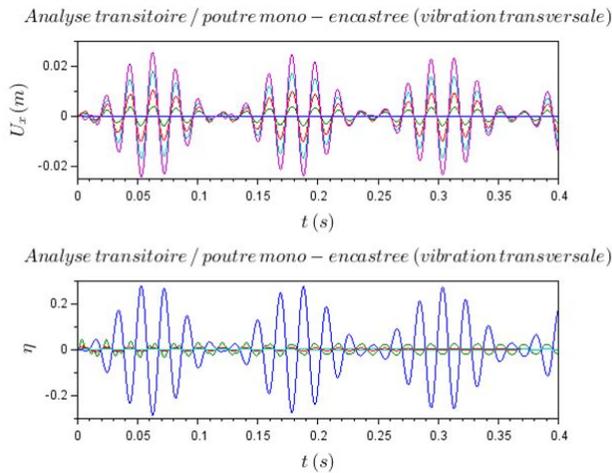
Sur la figure 1, on peut observer le régime transitoire. Et sur la figure 2, on peut voir une analyse harmonique.

Le régime transitoire consiste à étudier le mouvement de la lame à une excitation donnée. L'analyse harmonique permet d'étudier la fonction représentant le mouvement de la lame.

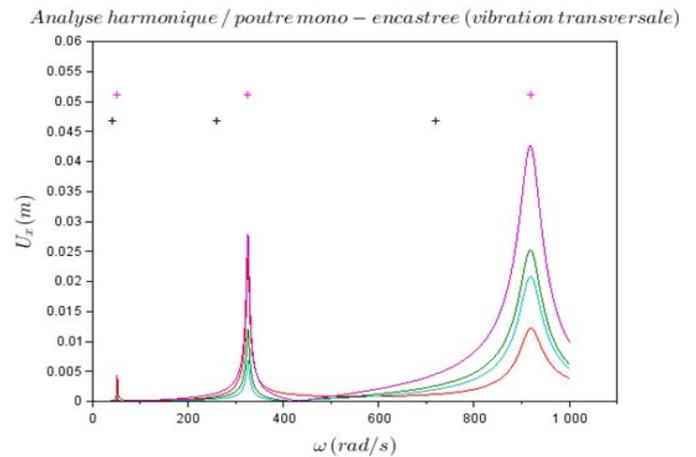
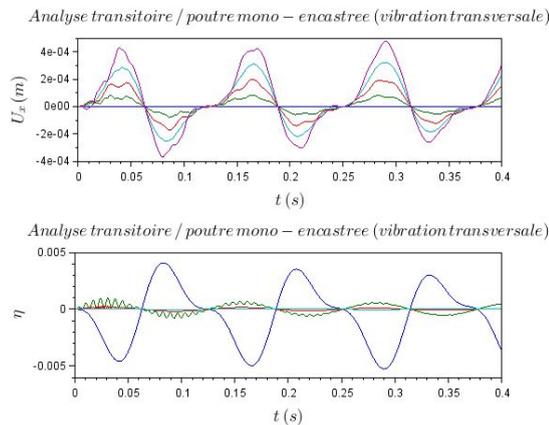
On peut remarquer sur l'analyse harmonique, que les pics où il y a le plus grand débattement devraient se trouver aux mêmes pulsations que les pulsations propres. Ici, ce n'est pas le cas, car nous n'avons pas pris assez de points sur la lame pour avoir une analyse précise. Nous avons pris ce nombre de points car en augmentant le nombre de points, on augmente également le temps de calcul qui est déjà relativement long.

Toutefois, on utilisera principalement l'analyse harmonique puisque cela permettra de connaître les différents débattements possibles lorsque l'on fera varier la pulsation d'excitation.

Essayons maintenant avec d'autres configurations.  
 $w_{exc}=326$  et  $u_{max}=0,1$



$w_{exc}=50$  et  $u_{max}=0,1$

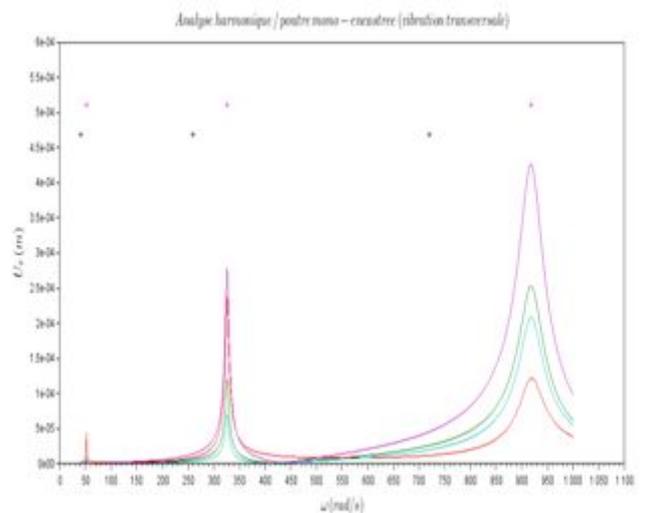
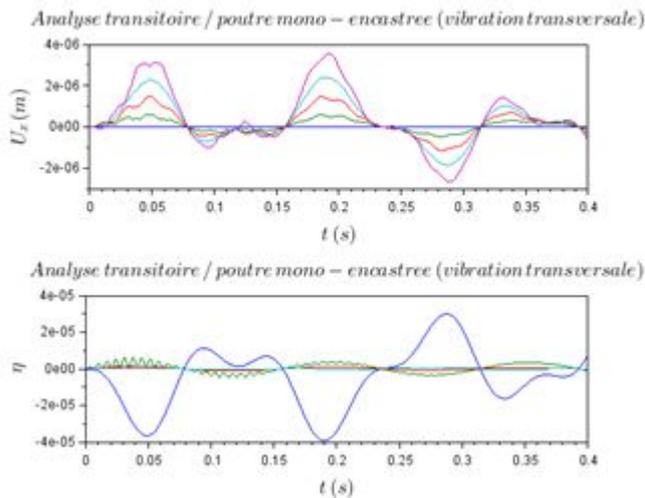


Sur l'analyse harmonique, on remarque que les pics de pulsations sont toujours situés au même endroit. Toutefois, leur amplitude change, cette amplitude représente le débattement. Il faudra vérifier que le débattement peut être détecté par le capteur.

Etant donné que c'est sur ces pulsations qu'il y a le plus de débattement, il serait logique de choisir l'une de celle-là. Néanmoins, il faudra également que cette pulsation puisse être détecté par le capteur.

Avant d'effectuer ces vérifications, il faut commencer par s'assurer que les résultats correspondent à ceux trouvés avec Abaqus. Testons donc avec les mêmes paramètres.

wexc=40 et umax=0.001m



On peut voir que le débattement vaudra au maximum 0,1mm pour le premier pic. Or avec Abaqus, on voit sur la figure 30 que son débattement vaudra environ 2,5 mm.

Nous n'avons pas les mêmes résultats, et nous n'avons pas eu le temps de regarder pourquoi.

Par conséquent, avant de commencer à regarder quelle est la valeur minimale de la course et de la fréquence pour pouvoir obtenir des données, il faudra commencer par comprendre pourquoi l'on n'obtient pas les mêmes résultats.

## 6. Contrôle, commande et IHM

### 6.1. Schéma de câblage des sécurités et implantation des capteurs

Le schéma électrique/mécanique a été réalisé :

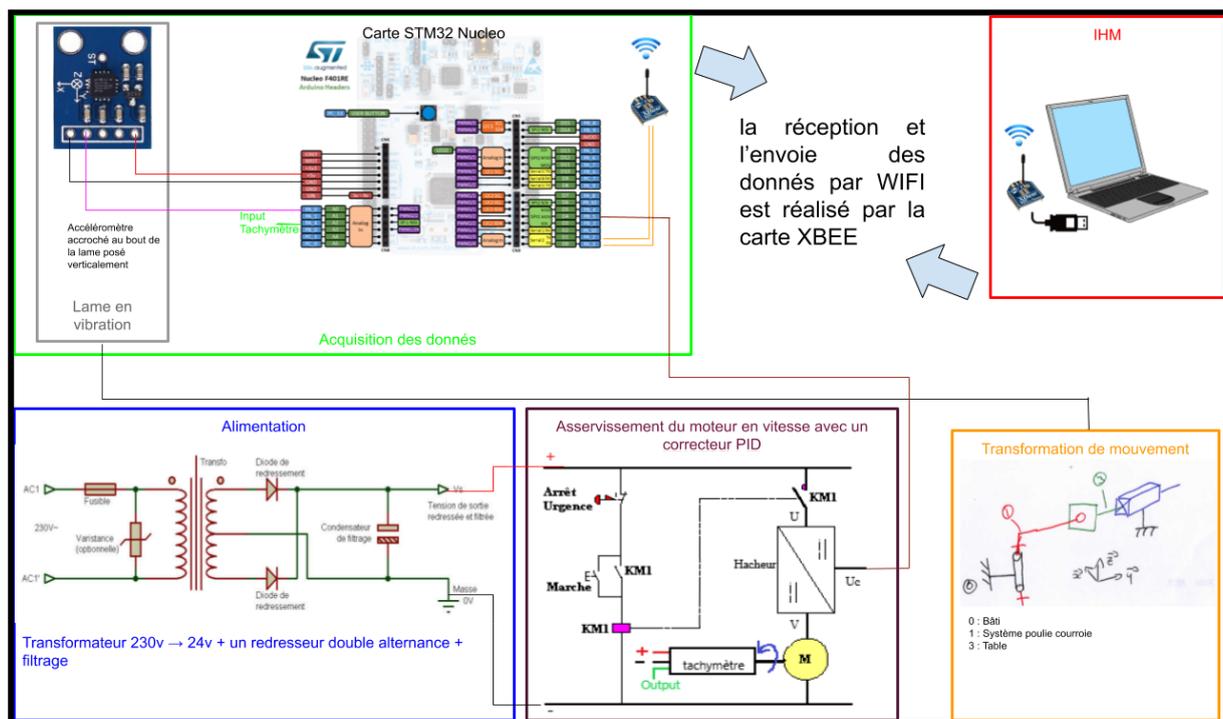


Figure 33 : Schéma électrique / mécanique de l'ensemble de la table uniaxiale

Il comprend les dispositifs de sécurité ainsi que l'alimentation, le transformateur, le redresseur double alternance avec le filtrage, le hacheur, la carte du commande, l'IHM, l'acquisition des données, le schéma cinématique et une présentation du lame avec son accéléromètre .

Vs: tension de sortie de transformateur après le filtrage.

U : tension continue fixe

V : tension continue réglable ( tension de valeur moyenne réglable ).

Uc : signal à rapport cyclique variable permettant de régler la valeur moyenne de V.

#### 6.1.1. Résumé explicatif du schéma

1. La tension initiale alternatif de 230v sera transformée a une tension alternatif de 24v par un transformateur.
2. Un redresseur double alternance permet de convertir une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée pulsée, c'est-à-dire une tension variable mais de signe constant, la variation de la tension de sortie est comprise entre 0 V et Vmax.
3. Pour obtenir une tension continue de valeur sensiblement constante, il faut réduire fortement cette variation de tension par un composant de filtrage qui est le filtre capacitif qui consiste en

un condensateur C placé en parallèle à la charge et qui empêche la tension minimale de sortie du redresseur d'atteindre un potentiel nul.

4. Un hacheur qui est un convertisseur statique continu – continu qui convertit une tension continue fixe U (en provenance d'une alimentation) en une tension continue réglable V par un signal de commande  $U_{com}$  de rapport cyclique variable qui sort du carte de commande. Ce type de hacheur fournit une tension V continue réglable du même signe que la tension U.
5. Une lame montée verticalement sur laquelle est fixée un accéléromètre qui permet de mesurer la modification affectant la vitesse d'un mouvement en fonction du temps. L'alimentation du et l'acquisition des données de l'accéléromètre est faite par la carte STM32 présentée dans le schéma ci-dessus.
6. Un tachymètre pour mesurer la vitesse de rotation du moteur, ensuite les informations sont transmises à la carte STM32 par (output) pour permettre de réguler la vitesse du moteur avec un correcteur PID.
7. Le transfert et la réception des données ( IHM - STM32 et STM32 - IHM ) est réalisé en mode wifi à l'aide d'un transmetteur XBEE et un récepteur XBEE.
8. L'IHM est détaillé dans la suite du rapport ( 6.3 ).

### Améliorations sur la partie électronique de la table :

1. **Alimentation:** pour alimenter tous les composants de notre table, on va utiliser un alimentation à découpage avec des plusieurs sortie pour alimenter le moteur, le codeur du moteur, la carte électronique, le hacheur et l'accéléromètre.
2. **Vitesse de moteur:** pour le mesure de vitesse du moteur au lieu d'utiliser un tachymètre, on veut utiliser un encodeur qui sera fixée sur l'arbre du moteur et qui sert à mesurer la vitesse de rotation du moteur avec une grande précision.

Les améliorations ne sont pas appliqués pour le moment, car le choix du moteur n'est pas réalisé jusqu'à maintenant.

## 6.2. Acquisition des données de l'accéléromètre

Les données fournies par l'accéléromètre seront récupérées sur l'IHM grâce à la carte Nucleo STM32. Malheureusement, nous ne pouvons pas récupérer ces données pour le moment car nous n'avons pas la carte ni le capteur.

## 6.3. IHM

### 6.3.1. Langage, architecture et bibliothèques utilisées

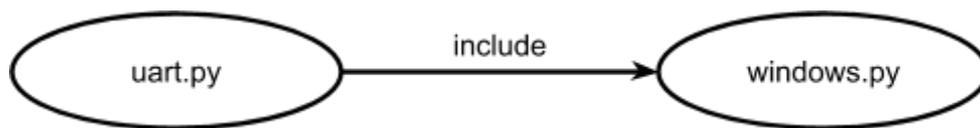
Nous avons choisi de réaliser l'IHM en Python 3. L'autre groupe étant plus avancé sur cette partie, nous a autorisé à nous inspirer de leur travail réalisé, nous faisant gagner un peu de temps. Cependant il a fallu comprendre et prendre en main le code.

La partie graphique de l'IHM a été réalisé grâce à la bibliothèque Tkinter. Cette bibliothèque permet d'implémenter des fenêtres assez simplistes, avec lesquelles l'utilisateur pourra interagir facilement et également implémenter des fenêtres pop-up d'erreurs.

La bibliothèque SciPy permettra d'utiliser les outils NumPy (utile pour réaliser des intégrations avec différentes méthodes), matplotlib (afficher des courbes et des graphiques) et la librairie SciPy (utile pour calculer des transformées de Fourier discrètes).

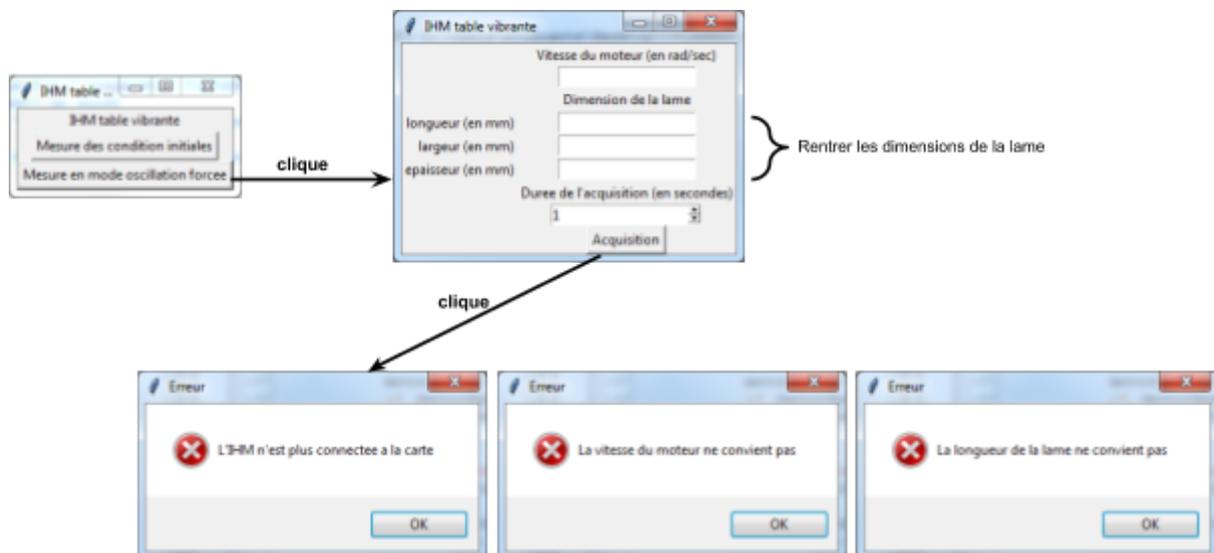
Enfin, la bibliothèque PySerial permettra d'utiliser des fonctions pour gérer la communication avec la liaison série.

L'IHM sera implémenté de la façon suivante :



Le module *uart.py* implémentera les fonction qui permetront la lecture/écriture sur le port série. Le second module *windows.py* gèrera l'affichage graphique, le traitement des données, l'affichage des résultats et utilisera les fonctions de *uart.py* pour communiquer avec la carte Nucleo.

### 6.3.2. Aperçu de l'IHM réalisé et de sa navigation



La carte n'étant pas en notre possession, nous n'avons pu tester la communication avec la liaison série. De plus, par manque de temps, il ne nous a pas été possible de gérer le traçage des courbes correctement ou d'améliorer d'avantages les fonctionnalités de l'IHM. En effet, la prise en

main du code, en particulier la bibliothèque Tkinter n'a pas été faite durant notre cursus et nous ignorons certainement des fonctionnalités possibles d'utiliser.

## 6.4. OPENMECA

Nous avons également commencé par la prise en main sur le logiciel OPENMECA qui pourra nous donner tous les résultats attendus pour la conception et permettra de valider tous nos calculs.

Dans un premier temps cela nous a permis de réaliser le schéma cinématique sur pour simuler le fonctionnement du système. Le schéma cinématique est toujours en cours de réalisation et la simulation du schéma cinématique n'a pas encore été effectuée.

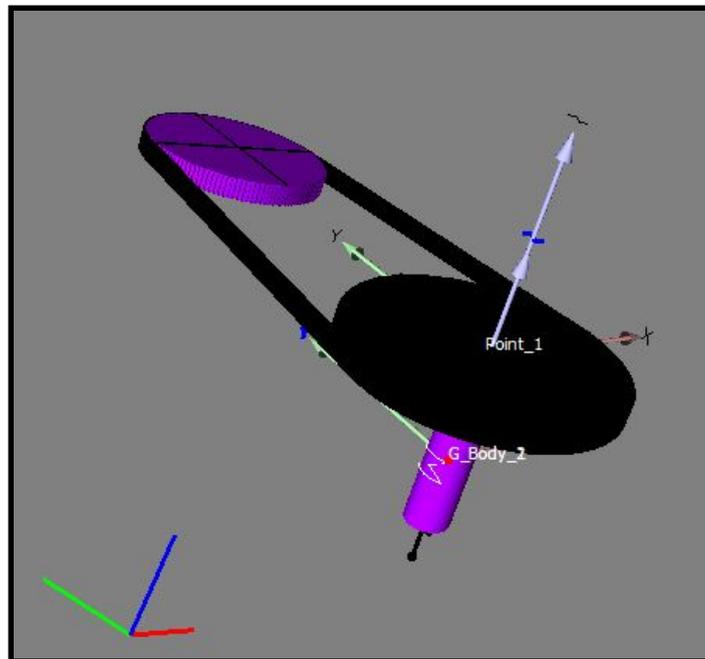


Figure 35 : Schéma cinématique du système moteur-poulie-courroie sur OPENMECA

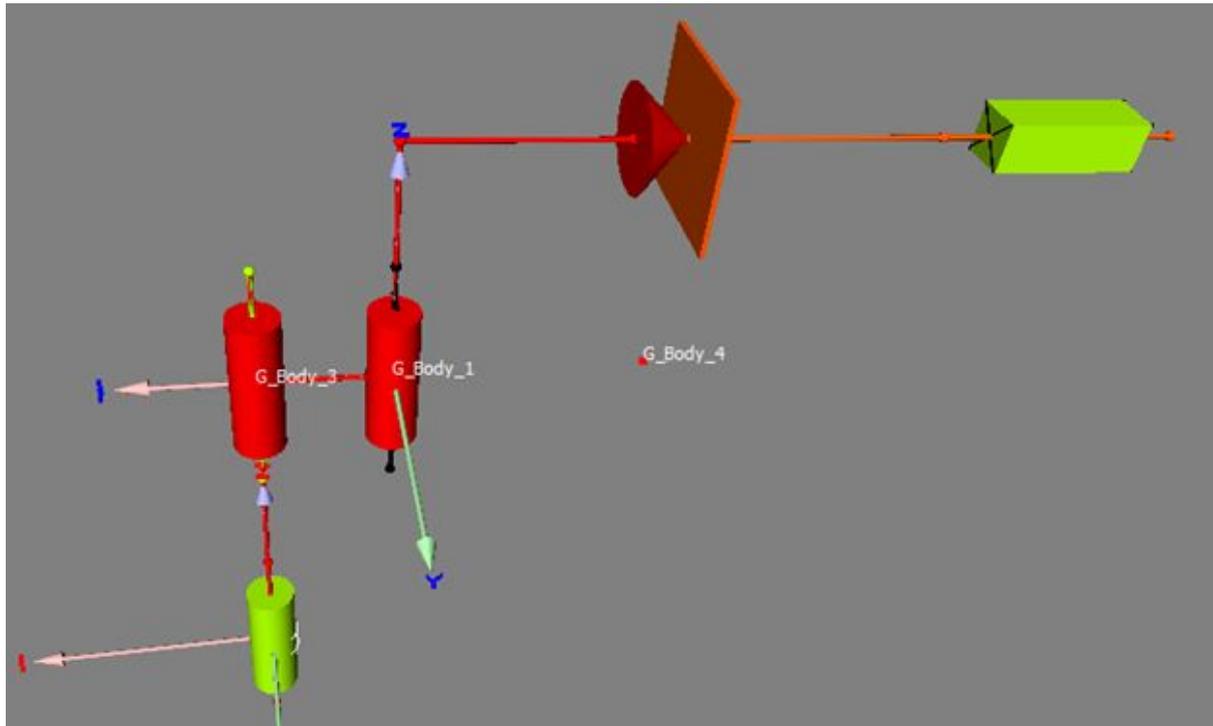


Figure 36 : Simulation du schéma cinématique du système sur OPENMECA.

## 7. Annexes

Voici une liste des documents, joints à ce rapport :

- Cahier des charges
- Schéma global elec/méca de présentation
- Planning
- Portfolios individuels des membres du groupe