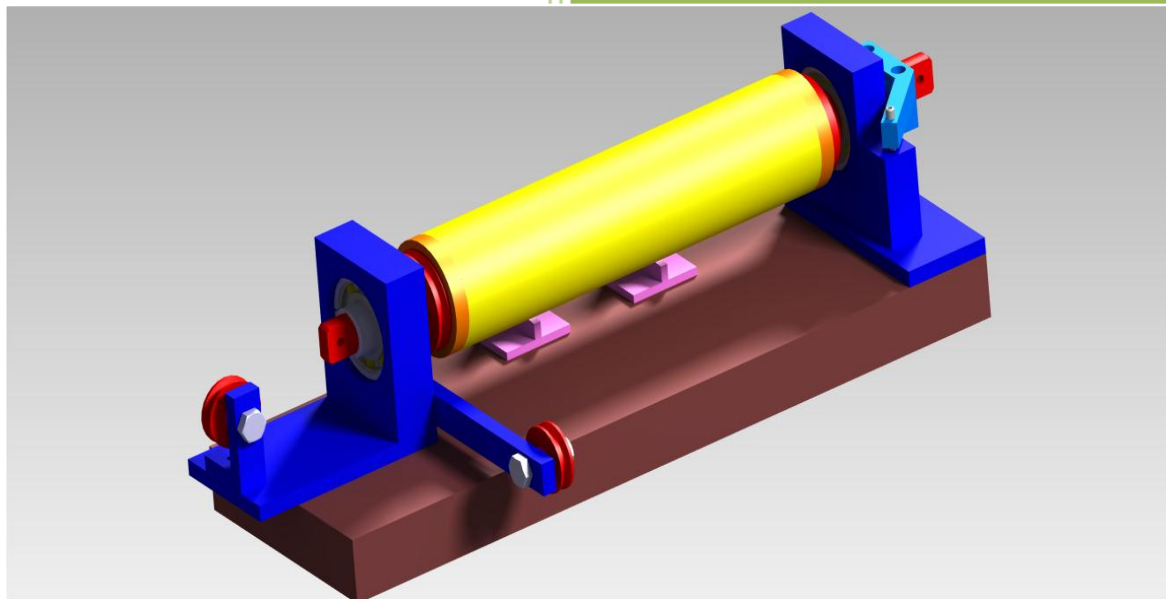


2012

CONCEPTION ET REALISATION  
D'UN BANC DE TP « POUTRES  
EN MOUSSE »



PROJET INDUSTRIEL  
ÉCOLE NATIONALE D'INGENIEURS  
DE METZ

MARTÍ PUERTES Joan

12/06/2012

## INTRODUCTION

Dans le cadre de notre projet industriel, nous devons concevoir et réaliser un banc de TP de résistance des matériaux avec comme élément de base une poutre en mousse. Ce banc a pour but d'une part de permettre aux étudiants d'observer, sentir et mesurer les effets des sollicitations simples et combinées. D'autre part le banc doit pouvoir permettre aux professeurs d'expliquer de manière simple et concrète le cours de RDM à travers des démonstrations sur le banc, dans le souci de pouvoir vérifier la théorie des poutres. Ceci nous amène donc à trouver la meilleure solution technologique en vue de satisfaire les besoins des élèves et des professeurs. Mise à part toutes les difficultés rencontrées dans ce projet, nous avons été passionnés par nos manières d'aborder les problèmes en prenant à chaque fois deux personnalités. La première est l'élève qui souhaiterait faire un TP simple sans trop réfléchir mais acquérir beaucoup de connaissances. La deuxième personnalité est le professeur qui aimerait se faire vite comprendre pour mieux libeller son cours dans les temps tout en étant rassuré que ses résultats vérifient la théorie des poutres. Toutes ces contraintes nous confient alors une mission à exécuter avec du sérieux et adresse. Nous avons donc misé sur toutes nos connaissances en management de projet, en sciences de l'ingénieur et en sciences fondamentales. Bénéficiant des atouts comme l'esprit d'équipes, nos relations avec un concepteur Monsieur Jacques Maurel et du pilotage du projet par Monsieur Kevin Huynen; nous sommes parvenu à concevoir le banc. Mais étant toujours préoccupé par la qualité, le coût et le délai; nous n'avons pas pu fabriquer ce banc. Néanmoins nous fournissons toutes les données nécessaires à sa fabrication. *" Tout ce qui mérite d'être fait mérite d'être bien fait "*.

## INDICE

1. CAHIER DE CHARGES FONCTIONNEL :	5
1.1 LA BETE A CORNES :	5
1.2. ANALYSE FONCTIONNELLE :	6
1.3 DIAGRAMME FAST :	7
1.2.1 Fonctions principales:	7
1.2.2 Fonctions Complémentaires:	8
1.4. CAHIER DE CHARGES :	9
2. PILOTAGE DU PROJECT	9
2.1. PLANIFICATION	9
2.1.1. Plan détails	10
2.1.2 Diagramme Gantt	10
2.1.3 Planification final :	11
2.2. METHODE DE TRAVAIL	12
2.3. RENDEZ-VOUS AVEC M. HUYNEN :	12
3. PRESENTATION DU BANC :	12
3.1 CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES :	12
3.1.1 Liaisons cinématiques :	13
3.1.2 Système de polies :	15
3.1.3 Système de mesures	16
3.1.4 Système de démontage de la poutre :	16
3.2 FONCTIONNEMENT ET RECOMMANDATION D'UTILISATION :	16
3.2.1 Fonctionnement générale :	17
3.2.2 Recommandations d'utilisation générales :	18
4. FABRICATION :	18
4.1 PIECES STANDARD :	18
4.1.1 Poutre en mousse cylindrique :	19
4.1.2 Tracé des lignes :	19
4.2 : PIECES A FABRIQUER	19
4.2.1 Plaques de chargement :	20
5. CALCUL D'AMPLITUDE DES SOLLECITATIONS EXERCEES	20

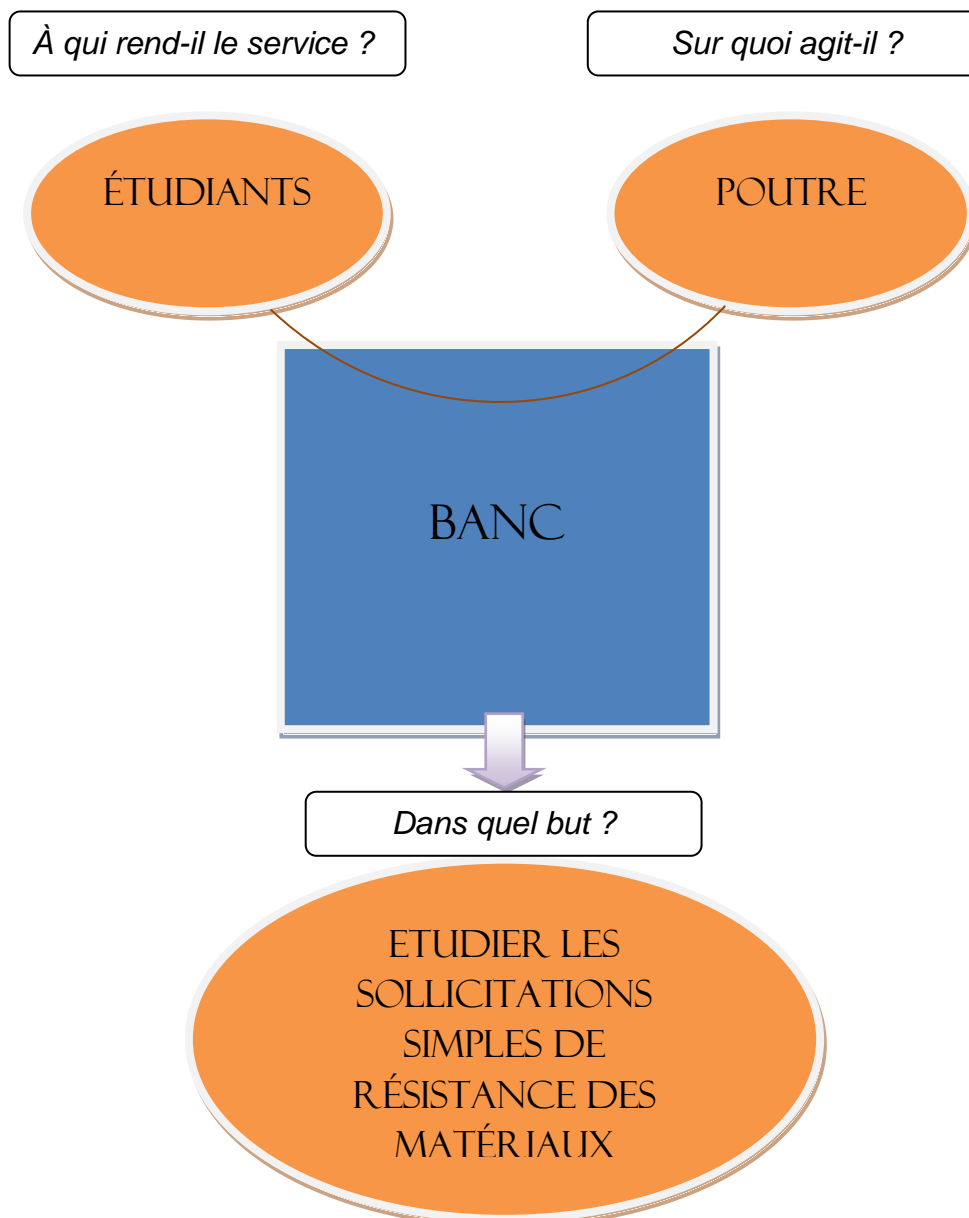
5.1	Caractéristique mécanique de la poutre en Mousse PU40.....	20
5.2	Elasticité en traction .....	20
5.3	Elasticité en torsion simple :.....	21
5.4	Elasticité en flexion simple .....	22
5.4	Elasticité en sollicitation combinées.....	23
6	.CONCLUSION GENERALE .....	25
7	.ANNEXES : .....	26
	Annexe 1 → Cahier de charges Fonctionnel (Document ci-joint).....	26
	Annexe 2 → Liste des pièces (Document ci-joint) .....	26
	Annexe 3 → Game d'usinage .....	27
	Annexe 4 → Rendez-vous avec Huynen (Document ci-joint) .....	41
	Annexe 5 → Mises en plan (Document ci-joint) .....	41

## 1. CAHIER DE CHARGES FONCTIONNEL :

Pour la construction du cahier de charges fonctionnel, on utilise différents moyennes d'identifications des besoins pour finalement diriger tout le projet vers un même objectif.

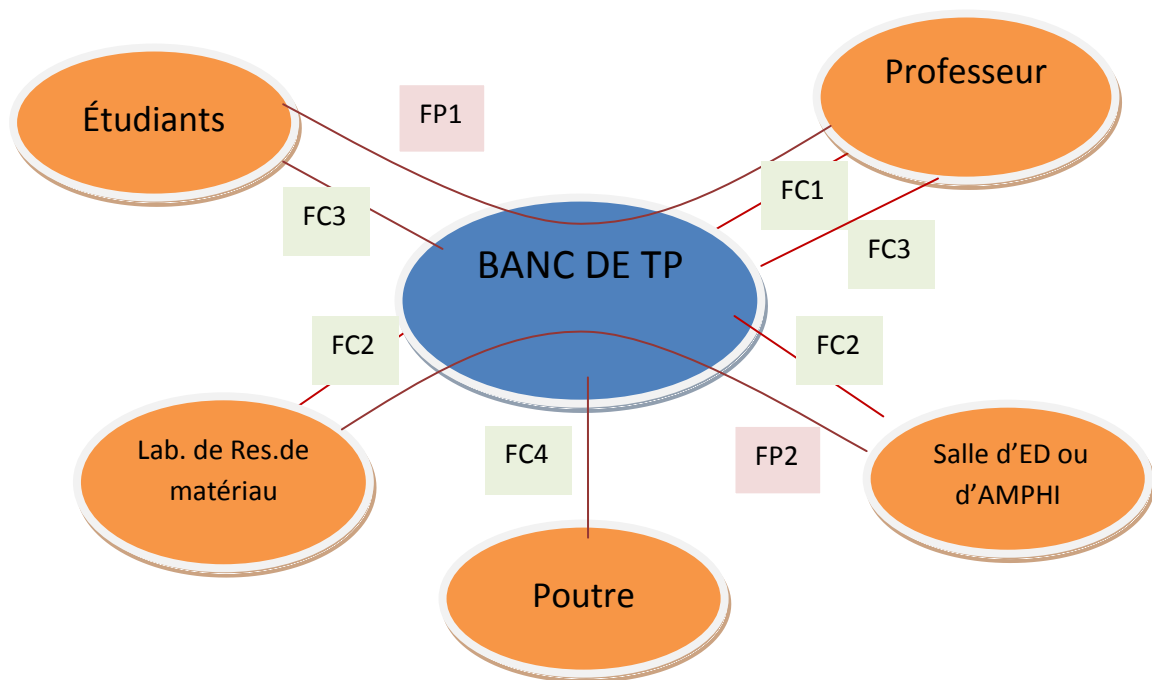
### 1.1 LA BETE A CORNES :

Dans un premier et de manière plus générale, la bête à cornes nous permet d'identifier tant les facteurs que le but principal du produit à fabriquer.



## 1.2. ANALYSE FONCTIONNELLE :

Dans la suite du processus d'identification des besoins, la construction d'un diagramme fonctionnelle permet d'identifier tous les facteurs extérieurs qui agissent avec ses respectives fonctions dans le cadre d'un bon fonctionnement du banc.

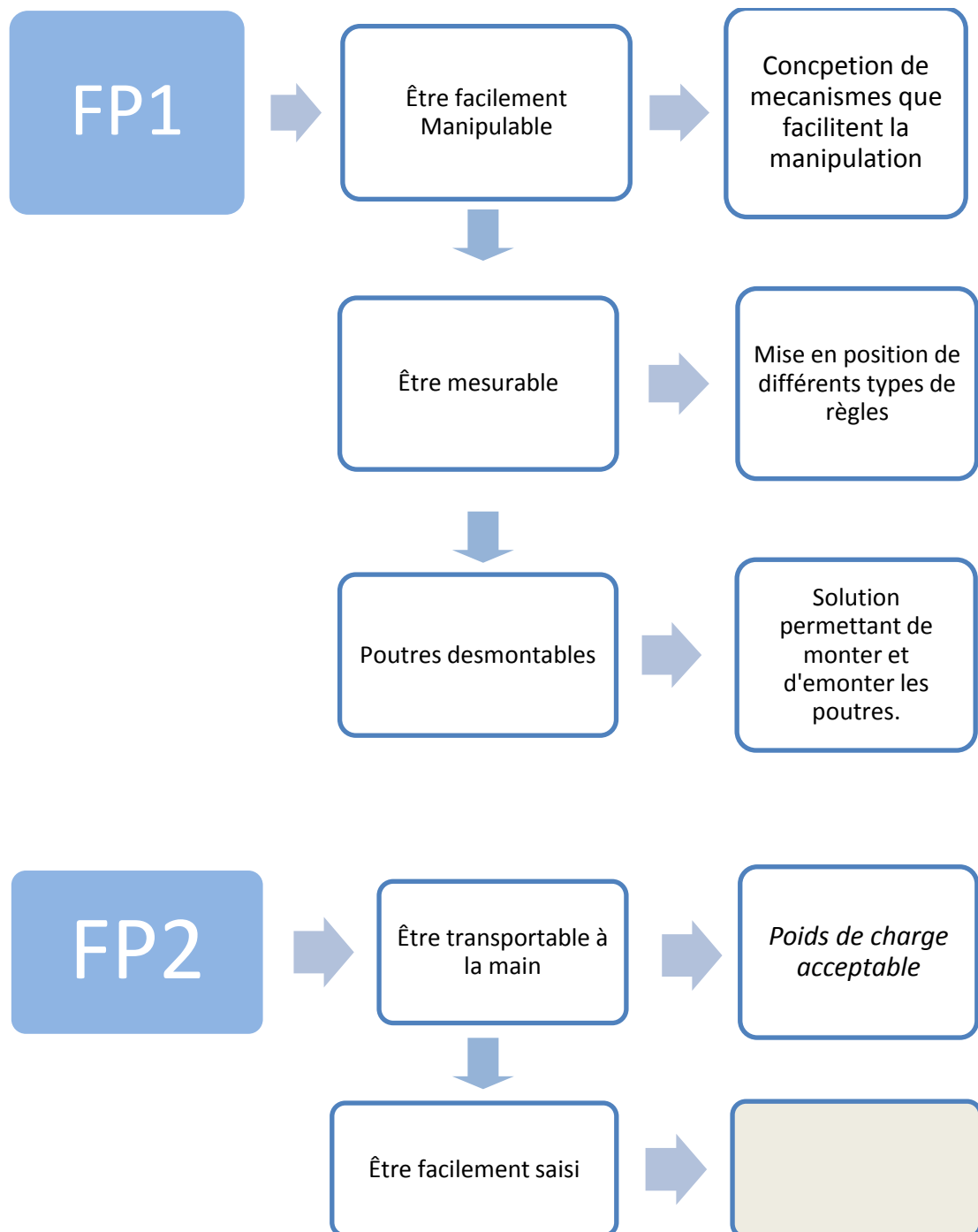


FONCTIONS PRINCIPALES	
FP1	Permettre de visualiser, ressentir et mesurer ou quantifier d'une manière simple les phénomènes de déformation due à la sollicitation.
FP2	Être facilement transportable
FONCTIONS COMPLEMENTAIRES	
FC1	Réspecter les exigences du département de mécanique et conception
FC2	Présenter un encombrement minimum
FC3	Être facilement manipulable
FC4	Être aussi facilement déformable que performante.

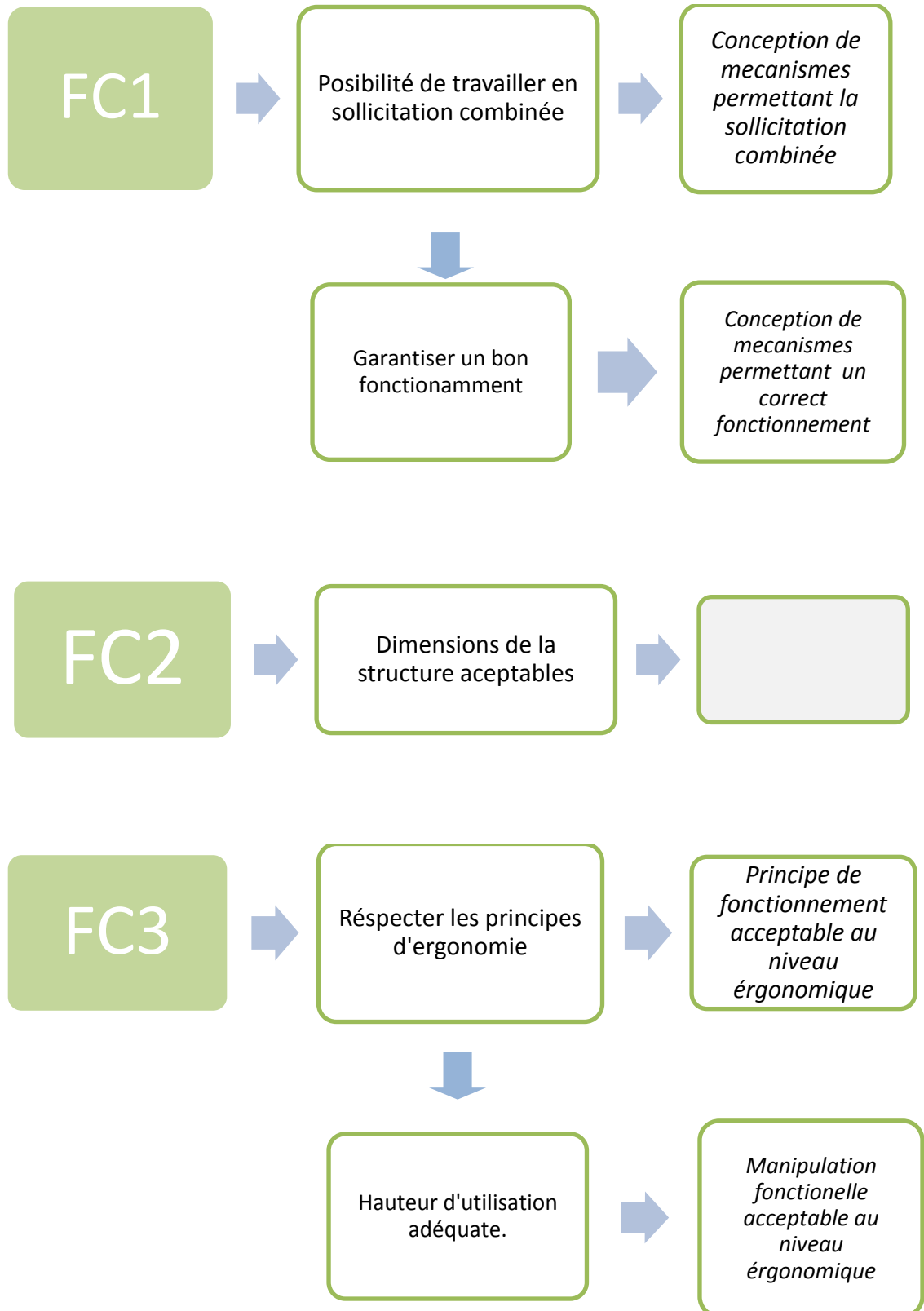
### 1.3 DIAGRAMME FAST :

À continuation et comme dernier pas avant la construction du cahier de charges fonctionnel, il est donc nécessaire de reconnaître les contraintes à respecter et les besoins à satisfaire pour atteindre les buts de façon efficace.

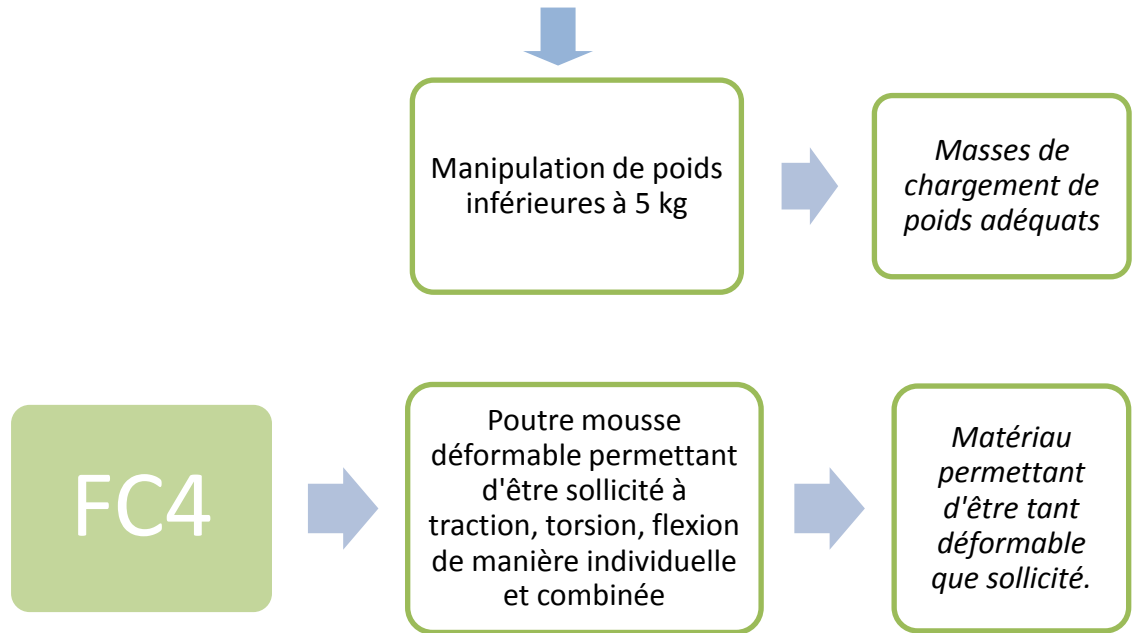
#### 1.2.1 Fonctions principales:



### 1.2.2 Fonctions Complémentaires:







#### 1.4. CAHIER DE CHARGES :

Avec l'aide des différents outils traités précédemment, le cahier de charges a été rédigé (voir annexe 1 « Cahier de charges Fonctionnel »).

## 2. PILOTAGE DU PROJECT

### 2.1. PLANIFICATION

La méthode utilisée par nous dans la planification de ce projet est comme suit:

Au début, nous indiquent avec Lefèvre et Huynen qui était le but de notre projet et toutes les phases que nous avons besoin pour fonctionner.

Pour ce faire, nous avons commencé de travailler dès le premier jour avec le plan de travail que nous devons continuer le long du parcours pour atteindre notre objectif. Le calendrier est composé à l'étude du projet qui comprend l'analyse fonctionnelle, le diagramme FAST, cahier des charges, technologies veille, amendement du retenu modèle, une fois fini le projet nous étudions la conception de la structure avec le dessin, calculs et dimensionnement, bureau des études et méthodes d, de la construction CATIA. Poursuite de la construction, commandes, réception, fabrication, assemblage. Pour en finir avec Powerpoint de la soutenance et rapport.

### 2.1.1. Plan détails

Unique Id	Tache	Date début	Date Fin	Progression	dépendance	WBS
1	1. ETUDE PROJET	8-Feb-2012	8-Mar-2012	100		1.00
2	1.1 Planning	8-Feb-2012	12-Feb-2012	100		1.10
3	1.2 L'analyse fonctionnelle	8-Feb-2012	15-Feb-2012	100		1.20
4	1.3 Diagramme FAST	15-Feb-2012	19-Feb-2012	100		1.30
5	1.4 Cahier de charges	19-Feb-2012	25-Feb-2012	100		1.40
6	1.5 Veille technologies	13-Feb-2012	8-Mar-2012	100		1.50
7	1.6 Amendement du model retenu	1-Mar-2012	8-Mar-2012	100		1.60
8	2. CONCEPTION DESIGN	8-Mar-2012	5-Apr-2012	100		2.00
9	2,1 Dessin de la structure	8-Mar-2012	29-Mar-2012	100		2.01
10	2,2 Calculs et Dimensionnement	15-Mar-2012	5-Apr-2012	100		2.02
11	2,3 Bureau d études et des méthodes	8-Mar-2012	5-Apr-2012	100		2.03
12	3.CAO	29-Mar-2012	26-Apr-2012	100		3.00
13	3.1 Construction CATIA	29-Mar-2012	26-Apr-2012	100		3.01
14	4.CONSTRUCTION	29-Mar-2012	24-May-2012	0		4.00
15	4.1 Comandes	29-Mar-2012	16-May-2012	0		4.01
16	4.2 Reception	26-Apr-2012	29-Apr-2012	0		4.02
17	4.3 Fabrication	30-Apr-2012	24-May-2012	0		4.03
18	4.4 Assemblage	26-Apr-2012	24-May-2012	0		4.04
19	5. RAPPORT	17-May-2012	24-May-2012	100		5.00
20	5.1 Powerpoint Soutenance	17-May-2012	24-May-2012	100		5.01
21	5.2 Rapport	17-May-2012	24-May-2012	100		5.02

Figure 2.1. Plan détails

### 2.1.2 Diagramme Gantt

Dans le diagramme de Gantt, nous pouvons voir l'évolution qui a été initialement approuvé par la planification.

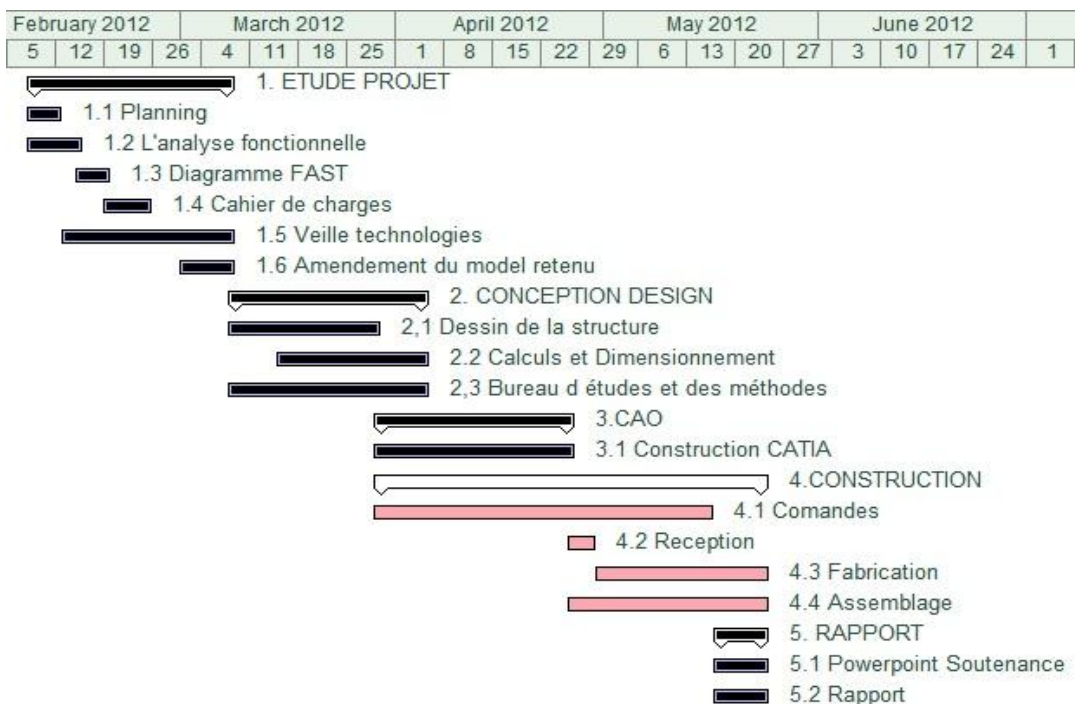


Figure 2.2. Diagramme Gantt Initial

### 2.1.3 Planification final :

Il s'agit de la planification réellement suivie. Tout au long du semestre, nous avons dû adapter et modifier le temps alloué pour chaque section en raison des nouvelles exigences du projet non prévu initialement.

Unique Id	Tache	Date début	Date Fin	Progression	dépendance	WBS
1	<b>1. ETUDE PROJET</b>	<b>8-Feb-2012</b>	<b>29-Mar-2012</b>	<b>100</b>		<b>1.00</b>
2	1.1 Planning	8-Feb-2012	12-Feb-2012	100		1.10
3	1.2 L'analyse fonctionnelle	8-Feb-2012	22-Feb-2012	100		1.20
4	1.3 Diagramme FAST	15-Feb-2012	29-Feb-2012	100		1.30
5	1.4 Cahier de charges	19-Feb-2012	3-Mar-2012	100		1.40
6	1.5 Veille technologies	13-Feb-2012	29-Mar-2012	100		1.50
7	1.6 Amendement du model retenu	1-Mar-2012	15-Mar-2012	100		1.60
8	<b>2. CONCEPTION DESIGN</b>	<b>8-Mar-2012</b>	<b>9-Jun-2012</b>	<b>100</b>		<b>2.00</b>
9	2.1 Dessin de la structure	8-Mar-2012	9-Jun-2012	100		2.01
10	2.2 Calculs et Dimensionnement	15-Mar-2012	9-Jun-2012	100		2.02
11	2.3 Bureau d études et des méthodes	8-Mar-2012	22-Apr-2012	100		2.03
12	<b>3.CAO</b>	<b>29-Mar-2012</b>	<b>9-Jun-2012</b>	<b>100</b>		<b>3.00</b>
13	3.1 Construction CATIA	29-Mar-2012	9-Jun-2012	100		3.01
14	<b>4.RAPPORT</b>	<b>6-Jun-2012</b>	<b>12-Jun-2012</b>	<b>100</b>		<b>4.00</b>
15	4.1 Powerpoint Soutenance	6-Jun-2012	12-Jun-2012	100		4.01
16	4.2 Rapport	6-Jun-2012	12-Jun-2012	100		4.02

Figure 2.3. Planification Final

En bref, nous voyons l'évolution qui a eu enfin notre projet et les délais qui ont été marqués principalement par la difficulté dans la conception.

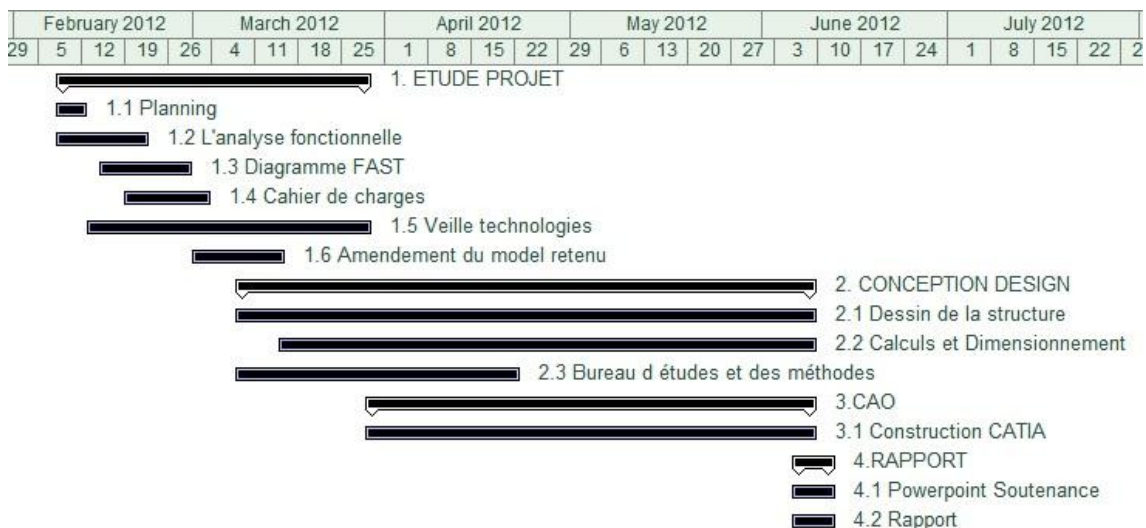


Figure 2.4. Diagramme Gantt Final

## 2.2. METHODE DE TRAVAIL

La méthode que nous avons utilisée pour la réalisation de ce projet était: En travaillant en groupe chaque semaine en général jeudi après-midi où nous avons un rendez-vous avec Mr. Huynen pour la correction des travaux effectués au cours de la semaine précédente et de l'orientation du prochain chapitre. Après le rendez-vous avec Mr. Huynen nous avons rencontré dans la bibliothèque pour travailler et déterminer quelle partie à chaque composant pour la semaine prochaine. Nous avons continué de travailler avec chaque section, j'ai échangé des vues sur l'exécution du travail et si nous sommes arrivés à trouver des solutions qui étaient appropriées.

Une fois commencé à travailler l'après-midi chacun, alors chacun continué à travailler à la maison, bien qu'il avait des doutes sur n'importe quel point nous avons aidé les uns des autres. Avant le prochain rendez-vous, nous avons rencontré de mettre sur pied le travail accompli cette semaine et de mettre les étapes pour expliquer aux Mr. Huynen. Comme le travail à faire était de tous les membres du groupe, nous avons rencontré le jeudi et le samedi.

## 2.3. RENDEZ-VOUS AVEC M. HUYNEN :

En différents occasions lors du semestre académique, le groupe de travail s'est rendu chez M. HUYNEN, enseignant et piolet du projet. Chaque rendez vous a été enregistré et résumé (*voir annexe « rendez-vous avec M. Huynen*)

## 3. PRESENTATION DU BANC :

À continuation on présent et décrit le model final avec ses différentes systèmes.

### 3.1 CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES :

Banc de TP avec poutre en mousse PU-38 permettant de faire sollicitations combinés (*annexe : dessin d'assemblage*). Grâce au mécanisme à double rotule et au système de poulies à deux axes, il est bien possible de réaliser tant plusieurs combinassions des sollicitations que chaque 'une pour séparée.

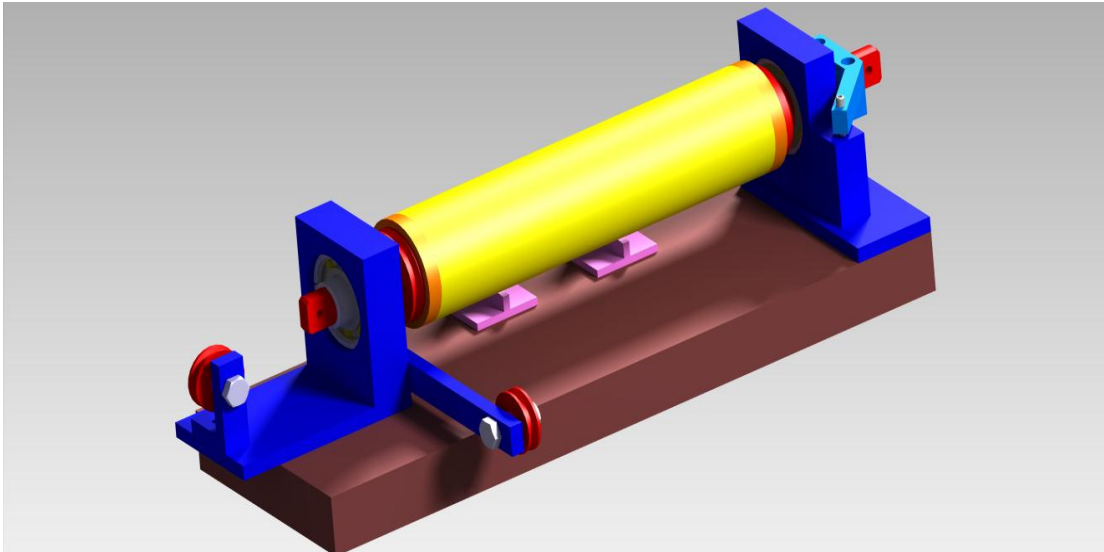


Figure 3.1. Banc des sollicitations multiaxes

### 3.1.1 Liaisons cinématiques :

Les différents liaisons cinématiques ont été conçues de manière à ce que le banc puisse solliciter la poutre avec le minimum de frottement possible et effectue son travail de manière optimale.

Pour en réussir il n'est pas seulement nécessaire d'avoir des liaisons permettant de faire la torsion, traction et flexion de façon séparé et combiné, mais aussi de réduire au maximum le contact entre les pièces qui bougent et celles qui sont statiques.

La solution technique choisie consiste à mettre *une liaison rotule a chaque coté du banc*, permettant ainsi d'avoir soit la torsion, la flexion pure ou les deux à la fois en dépendent des besoins. Pour atteindre cette liaison, deux *roulements à rotule* (« 1 » sur la figure 3.2) ont été mis en place sur le banc.

Pour parvenir à mettre en place la traction, il est forcément nécessaire d'avoir une *liaison rotule axialement mobile* et une autre fixe, de façon à allonger la poutre en mousse et le poser ainsi des efforts axiaux. Le principal inconvénient se trouve au niveau de la friction généré par le contact entre une surface mobile et une autre fixe, puisque ça engage généralement des efforts parasites qui produisent des erreurs importants au niveau des calculs et mesures.

La solution la plus optimale trouvée a été d'ajouter, à un coté du banc, une *cage à bis (2)* entre la le *roulement à rotule* et la *poulie de chargement (4)* : Cette solution permettre d'avoir déplacement horizontal à un coté de la poutre en permettant de conserver la liaison et *en minimisant les efforts parasites dues*

au frottement. En plus, avec cette liaison on peut appliquer les trois types de sollicitation au même temps

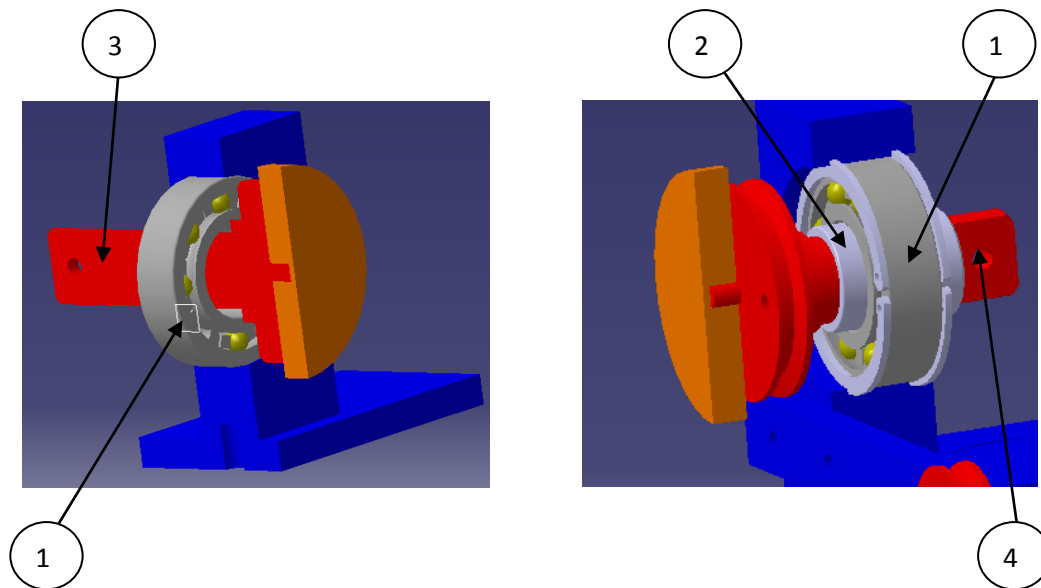


Figure 3.2. Liaisons cinématiques.

Par contre, pour avoir de la torsion il faut tant permettre la rotation d'un côté que l'empêcher de l'autre, et par conséquent, il est forcément nécessaire d'avoir un mécanisme qui enlève ce degré de liberté. La vraie complication se trouve au niveau de la conception de ce mécanisme, puisque il doit agir sur un point lequel ne génère pas des efforts parasites sur la poutre. Pour cela on doit mettre en place une liaison ponctuelle respectant deux conditions : Qu'elle agisse sur un axe parallèle à celle de la poutre et qu'elle se trouve sur l'axe transversal du roulement à rotule.

Comme solution, il a été mis en place le mécanisme suivant :

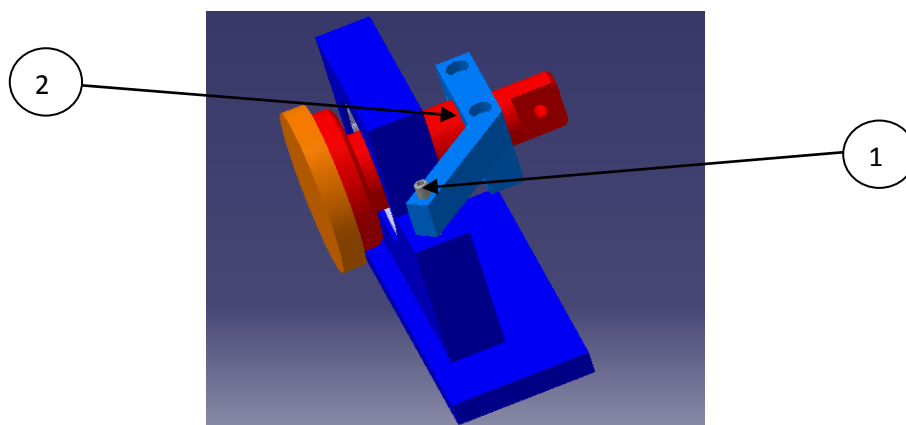


Figure 3.3. Liaison ponctuelle

Comme on voit en la figure ci-dessus, le fait que la liaison ponctuelle soit ramenée à un point d'application sur l'axe transversal du roulement à rotule supprime toute possibilité d'efforts parasites.

Le mécanisme anti-rotation est composé d'une cale démontable (2) avec un vis à bout sphérique (1)

### 3.1.2 Système de polies :

La configuration spatiale des polies doit permettre d'appliquer les efforts et moments nécessaires pour générer les trois sollicitations au même temps. C'est pourquoi chaque poulie doit forcément être liée à un type de chargement déterminé.

Pour la torsion, sont deux les polies qui agissent : celle de chargement (« 4 » sur la figure 3.2) qui se trouve au côté de la rotule mobile et celle petite (« 2 » sur la figure 3.4) avec l'axe parallèle. Le but de cette configuration est de pouvoir appliquer un effort qui produise un moment torseur toujours en profitant de la force de la gravité (effort à poids). La poulie de chargement qui est collée à la poutre transmet le moment torseur à travers d'un fil alors que la petite amène le poids qui génère le moment hors du bâti, en permettant ainsi de produire la torsion sans un effort humain constant.

Au niveau de la traction, le principe est le même mais les polies qui interviennent sont celle de chargement et celle petite qui a l'axe perpendiculaire (« 3 »). L'objectif de cette configuration est de tirer longitudinalement de la poutre pour avoir des efforts axiaux sur la même, en profitant toujours de la force gravitationnelle. Il est nécessaire donc d'être le plus précise possible au niveau d'alignement entre polies, puisque le plus petit défaut nous amènerait à avoir des moments de flexion parasites. Alors, en conclusion, les polies doivent être rendues de manière à avoir le fil de connexion toujours horizontal.

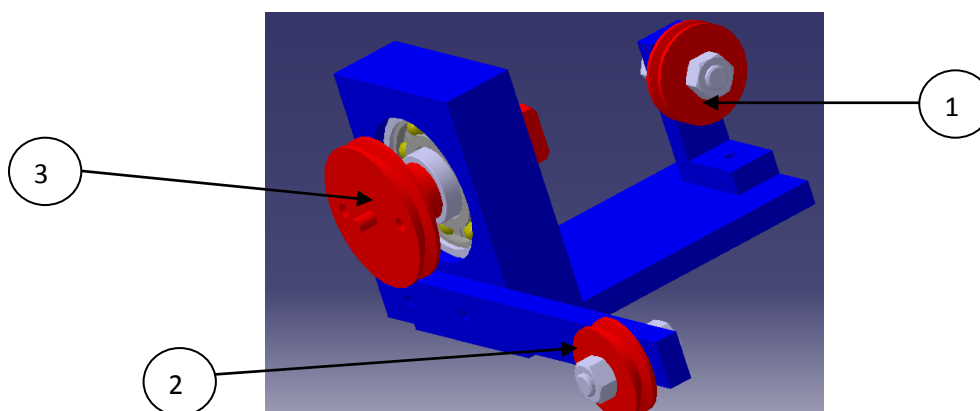


Figure 3.4 Polies Traction et Torsion

### 3.1.3 Système de mesures

Pour réaliser les différentes mesures angulaires au niveau de la sollicitation à torsion, il est forcément nécessaire d'avoir un système de mesure propre du banc, puisque ce type de mesure représente un niveau de difficulté et d'imprécision pour l'élève qui n'a pas les instruments adéquats pour en faire.

Il a été donc ajouté au banc deux « *enquerre de torsion* » les quels, avec l'échelle correcte, permettent de prendre l'angle de torsion sur deux points différents. Par contre, pour faciliter le travail et gagner au niveau de précision, des différentes lignes doivent être tracées sur la poutre (*voir section 4.1.2 « trace de lignes »*).

Au niveau de la traction et flexion, il suffit juste de tracer correctement les lignes et avoir des règles droites et puis prendre deux mesures : celui de l'état initial de la poutre et celui de l'état final après le chargement.

### 3.1.4 Système de démontage de la poutre :

À chaque extrémité de la poutre, deux *plaques de chargement* à PVC on été mis en place pour faciliter le démontage. Celles dernières se situent entre la *poutre à mousse* et les *poulies de chargement* correspondantes (*voir annexe : « plan d'assemblage »*), étant collées et liées pour 2 *vis* et un *centreur* respectivement. (*Voir annexe : « Dessin de définition : Pièces à fabriquer 2/3 »*). Cela dit, on peut donc monter et démonter l'ensable « *Poutre-Plaques de chargement* » du bâti, en donnant ainsi la possibilité aux élèves de manipuler *individuellement* la poutre.

## 3.2 FONCTIONNEMENT ET RECOMMANDATION D'UTILISATION :

La performance du banc est forcément liée à la façon avec laquelle l'utilisateur le manipule. Il faut donc tenir en compte plusieurs paramètres et recommandations à suivre pour garantir ainsi un correct fonctionnement du banc.

Dans la suite, on présent le fonctionnement générale du banc et on fait différentes recommandations.



### 3.2.1 Fonctionnement générale :

La conception du banc a été amenée de façon à appliquer les déformations avec des efforts produits pour des masses suspendues, alors les différents systèmes physiques positionnés sur le banc permettent de transformer le poids des masses en sollicitations mécaniques (traction, torsion et flexion). Il est donc nécessaire, si notre objectif est décrire le fonctionnement du banc, d'expliquer comment est réalisée chaque sollicitation.

#### Traction :

Pour réaliser cette sollicitation, une masse marquée doit être suspendue à la *poulie de chargement traction-torsion* (celle qui est en contact à la cage à bills) sur l'axe neutre de la poutre. L'effort est donc appliqué de façon axial à travers d'un fil de connexion qui lie la poulie de chargement et les masse, et qui est a la fois guidé par une autre *poulie guide*. Le déplacement axial de la poutre est possible grâce à la *cage à bills* étant une liaison griserie et permettant le libre déplacement de la poutre.

Il faut remarquer que l'autre coté du banc ne peut pas bouger axialement, puisque y a une contrainte de mouvement imposé pour la mise en position du roulement à rotule.

La *règle de mesure axial* permet de prend des valeurs de déformation axial sur la poutre.

#### Torsion :

Similairement au précédent, pour réaliser cette sollicitation, une masse marquée doit être suspendue à la *poulie de chargement traction-torsion* mais cette fois-ci sur un axe perpendiculaire à celle de la poutre et depuis la partie supérieure de la poulie. L'effort produit donc une rotation à travers d'un fil de connexion qui lie la poulie de chargement et la masse, et qui est a la fois guidé par une autre poulie *guide*. Le déplacement angulaire de la poutre est possible grâce *au roulement à rotule* permettant le libre déplacement rotationnel de la poutre.

Pour empêcher la rotation de l'autre coté, le système anti-rotation de la *figure 3.3* est serré à la *poulie de chargement*. Ce mécanisme peut être aussi démontable si on a besoin de faire maintenance ou faire un changement de poutre.

#### Flexion Pure :

La génération du moment de flexion s'est fait à un coté de la poutre : une masse marquée est suspendue à la *poulie de chargement de flexion* (celle qui a

le système anti-rotation serré) laquelle génère un moment de flexion sur la poutre grâce au effet de rotule produit pour le *roulement à rotule*.

### 3.2.2 Recommandations d'utilisation générales :

Le *Banc de sollicitations multiaxes* fonctionne toujours avec de masses suspendues. Il est donc strictement nécessaire d'avoir un support élevé *au moins 1 mètre du sol* si le fil à a une longueur inférieur *40 cm*. Pour ergonomie, est recommandable poser le banc à une hauteur de *90-95 cm* du sol au moment de travailler là-dessus.

## 4. FABRICATION :

Le banc de TP Poutre en Mousse contient plusieurs types de pièces, soit pièces standard, soit pièces à fabriquer par usinage. Donc, la fabrication du banc a besoin d'une méthode bien définie pour que le banc puisse être fabriqué. Une remarque à faire est que les pièces standard ont été faits avec que quelques dimensions des pièces à fabriquer soient données à partir des dimensions des pièces standard, puisqu'on a envisagé faire la conception du banc de TP avec la plus grande quantité de pièces standard possible.

### 4.1 PIECES STANDARD :

Les pièces standards sont trouvées dans le marché à partir du catalogue du fabricant. Pour faciliter l'achat de ce type de pièce, on a cherché sur l'internet les fournisseurs qui vendent en ligne les pièces qu'on a besoin pour faire la construction du banc de TP Poutre en Mousse. Dans la suite, on aura la description de la poutre en mousse et de la démarche pour tracer des lignes. On peut trouver dans l'annexe 2 toutes les pièces standards qu'on va utiliser dans le banc de TP, avec les descriptions et toutes les informations de chaque composant.

#### 4.1.1 Poutre en mousse cylindrique :

Il s'agit d'une mousse standard pour matelas, de masse volumique de  $28 \text{ kg/m}^3$ . Le diamètre de 70 mm est standard. La découpe de la longueur se fait au couteau électrique de cuisine, avec une boîte à onglet « sur mesure » (pour avoir une bonne perpendicularité). Mais il y a des entreprises qui font la commande en ligne avec les dimensions choisies.

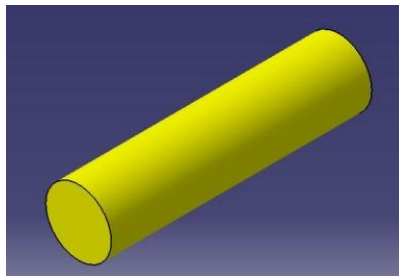


Figure 4.1 Poutre en mousse

#### 4.1.2 Tracé des lignes :

Pour tracer des lignes dans la poutre, il faut un mètre de couturière et une règle cornière pour faire les génératrices. Les directrices peuvent être faites sur un tour (rotation manuelle), avec les deux extrémités étant en liaison pivot (rigidité), avec un feutre guidé dans un porte outil. Il faut faire attention avec cette opération, parce qu'on a besoin d'une bonne dextérité.

### 4.2 : PIÈCES A FABRIQUER

Les pièces à usiner vont être fabriquées en utilisant plutôt des opérations de fraisage et de tournage. Ces pièces ont été faits de manière simple pour faciliter l'usinage, pour diminuer le coût de fabrication et aussi le temps d'usinage. Dans la suite, on aura une petite description des plaques de chargement. Par ailleurs, on peut trouver dans *l'annexe 3* toutes les pièces qu'on va fabriquer et ensuite la gamme d'usinage.

#### 4.2.1 Plaques de chargement :

Les plaques de chargement seront faites en PVC de couleur ivoire, épaisseur 5mm et seront collées sur la mousse avec de la colle époxy.

## 5. CALCUL D'AMPLITUDE DES SOLLICITATIONS EXERCÉES

### 5.1 Caractéristique mécanique de la poutre en Mousse PU40

$E_{\text{traction}} = 7.8 \text{ N / cm}^2$  Module d'Young en Traction

$E_{\text{torsion}} = 8 \text{ N / cm}^2$  Module d'Young en Torsion

$E_{\text{flexion}} = 5.2 \text{ N / cm}^2$  Module d'Young en flexion

$V_{\text{torsion}} = 0.52$  Coefficient de Poisson en Torsion

$V_{\text{traction}} = 0.519$  Coefficient de Poisson en Traction

Masse volumique =  $40 \text{ Kg / m}^3$

Nous remarquons que le Module d'Young varie en fonction du type de sollicitation. Cela provient de la distribution des micros porosités et du fait que le milieu est loin d'être continu.

### 5.2 Elasticité en traction

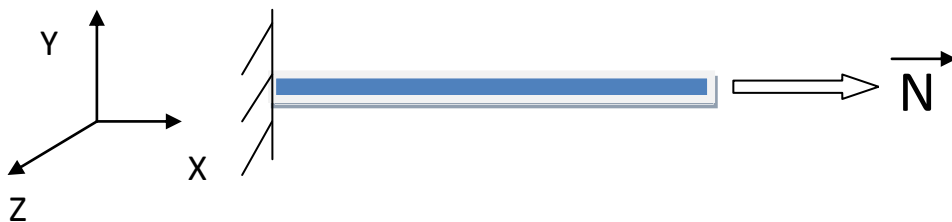


Figure 5.1 Schéma cinématique « sollicitation Traction »

On a :  $\epsilon_x = \sigma_x / E$  ;  $\epsilon_y = \epsilon_z = -\nu \sigma_x / E$  avec  $\sigma_x = N / S$

Or :  $\epsilon_x = \Delta l / l_0$

Notre cage à bille nous limite à une  $\Delta l$  de 36 mm

Donc :  $N = E.S. \Delta l / l_0$

$D = 70 \text{ mm}$  alors  $S = 38,48451 \text{ cm}^2$

Après l'application numérique on trouve  $N = 38,87 \text{ N}$

**Conclusion :**

En supposant que toutes les liaisons sont parfaites et que l'effort est transmis sans frottement, alors la masse maximale à suspendre à la poulie de traction est 4 Kg.

### 5.3 Élasticité en torsion simple :



Figure 5.2 Schéma cinématique « sollicitation Torsion »

On a :  $\theta = \alpha / L$  et  $\theta = M_t / G I_0$  avec  $M_t = R_{poulie} \cdot F$

$\alpha = L \cdot R_{poulie} \cdot F / G I_0$  donc  $F = \alpha \cdot G I_0 / L \cdot R_{poulie}$

Notre maquette nous permet d'avoir un angle  $\alpha$  jusqu'à  $120^\circ$

$$G = E/2(1 + \nu)$$

Après l'application numérique on trouve  $F = 18,23 \text{ N}$

### Conclusion :

En gardant les mêmes hypothèses que précédemment, la masse maximale à suspendre à la poulie de torsion est 2 Kg.

### 5.4 Élasticité en flexion simple

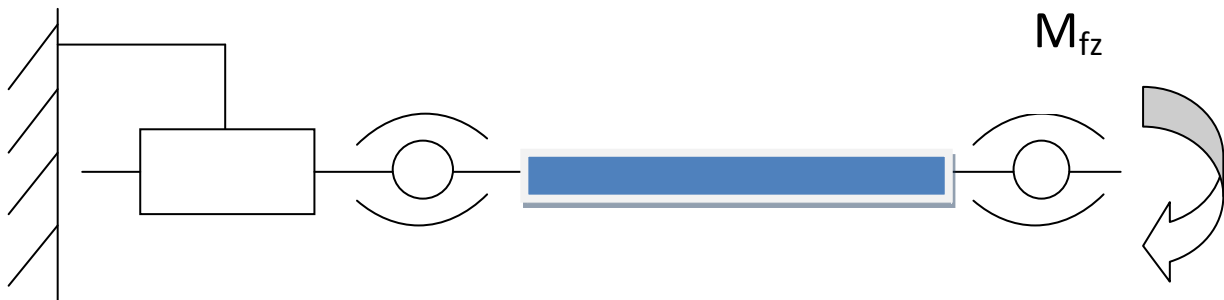


Figure 5.3 Schéma cinématique « sollicitation Flexion »

On a

$$\sigma = - M_{fz} \times y / I_{gz}$$

Y ne peut varier qu'entre -5,5 cm et + 5,5 cm car les études faites sur la poutre PU40 montrent qu'elle prend une forme tordue quand on dépasse ces limites. Donc ne plus vérifier la théorie des poutres sur le model.

$$Y_{critique} = - M_{fz} \times L^2 / (8ExI_{gz}) \quad \text{avec } M_{fz} = - F \times b$$

et b = bras de levier = distance entre le point d'application de F et le centre de la rotule = 6,2cm

$$F = Y_{critique} \times 8ExI_{gz} / bL^2$$

Après l'application numérique on trouve F= 5,63 N

## Conclusion

En gardant les mêmes hypothèses que précédemment, la masse maximale à suspendre pour une flèche maximale est 0,6 Kg.

## 5.4 Elasticité en sollicitation combinées

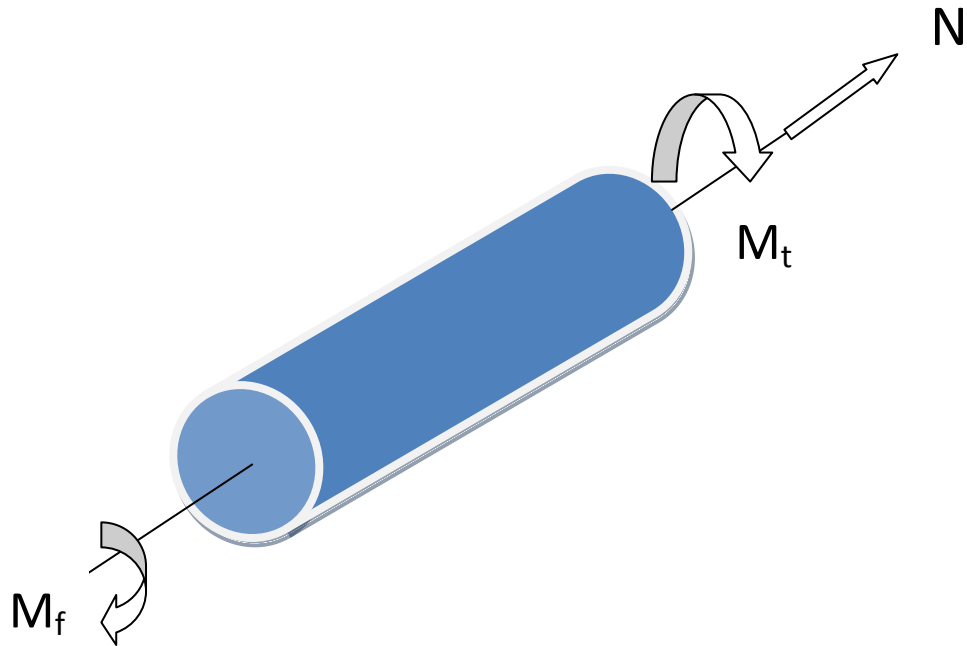


Figure 5.4 Schéma « sollicitation combinée »

$$\sigma_{flexion} = M_{fz} \times y / I_{gz} \quad \sigma_{traction} = N / S \quad \tau = M_t \times r / I_o$$

$\sigma_{flexion}$  et  $\sigma_{traction}$  étant de même nature on a :  $\sigma = \sigma_{traction} + \sigma_{flexion}$

$$\sigma = M_{fz} \times y / I_{gz} + N / S$$

Nous allons donc utiliser une contrainte équivalente pour pouvoir ramener le problème à une traction uni-axiale.

$$\sigma_{Von Mises} = (\sigma^2 + \tau^2)^{0,5}$$

$$\varepsilon = \Delta l / l_o \quad \varepsilon = \sigma_{Von Mises} / E$$

Prenons le cas limite où  $\Delta l = 3,6 \text{ cm}$  et  $l_o = 27,8 \text{ cm}$  donc

$$\varepsilon = 0,1295$$

$$\sigma_{Von Mises} = ((F_{torsion} \times r \times 16 / \pi D^3)^2 + (F_{flexion} \times b \times 32 / \pi D^3 + 4N / \pi D^2))^0,5$$

En posant  $X = F_{torsion}$  ,  $Y = F_{flexion}$  et  $Z = N$

On arrive a l'équation suivante :

$$0,001378x^2 + (0,18412y + 0,0259845 z)^2 = 1$$

Il faut alors trouver le domaine de cette équation avec les contraintes suivantes :

$$0 < x < 18.23 , \quad 0 < y < 5.63 \text{ et } 0 < z < 38.87$$

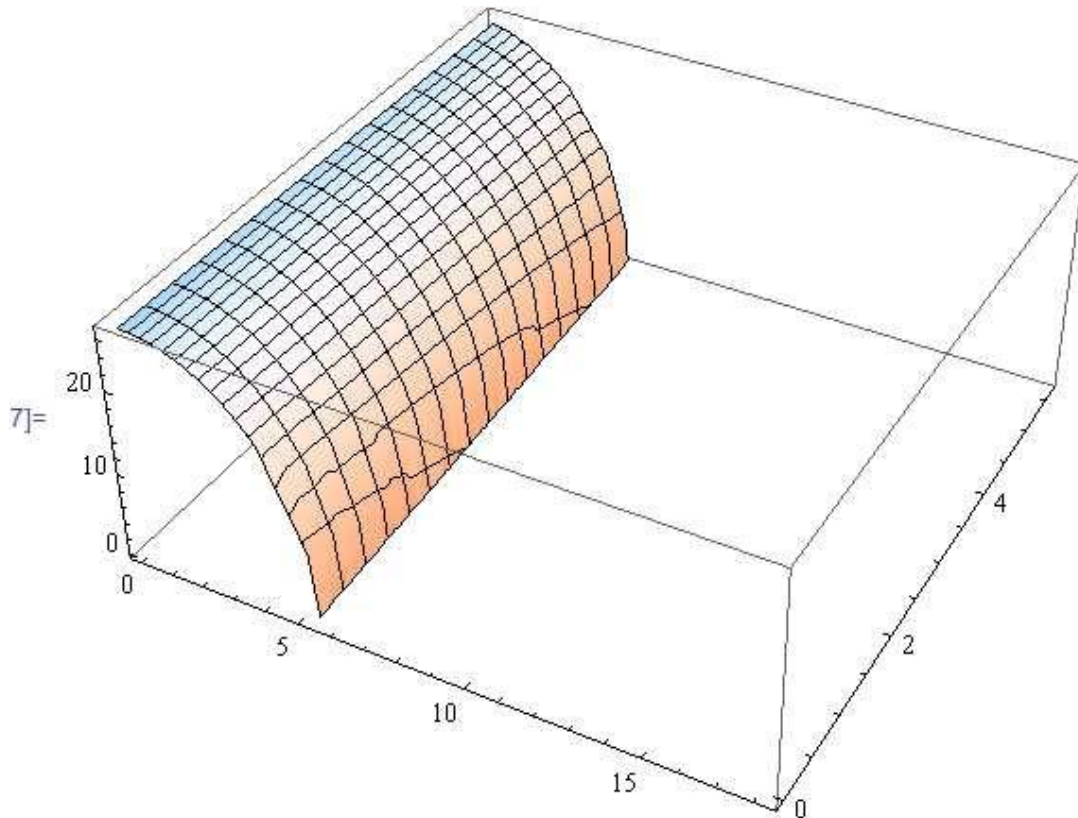


Figure 5.5 Efforts combinés limites

### Conclusion

Le graphe obtenu à l'aide de Mathematica7 nous montre qu'en sollicitations combinées les charges maximales sont :

$$F_{torsion} = 5,4 \text{ N soit une masse de } 540\text{g}$$

$$F_{flexion} = 4,8 \text{ N soit une masse de } 480\text{g}$$

$$N_{traction} = 26 \text{ N soit une masse de } 2,6 \text{ Kg.}$$



## 6 .CONCLUSION GENERALE

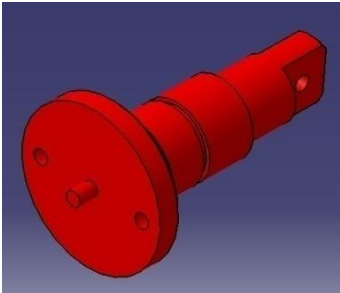
Tout bien considéré, il revient à dire que ce projet nous très bénéfique sur le plan scolaire que relationnel. Nous avons gagné une expérience en matière de travail en équipes. Nous savons aussi comment établir et entretenir une relation avec un responsable. Et aussi comment démarrer un projet en se basant sur la veille technologique. En ce qui concerne notre formation, nous avons beaucoup appris dans le domaine de la conception. Ceci vient du fait que nous avons pas à pas abouti à la présente solution technologique après avoir nuancé et abandonné tant d'autres. Nous espérons que la fabrication du banc puisse être faite sans recours à une modification de notre conception.

## **7 .ANNEXES :**

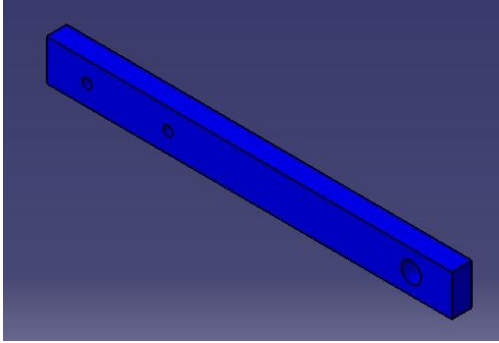
**Annexe 1 → Cahier de charges Fonctionnel (Document ci-joint)**

**Annexe 2 → Liste des pièces (Document ci-joint)**

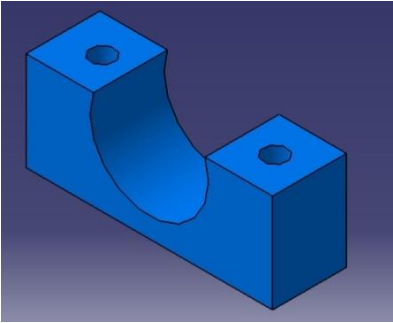
Annexe 3 → Game d'usinage

GAMME D'USINAGE			
PIECE: ARBRE DE CHARGEMENT			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Tournage	A, B, C, D	Tour 2 axes
	Gorge	E	
Phase 20	Surfaçage	F	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
Phase 30	Surfaçage	G	Fraiseuse 3 axes
Phase 40	Surfaçage	H, I, J	Fraiseuse 3 axes
	Pointage	K, L	
	Perçage		

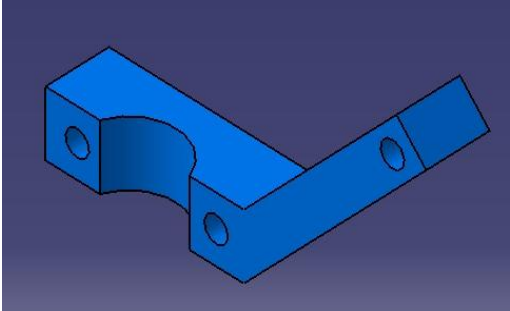
Annexe A Gamme d'usinage : Arbre de chargement

<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: BRAS DE POULIE DE TORSION</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taroudage		
Phase 20	Surfaçage	B	Fraiseuse 3 axes

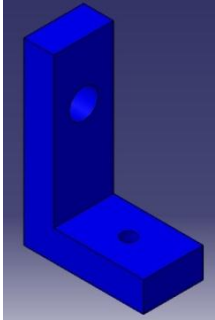
*Annexe B Gamme d'usinage : Bras de poulie de torsion*

GAMME D'USINAGE			
PIECE: BUTEE DE SERRAGE (INF)			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Contournage	A, B	Fraiseuse 3 axes
Phase 20	Pointage	A	Fraiseuse 3 axes
	Perçage		
	Taraudage		

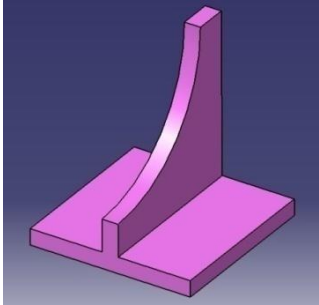
Annexe C Gamme d'usinage : Butée de serrage (INF)

<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: BUTEE DE SERRAGE (SUP)</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage	B, C, D	
	Perçage		
	Lamage	E, F	
Phase 20	Contournage	G, H	Fraiseuse 3 axes

*Annexe D Gamme d'usinage : Butée de serrage (SUP)*

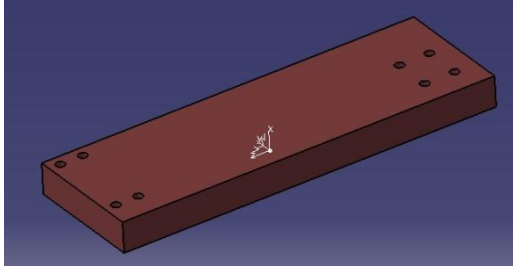
GAMME D'USINAGE			
PIECE: EQUERRE DE POULIE TRACTION			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
Phase 20	Surfaçage	B et C	Fraiseuse 3 axes
Phase 30	Surfaçage	D	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taraudage		

*Annexe E Gamme d'usinage : Equerre de poulie traction*

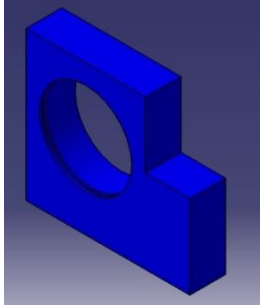
<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: EQUERRE DE TORSION</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
Phase 20	Surfaçage	B	Fraiseuse 3 axes
Phase 30	Surfaçage	C	Fraiseuse 3 axes

*Annexe F Gamme d'usinage : Equerre de poulie torsion*



<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: GRAND SUPPORT</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Lamage		

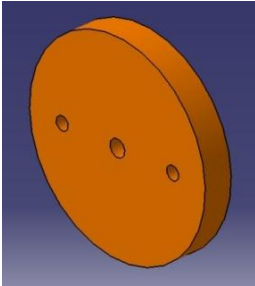
*Annexe G Gamme d'usinage : Grand Support*

GAMME D'USINAGE			
PIECE: PALIER DE FLEXION			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Alésage	A, B	Tour 2 axes
	Gorge Intérieur		
Phase 20	Surfaçage	C, D	Fraiseuse 3 axes
Phase 30	Surfaçage	E	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taroudage		

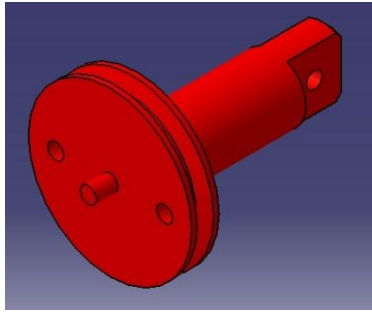
*Annexe H Gamme d'usinage : Palier de flexion*

GAMME D'USINAGE			
PIECE: PALIER DE TRACTION - TORSION			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Alésage	A, B	Tour 2 axes
	Gorge Intérieur		
Phase 20	Surfaçage	C	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taroudage		

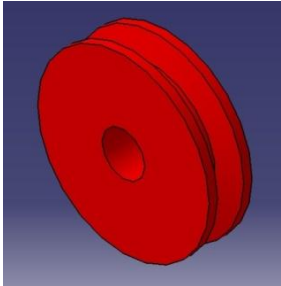
Annexe I Gamme d'usinage : Palier de traction - torsion

GAMME D'USINAGE			
PIECE: PLAQUE DE CHARGEMENT			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taroudage		
Phase 20	Surfaçage	B	Fraiseuse 3 axes

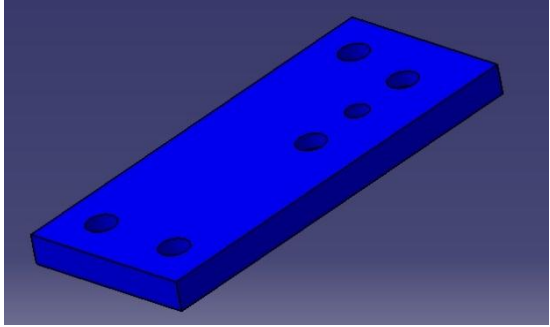
Annexe J Gamme d'usinage : Plaque de chargement

GAMME D'USINAGE			
PIECE: POULIE DE CHARGE			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Tournage	A, B, C	Tour 2 axes
	Gorge	D	
Phase 20	Surfaçage	E	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
Phase 30	Surfaçage	F	Fraiseuse 3 axes
Phase 40	Surfaçage	G, H, I	Fraiseuse 3 axes
	Pointage	J, K	
	Perçage		

Annexe K Gamme d'usinage : Poulie de charge

<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: POULIE DE TRACTION</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Dressage	A	Tour 2 axes
	Perçage		
	Gorge	B	
Phase 20	Dressage	C	Tour 2 axes

*Annexe L Gamme d'usinage : Poulie de traction*

<b>GAMME D'USINAGE</b>			
<b>PIECE: SUPPORT DE PALIER FLEXION</b>			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taraudage		
	Lamage		
Phase 20	Surfaçage	B	Fraiseuse 3 axes

*Annexe M Gamme d'usinage : Support de palier flexion*

GAMME D'USINAGE			
PIECE: SUPPORT DE PALIER TRACTION			
			
PHASES	OPERATIONS	SURFACES	MACHINES
Phase 00	Contrôle de réception de la pièce brute		
Phase 10	Surfaçage	A	Fraiseuse 3 axes
	Pointage		
	Perçage		
	Taroudage		
	Lamage		
Phase 20	Surfaçage	B	Fraiseuse 3 axes

*Annexe N Gamme d'usinage : Support de palier traction*



**Annexe 4 → Rendez-vous avec Huynen (Document ci-joint)**

**Annexe 5 → Mises en plan (Document ci-joint)**