

BROUILLET Nicolas
MASSON Julien

TDA

Compte-Rendu de la SAÉ

Projet II



SOMMAIRE

Introduction

page n°3

- Présentation du cadre de travail
- Présentation du sujet de projet choisi

I - Planification des tâches à réaliser

page n°4

- Diagramme Gantt

II - Définition et encadrement du sujet

page n°4

- Choix d'une application adaptée au sujet
- Analyse fonctionnelle
- Rédaction du cahier des charges
- Étude bibliographique

III - Pré-dimensionnement du système

page n°9

- Étude cinématique
- Étude statique

IV - Dimensionnement et prototypage du système

page n°12

- Choix technologiques principaux
- Dimensionnement des éléments mécaniques
- Modélisation CAO 3D sur Catia
- Dimensionnement des éléments technologiques
- Prototypage électronique
- Fabrication et montage du prototype

Conclusion

page n°18

- Diagramme Gantt récapitulatif
- Commentaires sur le projet

Introduction

- Présentation du cadre de travail

La Situation d'Apprentissage et d'Évaluation (SAÉ) de 2ème année de BUT Génie Mécanique et Productive (GMP) a pour objectif principal de nous inciter à ressembler toutes les compétences et tous les savoir-faire acquis au sein de nos deux années de formation, et de les mettre en pratique en réalisant un projet tuteuré.

Ce dernier est mené à bien par un groupe de deux étudiants qui devront réaliser le mécanisme de leur choix. L'intérêt principal de ce projet est notamment d'achever ce mécanisme en le créant de A à Z, en commençant par trouver une problématique d'application dans le monde réel à laquelle pourrait répondre le système choisi, pour ensuite réaliser une étude bibliographique et fonctionnelle, ce qui nous permettrait de concevoir et dimensionner notre mécanisme selon un cahier des charges préalablement établi. Toutes ces étapes étant nécessaires pour finalement produire un prototype fonctionnel et pilotable par une commande électronique.

- Présentation du sujet de projet choisi

Nous étions libres de choisir le mécanisme que nous souhaitions à la condition que ce dernier respecte plusieurs critères.

Le mécanisme étudié doit :

- Contenir au minimum 5 pièces
- Contenir au maximum 20 pièces
- Contenir au moins une liaison pivot
- Assurer une transmission de puissance
- Posséder un système de commande

Nous avons alors choisi de travailler sur une table de basculement, contenant initialement 10 pièces avec plusieurs pivots et une glissière, assurant un mouvement transmis au préalable par une courroie crantée entraînée par un moteur électrique.

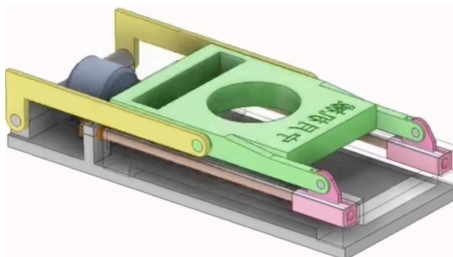


Table "fermée"

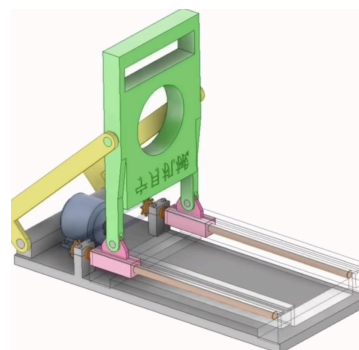


Table "ouverte"

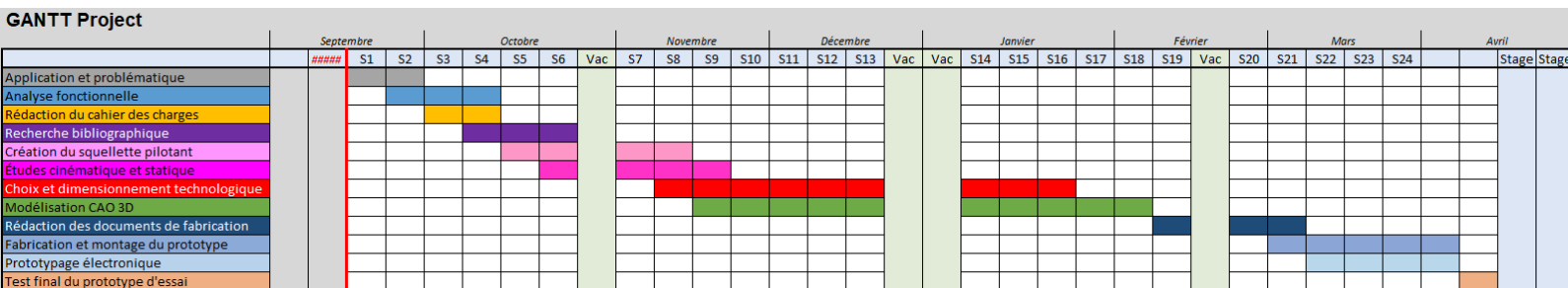
I - Planification des tâches à réaliser

- Diagramme Gantt

Une fois notre système choisi, la première étape était de planifier et d'organiser les différentes tâches à réaliser tout au long du projet, la liste des étapes nécessaires à l'avancement du projet est la suivante :

- Définition d'une application adéquate au projet et énoncé de la problématique
- Analyse fonctionnelle et rédaction du cahier des charges
- Recherche bibliographique et état de l'art
- Création du squelette pilotant
- Études de pré-dimensionnement cinématique et statique
- Choix et dimensionnement des solutions technologiques
- Modélisation CAO 3D du prototype
- Rédaction des documents de fabrication
- Fabrication et montage du prototype
- Prototypage électronique
- Test final du prototype d'essai

Ainsi, afin de réaliser cette planification, nous avons mis au point un diagramme Gantt prévisionnel :



II - Définition et encadrement du sujet

- Choix d'une application adaptée au sujet

En tout premier lieu, après avoir verrouillé le choix de notre mécanisme, nous avons dû décider d'une situation réelle dans laquelle la table de basculement pourrait être la solution d'une problématique liée.

Nous avons donc décidé de faire de cette table de basculement un solution innovante et encore inconnue du marché d'un lit escamotable. Nous avons alors fixé le contexte suivant : Un lit est souvent encombrant, volumineux et lourd. Dans les petits espaces, il peut être nécessaire de réduire son encombrement lorsqu'il n'est pas utilisé. Nous avons alors posé la problématique suivante :

Comment escamoter un lit deux places de manière automatisée d'une position horizontale à une position verticale et inversement ?

- Analyse fonctionnelle

Afin que notre système soit une solution viable et adaptée pour répondre à notre problématique, il est nécessaire de réaliser une analyse fonctionnelle du lit escamotable. Cette dernière nous permettra de déterminer et de fixer différentes fonctions auxquelles le lit devra correspondre.

Ainsi, de prime abord, nous pouvons déjà relever les deux fonctions services principales que le système devra assurer :

FS1 : Le lit mécanique doit permettre à l'utilisateur de se coucher à l'horizontale parfaite en mode ouvert

FS2 : Le lit mécanique doit se ranger à la verticale en prenant le moins de place possible, en mode fermé

Ensuite, notre analyse fonctionnelle doit passer par une étude des milieux extérieurs avec lesquels le mécanisme interagit, ainsi que la liste des intervenants qui agiront sur lit.

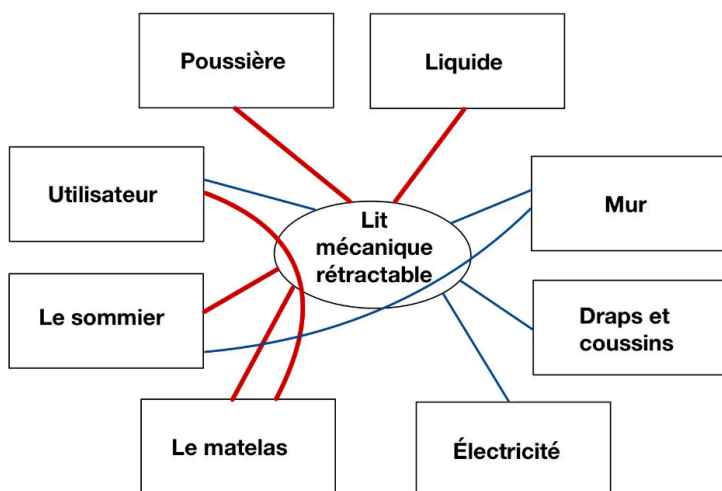


Diagramme des milieux extérieurs

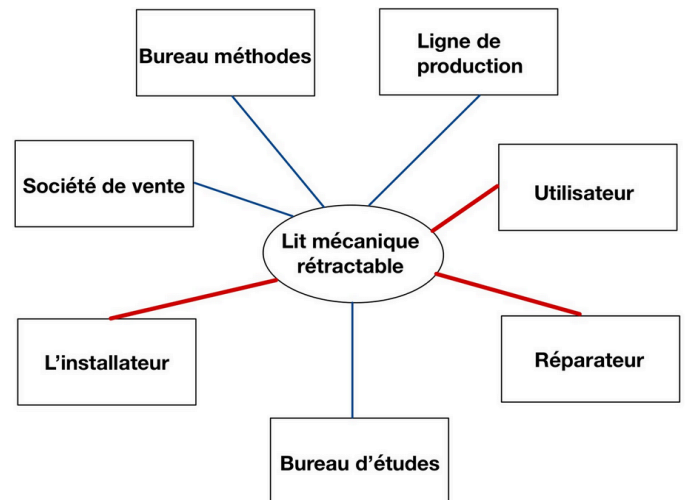


Diagramme des besoins

Grâce à ces deux diagrammes, nous sommes en capacité d'écrire des fonctions contraintes ainsi que des besoins que le système doit satisfaire.

Fonctions contraintes associées aux milieux extérieurs :

L'utilisateur	FC1 : Le lit doit supporter le poids du ou des utilisateurs sans bouger FC2 : Le lit doit pouvoir accueillir 2 personnes de taille assez grande (180 cm) de manière plutôt confortable
Le sommier	FC2 : Le lit doit pouvoir accueillir un sommier, et assurer son immobilité pendant le déplacement
Le matelas	FC3 : Le lit doit pouvoir accueillir un sommier, et assurer son immobilité pendant le déplacement
Électricité	FC4 : Le lit doit protéger ses utilisateurs du courant électrique de son mécanisme
Draps et coussins	FC5 : Le lit doit pouvoir assurer le maintien des draps et des coussins en étant fermé
Le Mur	FC6 : Le lit doit pouvoir se fixer sur le mur d'une chambre.
Étanchéité	FC7 : Le lit doit être imperméable à l'eau et la poussière

Besoins associés aux intervenants

B1	L'utilisateur doit pouvoir ouvrir et fermer le lit le nombre de fois qu'il veut, pour pouvoir y dormir le temps qu'il veut
B2	La ligne de production à besoin d'outils et d'informations spécifiques afin de réaliser un contrôle qualité en cour de production des pièces.
B3	Le bureau des méthodes à besoin de collecter des données relatives aux temps d'opérations, aux flux de travail et aux matériaux utilisés
B4	La société de vente à besoin d'être formée sur l'utilisation et les spécificités du système afin de correctement renseigner les clients.
B5	L'installateur doit pouvoir installer le lit entièrement en moins d'une heure
B6	Le bureau d'étude à besoin d'une vue d'ensemble des modifications apportées par les autres intervenants pour ajuster le système en conséquence
B7	Le réparateur doit pouvoir remplacer ou réparer n'importe quelle pièce du lit en moins de 30 min

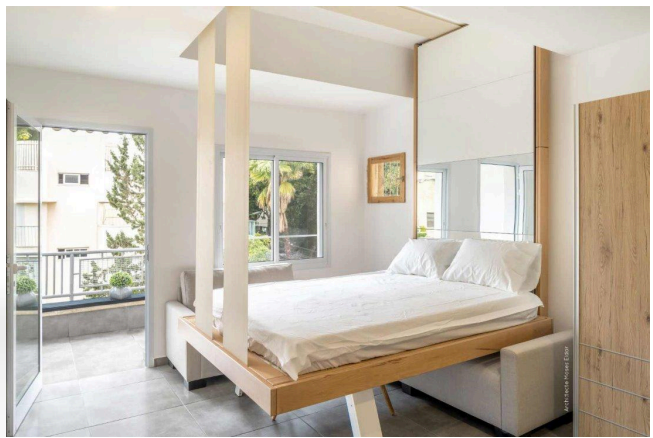
- Étude bibliographique

Suite à cette analyse fonctionnelle, nous nous sommes intéressés à l'état de l'art du marché du lit escamotable et avons réalisé une étude bibliographique. Cette veille informationnelle a pour objectif de recenser les différentes solutions technologiques existantes de lit escamotable, afin de préciser notre solution technologique.

De toute cette étude, nous avons retenu deux produits avec deux technologies différentes :



Lit escamotable horizontal JUIST



Lit escamotable bedUp®

Pour le premier lit, la conception et le montage sont très simples, le lit pivote sur sa largeur, et doit être remonté à la main. C'est un système très répandu sur le marché.

Pour le second, le lit se range verticalement, est plus complexe en conception mais aussi en installation, et est automatisé. Ce système est plus cher que la plupart sur le marché.

Après cette étude, nous pouvons trier ces caractéristiques afin de mettre en place un cadre qui pourra définir le fonctionnement et les performances souhaitées.

- Rédaction du cahier des charges

Nous pouvons finalement rédiger un cahier des charges qui permet d'encadrer le projet et de nous donner des objectifs plutôt précis à atteindre.

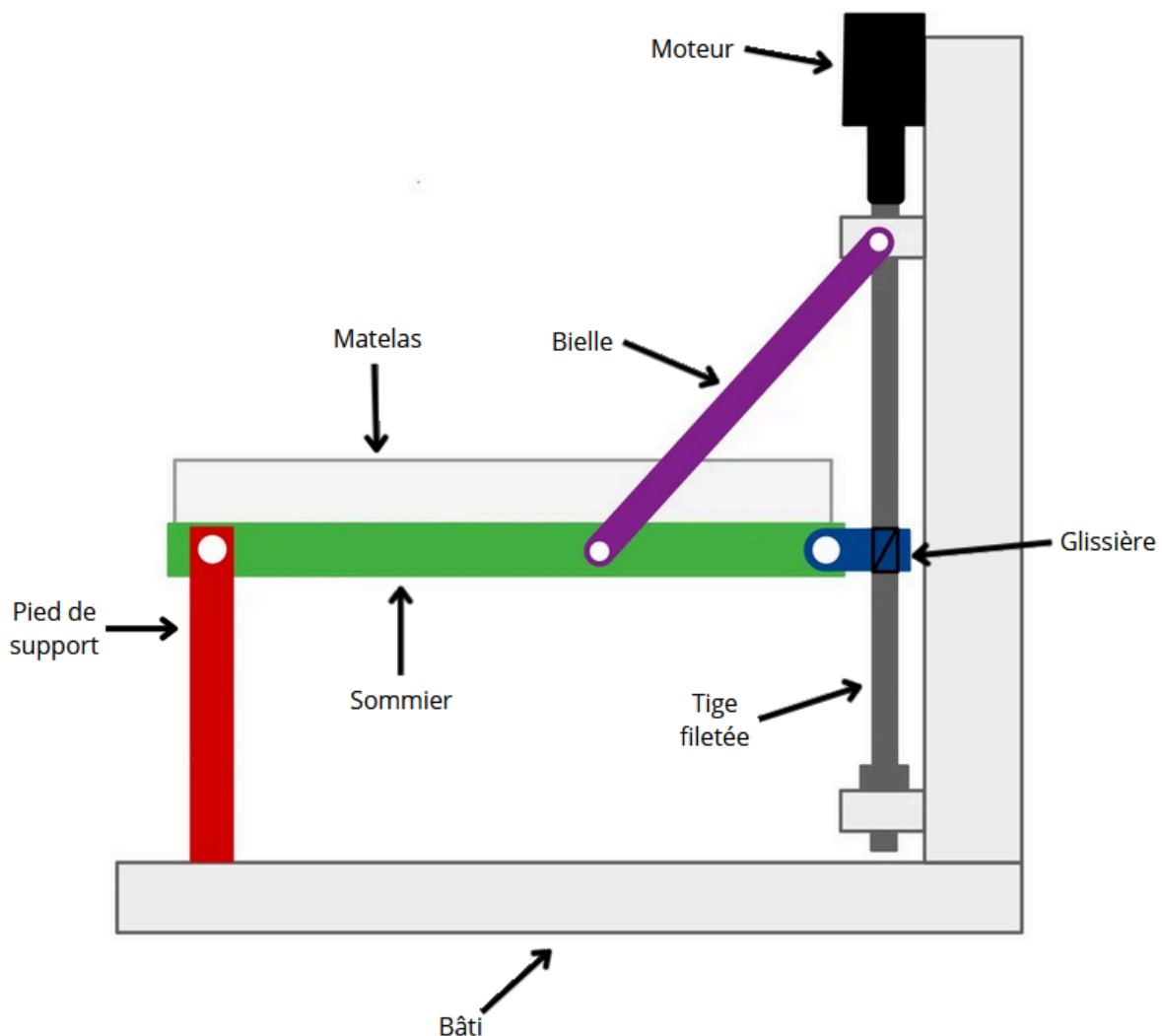
Fonction	Valeur	Critère	Niveau	Flexibilité	Contrôle
Se coucher à l'horizontale	Exacte	Angle de plateau du lit	$0^\circ < \text{angle} < 2^\circ$	0	Mesure des éléments en mode ouvert puis calcul de l'angle
Se ranger à la verticale	Exacte	Angle du plateau du lit	$89^\circ < \text{angle} < 91^\circ$	0	Mesure des éléments en mode ouvert puis calcul de l'angle
Pouvoir accueillir un matelas standard	Exacte	Dimension du sommier	200 cm x 140 cm	0	Mètre
Porter le/les utilisateurs	Maximale	Effort max adm sur plateau	$F < 4\text{kN}$	0	Dynamomètre
Être accessible	Exacte	Hauteur du plateau par rapport au sol	$h < 1100 \text{ mm}$	1	Mesure métrique
Avoir une bonne réparabilité	Maximale	Indice de réparabilité	Indice > 8	2	Démontage et analyse du système
Être étanche	Maximale	Indice d'étanchéité	IP64 mini	0	Démontage et analyse du système
Être dynamique	Maximale	Temps d'ouverture et de fermeture	$< 45 \text{ secondes}$	1	Chronométrage
Protéger l'utilisateur	Minimale	Temps de réaction d'arrêt à la détection d'un obstacle	$< 0,5 \text{ secondes}$	0	Chronométrage

III - Pré-dimensionnement du système

Afin que le projet soit plus aisément réalisable dans le volume horaire imposé et les pièces à disponibilité, nous avons décidé que nous réaliserons notre prototype à l'échelle 1:5.

- Solution initiale retenue

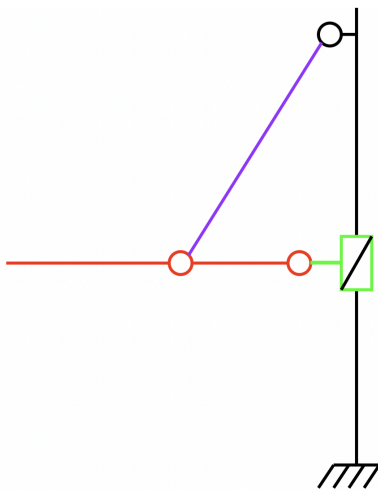
Après avoir correctement défini et encadré le sujet de notre projet, nous pouvons d'ores et déjà proposer une première esquisse de solution :



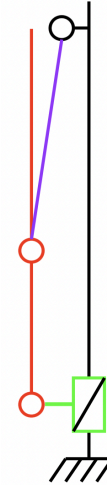
Notre première conception fonctionne donc ainsi : Le moteur entraîne la tige filetée en rotation, cette dernière fait translater un écrou (la glissière dans ce cas) rattaché au lit. La bielle placée entre le sommier et le bâti permet de transformer ce mouvement en un basculement du lit. Enfin, nous avons rajouté un support au bout du lit afin d'assurer un plus grand poids total applicable sur le lit.

- Étude cinématique

Le début de notre étude de pré-dimensionnement cinématique nécessite l'élaboration d'un schéma cinématique:



Lit "fermé"



Lit "ouvert"

Ainsi, nous pouvons maintenant établir une loi d'entrée-sortie de notre lit afin de pouvoir connaître les points critique de la course de notre glissière en fonction de la position souhaitée :

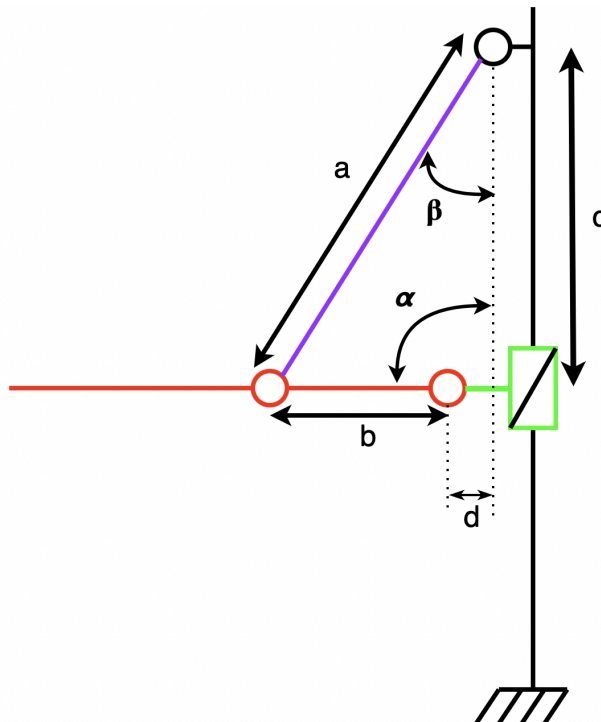


Schéma cinématique paramétré

$$b \cdot \sin(\alpha) - a \cdot \sin(\beta) + d = 0$$

$$c - a \cdot \cos(\beta) - b \cdot \cos(\alpha) = 0$$

$$\Leftrightarrow \sin(\beta) = \frac{d+b \cdot \sin(\alpha)}{a}$$

$$\cos(\beta) = \frac{c-b \cdot \cos(\alpha)}{a}$$

$$\Leftrightarrow \sin^2(\beta) + \cos^2(\beta) = \frac{(d+b \cdot \sin(\alpha))^2 + (c-b \cdot \cos(\alpha))^2}{a^2} = 1$$

$$\Leftrightarrow c^2 - (2 \cdot b \cdot \cos(\alpha)) \cdot c + d^2 + 2 \cdot d \cdot b \cdot \sin(\alpha) + b^2 - a^2$$

Nous prenons : a = 320 mm

b = 94 mm

d = 89,5 mm

c = course de la glissière

Nous avons alors une équation qui lie la course de la glissière à l'angle du sommier :

$$c^2 - 188 \cdot \cos(\alpha) \cdot c + 85553,5 + 16826 \cdot \sin(\alpha) = 0$$

Nous calculons la valeur de c pour $\alpha = 0^\circ$ et pour $\alpha = 90^\circ$

$\alpha = 0^\circ$:

$$c^2 - 188 \cdot c - 85553,5$$

$$\Rightarrow c = 401,23 \text{ mm}$$

$\alpha = 90^\circ$:

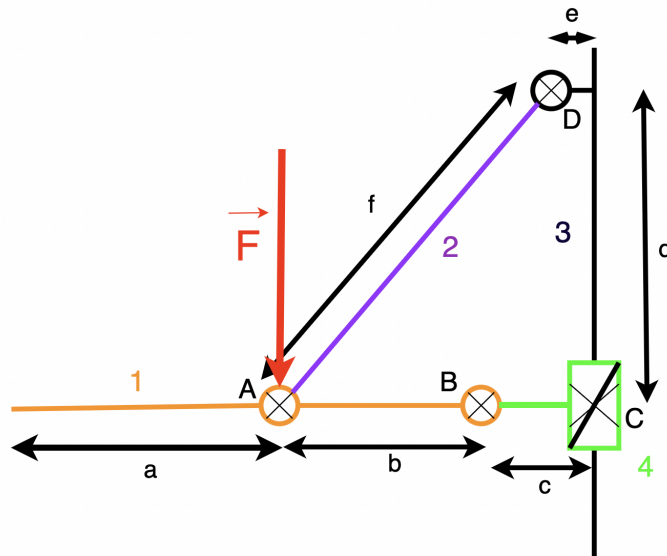
$$c^2 + (-85553,75 + 16826) = 0$$

$$\Leftrightarrow c = 262,16 \text{ mm}$$

Nous pouvons alors calculer la course totale de la glissière :

$$\text{Course} = 401,23 - 262,16 = 139,07 \text{ mm}$$

- Étude statique (PFS):



Pour simplifier les calculs, nous simulons le poids du corps sur le lit par une force F de 800N appliquée au point A.

Nous cherchons à déterminer les forces qui s'appliquent sur les bielles et sur les pivots pour pouvoir les dimensionner.

Après une analyse statique, nous trouvons les valeurs suivantes:

- Force appliquée sur les bielles (2) en traction = 1176 N
- Force appliquée sur les glissières (4) en traction = 862 N

IV - Dimensionnement et prototypage du système

- Choix technologiques principaux

Paliers de tige filetée :

La tige filetée doit être guidée dans son mouvement de rotation. Nous avons d'abord pensé à mettre des roulements à billes, mais cette solution, bien qu'efficace, aurait été disproportionnée.

Nous avons finalement choisi de guider la tige filetée avec des paliers lisses en POM. Cette solution est d'une part moins coûteuse, mais elle permet aussi d'avoir une pièce directement adaptée au système, sans devoir trouver une solution pour monter le roulement à billes sur la tige filetée.



De plus, le POM a un très bon coefficient de friction et est très facilement usinable, cependant, afin d'assurer le meilleur guidage en rotation pour notre tige, nous avons conçu deux paires de paliers mâles (qui vont accueillir la tige filetée) et deux paires de paliers femelles (qui vont guider en rotation les mâles) qui s'assemble en H7g6.

Cadre de la glissière :



L'une des difficultés majeures de ce projet est le parallélisme des deux axes qui guident la glissière et de la tige filetée. Il doit être très bon pour que la glissière puisse fonctionner correctement.

Nous avons alors pensé à faire un cadre réglable avec des profilés. Pour pouvoir régler le parallélisme des axes et de la tige filetée, nous avons percé les trous des vis fixant les profilés entre eux un peu plus grands que les vis. Cela nous a permis de monter tout le système et de serrer les vis petit à petit en faisant glisser la glissière pour être sûrs qu'elle ne se bloque pas.

Supports d'axes de glissière :

Comme expliqué précédemment, les deux axes doivent être le plus parallèles possibles, cependant cette contrainte implique un montage trop complexe sur le système. Nous avons donc conçu des supports en POM qui accueilleront les axes en montage serré, mais ces supports seront bien plus permissifs quant à leur positionnement avec le reste du système.



- Dimensionnement des éléments mécaniques

Pour la suite des calculs de dimensionnement, nous fixons une valeur du Re de l'acier à 175 MPa (valeur très faible pour un acier) et un coefficient de sécurité $k_s = 2$.

Bielles :

Les bielles sont sollicitées en traction :

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_{max}}{k_s} = \frac{Re}{k_s} = \frac{175}{2} = 87,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{S_{mini}} \Leftrightarrow S_{mini} = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{1176}{87,5} = 13,44 \text{ mm}^2$$

Nous avons finalement choisi une bielle de 5mm d'épaisseur et de 23 mm d'épaisseur, pour une section $S = 115mm^2$

Axes :

Les axes sont sollicités en cisaillement :

$$\tau_{max} = \frac{T_y}{S} \times \frac{4}{3} \quad \text{avec } T_y = 1176N, \text{ la force maximale appliquée sur les axes.}$$

$$\tau_{adm} = \frac{R_{pc}}{k_s} = \frac{0,8Re}{2}$$

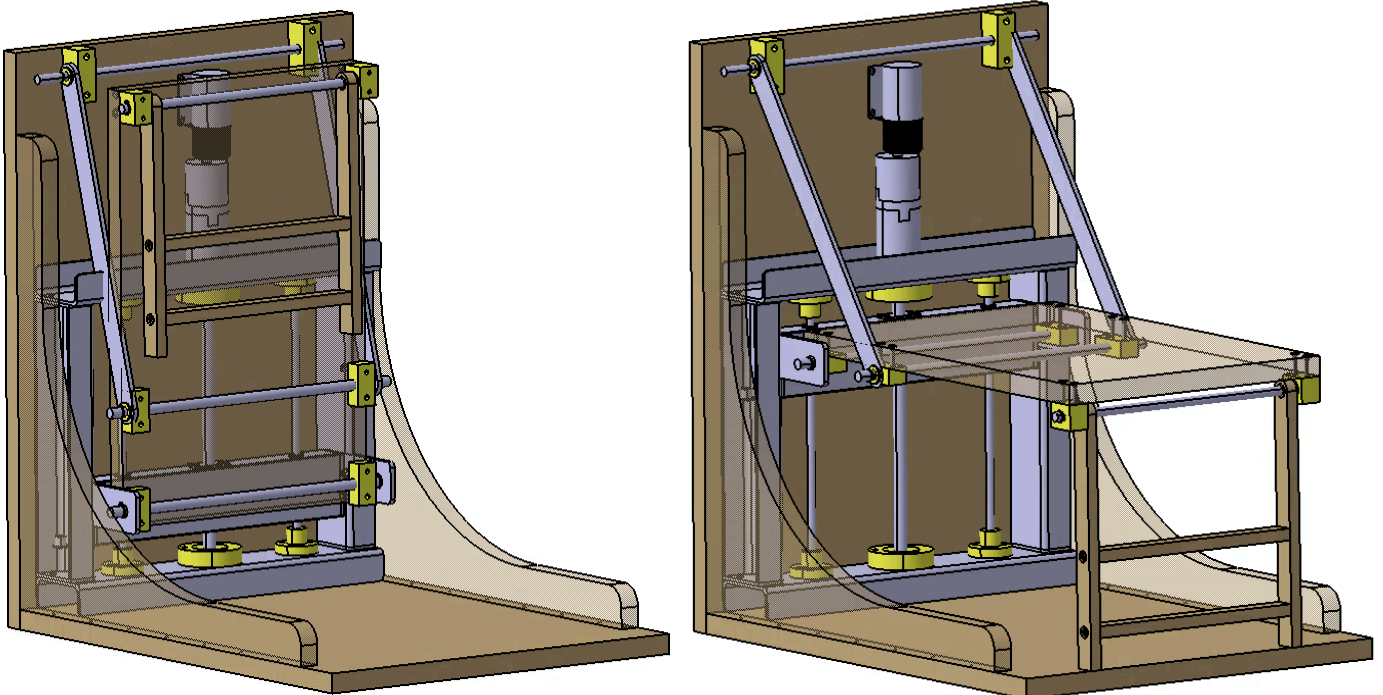
$$\Rightarrow \frac{1176}{\pi.r^2} \times \frac{4}{3} \leq \frac{0,8Re}{2}$$

$$\Leftrightarrow d \geq \sqrt{\frac{2 \times 1176 \times 4^2}{\pi \times 3 \times 0,8 \times 175}}$$

$$\Leftrightarrow d \geq 5,34mm$$

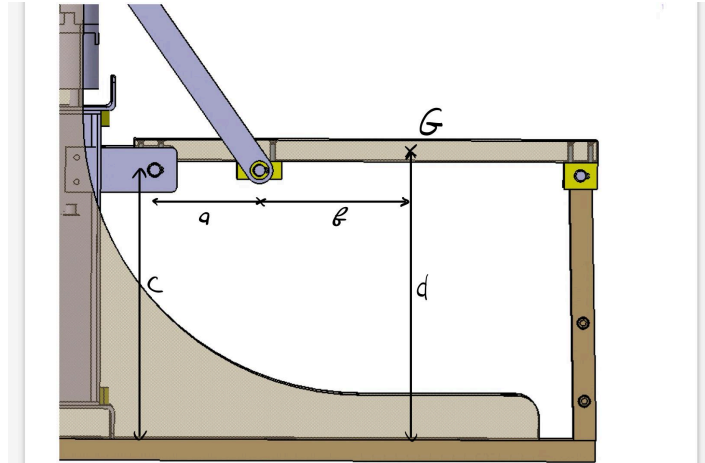
Nous prenons alors un diamètre d'axe de 8mm.

- Modélisation CAO 3D sur Catia



- Dimensionnement des éléments technologiques

Pour dimensionner la tige filetée, nous devons déterminer quelle force elle allait devoir transmettre. Pour cela, nous avons exploité le calcul de la conservation d'énergie.



Nous avons relevé pour différentes positions de la glissière la position du centre de gravité du sommier et nous avons calculé la force nécessaire à la mise en mouvement du système pour chacune de ces positions grâce à la formule suivante:

$$\text{Force de levage} = m \times g \times \left(\frac{d(d)}{dt} / \frac{d(a)}{dt} \right)$$

Nous trouvons finalement une force maximale de 14,81N.

Tige filetée

Dans notre cas, la tige filetée sera principalement sollicitée en compression et en flambement. Nous avons dû prendre en compte cette information afin de réaliser un dimensionnement adapté. De plus, nous allons également prendre en compte le coefficient de frottement de la vis (15%) qui viendra s'ajouter à l'effort dynamique appliqué sur le système.

Dimensionnement en compression :

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_{max}}{ks} = \frac{Re}{ks} = \frac{175}{2} = 87,5 \text{ MPa} \quad \text{et,}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{S_{mini}} \Leftrightarrow S_{mini} = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{(14,81(1+0,15))}{87,5} = 0,195 \text{ mm}^2$$

$$S_{mini} = \frac{\pi}{4} \times d_{mini}^2 \Leftrightarrow d_{mini} = \sqrt{\frac{4 \times S_{mini}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,195}{\pi}} = 0,498 \text{ mm}$$

Dimensionnement en flambement :

Afin de dimensionner notre tige filetée en flambement, nous pouvons partir de la formule d'Euler :

$$F_{\text{critique}} = F = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

avec le module d'Young E, le moment d'inertie $I = \frac{\pi d^4}{64}$, la longueur de la tige L (=400 pour limiter les risques) et le coefficient de longueur effective (=1 pour une tige en liaison pivot).

$$\text{On peut donc écrire, } I = \frac{F (KL)^2}{\pi^2 E} \Leftrightarrow \frac{\pi d^4}{64} = \frac{F (KL)^2}{\pi^2 E} \Leftrightarrow d = \sqrt[4]{\frac{64 \times F (KL)^2}{\pi^3 E}}$$

$$\text{Ainsi, } d = \sqrt[4]{\frac{64 \times 14,81(1+0,15)(1 \times 400)^2}{\pi^3 210 \cdot 10^3}} = 2,275 \text{ mm}$$

Nous faisons le choix d'utiliser une tige filetée en M12 par souci de praticité avec les pièces dont nous disposons déjà.

Moteur électrique

Concernant le dimensionnement du moteur électrique, nous avons dû le sélectionner selon deux critères précis, sa vitesse de rotation et son couple.

Pour la première caractéristique, nous avons récupéré une des contraintes du cahier des charges, à savoir la vitesse maximale d'ouverture et de fermeture du lit, fixée à 45 secondes.

Avec ce temps d'ouverture ainsi que la course totale de la glissière qui est de 129 mm, il nous est possible de calculer la vitesse linéaire minimale requise pour respecter le temps souhaité.

$$v_{\text{glissière}} = \frac{\text{course glissière}}{\text{temps souhaité}} = \frac{129,07}{45} = 2,87 \text{ mm/s}$$

Ainsi, en connaissant les caractéristiques de la tige filetée M12 (pas de 1,75 mm) il nous est possible de savoir la vitesse de rotation que doit fournir le moteur.

$$N_{\text{moteur}} = \left(\frac{v_{\text{glissière}}}{\text{pas tige filetée}} \right) \times 60 = \frac{2,87}{1,75} \times 60 = 98,4 \text{ tours/min}$$

Pour le couple, nous savons que $P = v_{\text{glissière}} \times F = \omega_{\text{moteur}} \times C$

Ainsi,

$$C = \frac{v_{\text{glissière}} \cdot 10^{-3} \times F}{\omega_{\text{moteur}}} = \frac{2,87 \cdot 10^{-3} \times 14,81(1+0,15)}{\left(\frac{2\pi \times 98,4}{60} \right)} = 0,0047 \text{ N.m} = 4,74 \text{ N.mm}$$

Nous prendrons alors un moteur qui tourne à au moins 98,4 tours/min avec un couple de 4,74 N.mm minimum.

- Prototypage électronique

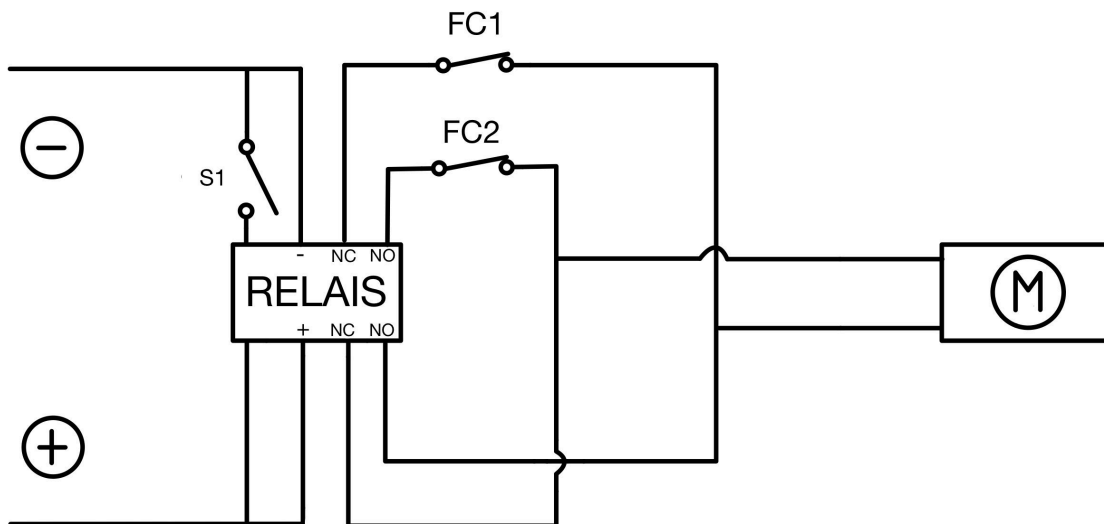
Le prototypage électronique de notre système devra respecter le fonctionnement suivant :

Il faut un interrupteur principal afin de mettre le prototype hors / sous tension. La position (ouvert / fermé) du lit sera commandée par un levier à deux positions. Lorsque le levier est vers le haut, le lit bascule en position fermée, lorsque le levier est en bas, le lit passe en position ouverte.

Pour cela, nous avons utilisé :

- Un interrupteur on/off
- Le moteur électrique
- Un relais DPDT
- Un sélecteur à deux positions
- Deux capteurs fin de course

Le schéma électrique final est celui-ci :



- Fabrication et montage du prototype

Après avoir réalisé toutes ces étapes, nous sommes désormais en mesure d'assurer la fabrication et le montage du système.

Le bâti a été réalisé en bois par sciage à la scie sauteuse, de même pour les deux équerres sur les côtés.

Le cadre en acier et la glissière ont été obtenus par cisailage et pliage de tôles d'acier et nous les avons ensuite percées.

Les supports d'axes ainsi que les paliers en POM ont été réalisés en tournage conventionnel.

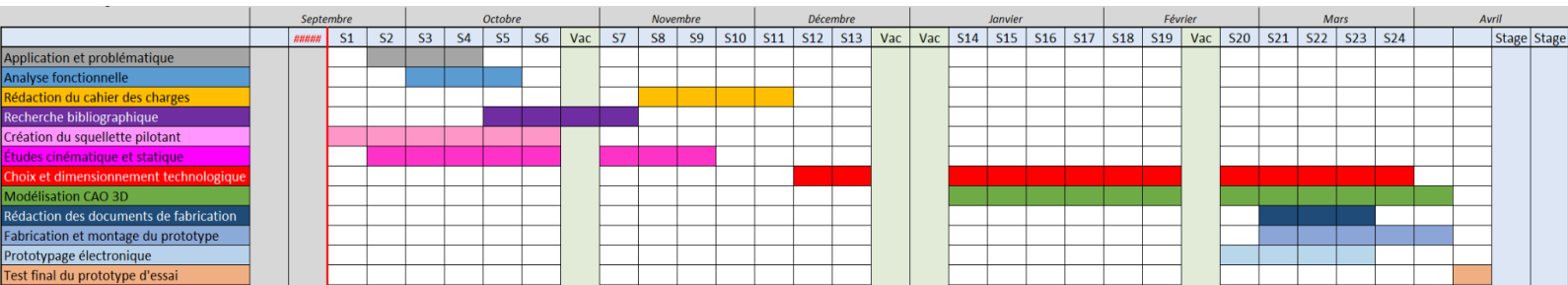
Les supports d'axes de pivots ont été obtenus par impression 3D.

Le montage quant à lui a pu être réalisé à l'aide de boulons essentiellement, aussi, nous avons pu constater durant le montage que les trous plus gros que les vis ont été très utiles pour faciliter l'assemblage.

Conclusion

- Diagramme Gantt récapitulatif

Une fois le projet terminé, nous avons pu établir le diagramme Gantt réel, qui récapitule toutes nos actions de manière chronologique :



Nous pouvons clairement constater que le diagramme est tout à fait différent de celui que nous avions prévu. En effet, nous avons passé beaucoup plus de temps que prévu sur le pré-dimensionnement du système, de plus, la rédaction du cahier des charges est arrivée bien plus tard que prévu, retardant alors le début de la réflexion sur les choix technologiques. Justement, ces derniers ont également pris plus de temps que prévu en raison d'un important nombre de changement et d'imprévu, en effet, certaines contraintes (notamment budgétaire et au niveau des ressources disponibles) nous ont amenés à repenser notre système, et ce, à de maintes reprises.

- Commentaires sur le projet

Pour conclure, ce projet nous a réellement amené sur une réalisation complète d'un système, en passant par l'avant projet (analyse fonctionnelle, cahier des charges), le pré-dimensionnement et le dimensionnement des solutions technologiques, et enfin la réalisation du prototype (mécanique et électronique).

Nous avons appris de nouvelles manières d'appréhender les problèmes mécaniques, ou même plus généralement, à mobiliser toutes les compétences que nous avons acquises tout au long de notre formation sur un plan très concret et sur le long terme.

Nous savons enfin sur quels aspects de notre travail nous devons travailler davantage, notamment l'organisation, la hiérarchisation et la priorisation des tâches à effectuer au cours du projet.



Prototype "ouvert"



Prototype "fermé"