

Mesure de la force de succion chez l'éléphant

Le principe de ce projet est d'estimer la force de succion produite par l'éléphant pour soulever/saisir des objets.

- Pré Etude
 - 1. Recherches bibliographiques
 - 2. Présentation du prototype imaginé
- Construction
 - 1. Choix des matériaux
 - 2. Modélisation réaliste de la boîte
 - 3. FabLab
 - 4. Impressions 3D

Pré Etude

Détermination du cahier des charges, des objectifs et des contraintes

1. Recherches bibliographiques

Au début il m'a fallu acquérir beaucoup de savoir sur la morphologie de la trompe, son anatomie, mais aussi sur les recherches ayant déjà été effectuées.

Ainsi j'ai passé en revue des articles sur les capacités de la trompe de l'éléphant comme "Elephant trunks form joints to squeeze together small objects" de Jianing Wu, publié dans The Royal Society. cet article évalue la masse de la trompe à ~150kg grâce à une évaluation du volume de cette dernière.

Aussi, "The sensorinoral specialisations of the trunk tip of the Asian Elephant" est une étude ayant réussi à démontrer que les canaux nasaux de l'éléphant se dilataient pendant la succion. Ce qui permettaient d'augmenter le volume de fluide aspiré en une succion. D'après A.Schulz et Al, les poumons de l'éléphant peuvent exercer une pression aspirante de 20kPa (estimé grâce à une expérience d'aspiration d'un volume d'eau). La surface totale des deux narines de l'éléphant serait comprise entre 7,6cm² et 25cm² en fonction de la dilatation de ses tuyaux nasaux. A mon avis, la pression calculée n'est pas celle des poumons mais celle des muscles buccaux.

Ce qui nous pousse à estimer une force de succion comprise entre 15,2N (1,55Kg) et 50N (5,1Kg). Ce qui semble réaliste car nous avons déjà observé les éléphants porter des pastèques en bout de trompe uniquement par succion. Or le poids d'une pastèque est compris entre 12N et 50N (plus encore pour certaines variétés de pastèques)

Pour vérifier cette hypothèse et avoir plus de précision sur ces résultats, plusieurs systèmes expérimentaux ont été réfléchis. Tout l'enjeu étant de mener à bien l'expérience tout en stimulant l'éléphant pour lui donner envie de participer avec une récompense à la clé, et en assurant une expérience sans risque ni pour le soigneur, ni pour l'éléphant.

2. Présentation du prototype imaginé

Afin de mener à bien notre recherche, plusieurs idées d'expériences ont été abordées. Au fur et à mesure des lectures d'articles de recherche, nos idées d'expériences se sont dessinées plus clairement jusqu'à tendre vers la version retenue.

Principe de l'expérience

Le principe est simple et se repose sur une étude des forces basique et de la première et deuxième loi de Newton : $SOMME(Forces) = m.a$

Tel que :

$$\text{Somme des forces} = -P+T$$

T, la force d'aspiration de l'éléphant et $P=m.g$, avec $g=9,81N$)

$$T = m . a + P$$

$$T = m . (a +g)$$

Nous considérerons que la vitesse de la trompe est constante et donc que l'accélération est nulle.
Ainsi :

$$T = m . g = -P$$

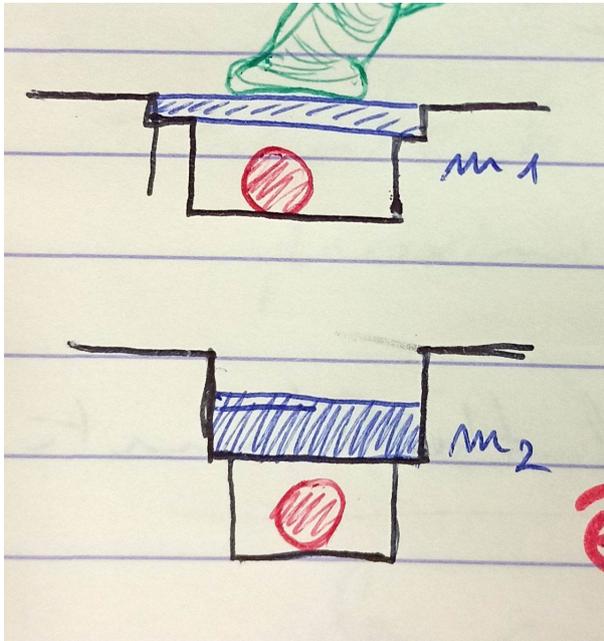
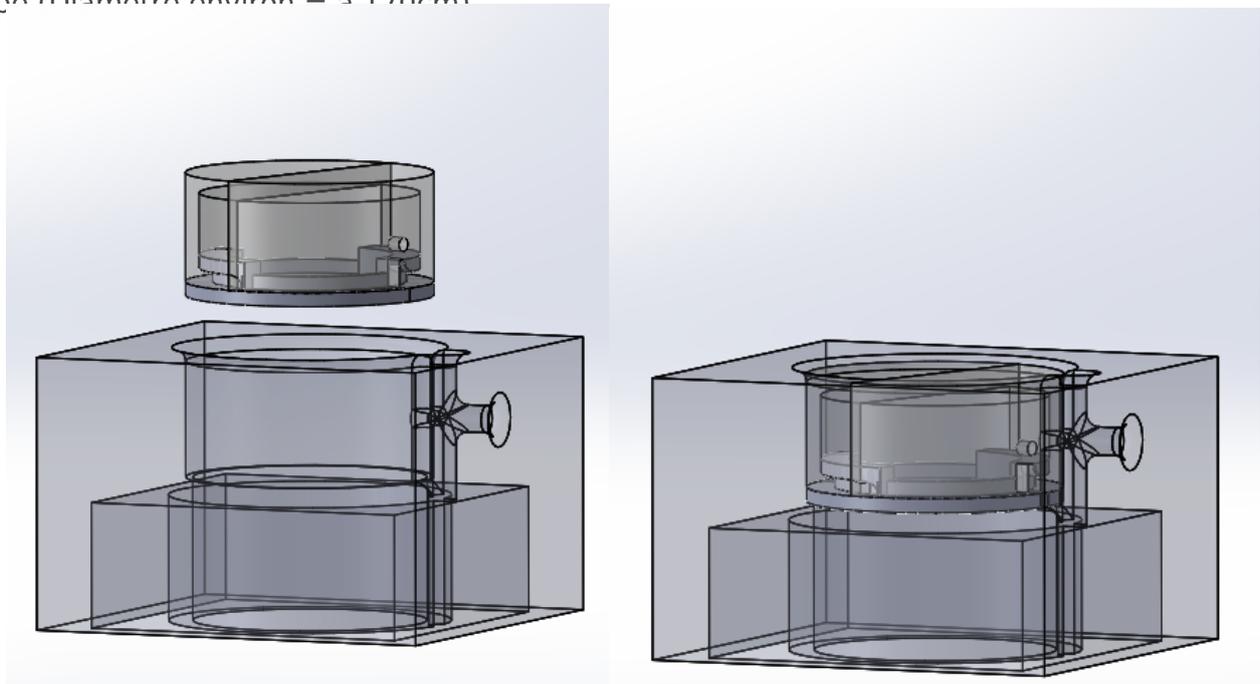


Schéma de l'idée à la base de l'expérience.

Afin de modéliser mon idée et la présenter aux autres personnes de mon équipe, j'ai créé une "maquette" en assemblage sur SolidWorks. Cette maquette comprend 2 éléments. Un coffre et un boitier. Les dimensions sont arbitraires et basées sur la taille de la trompe de l'éléphant en bout de trompe (Diametre environ = à 170cm)



Maquette SolidWorks

Cette maquette était purement faite pour une démonstration et présentait encore beaucoup de zone de flou tant pour le coffre que pour le boîtier cylindrique. Le mécanisme de fermeture du boîtier était également une ébauche qui n'a finalement pas été retenu.

Construction

1. Choix des matériaux

Choix des matériaux

Tous les matériaux ont été choisis de façon à ne représenter aucun danger pour l'éléphant. Cela implique, que les matériaux ne doivent pas être coupants ou perçants. Ils ne doivent pas contenir de produit chimique dangereux pour la santé des éléphants. Une des contraintes de ces matériaux est leur solidité et leur capacité à résister à des chocs non-prévus dans le cadre de l'expérience. Ainsi le risque de petites pièces ingérables par l'éléphant est fortement diminué.

Coffre

J'ai choisi de construire la boîte en bois contreplaqué de peuplier pour plusieurs raisons. Le contreplaqué est un matériau facile à travailler, et à découper. C'est aussi un matériau solide léger et peu chère, ce qui en faisait un candidat de taille pour composer la boîte. Les plaques de contreplaquées ont été achetées dans une grande enseigne de bricolage.

Boitier

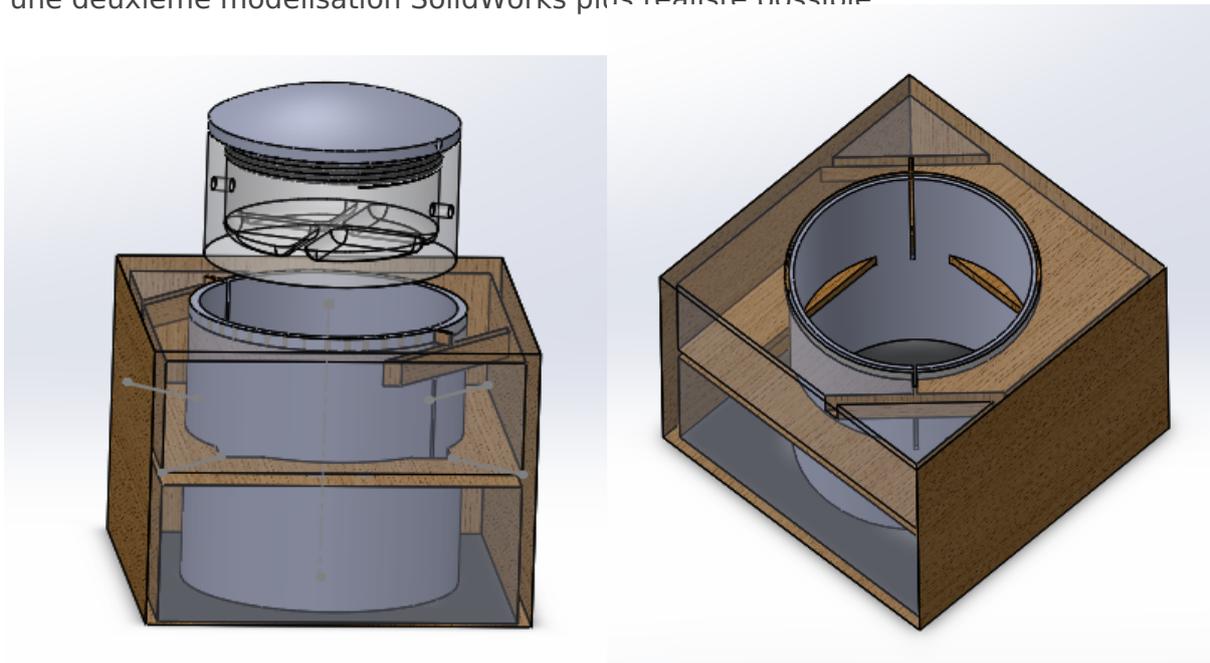
Le boîtier lestable, constitué de deux pièces : le corps et le bouchon, quant à lui a été construit en impression 3D après une modélisation sur SolidWorks. Son diamètre extérieur était limité par le diamètre intérieur du tube en PVC dans lequel le boîtier viendrait s'insérer. Le choix de l'imprimante 3D s'est justifié car le boîtier est une construction unique dimensionnée pour les besoins de l'expérience. Aussi d'après Solidworks Motion, le plastique utilisé pour l'impression (PLA) résisterait aux forces appliquées et contraintes imposées. Les pièces sont en cours d'impression au Fablab de Sorbonne université, se situant dans les locaux de Polytech Sorbonne.

Tuyau conducteur de mouvement

Le tuyau conducteur est fait en tuyau PVC de récupération. Sa taille, Diamètre 200mm a été déterminée grâce à l'estimation de la taille du corps lestable. Le PVC est un **matériau** facile à découper et à percer. Le diamètre de 200mm n'est pas très commun en plomberie. Cependant, certains bâtiments s'en servent pour le réseau d'assainissement. Le tuyau utilisé a été trouvé dans les chutes du département de maintenance technique du Muséum.

2. Modélisation réaliste de la boîte

Une fois que les matériaux qui seront utilisés sont précisés, et que les dimensions sont connues, j'ai fait une deuxième modélisation SolidWorks plus réaliste possible



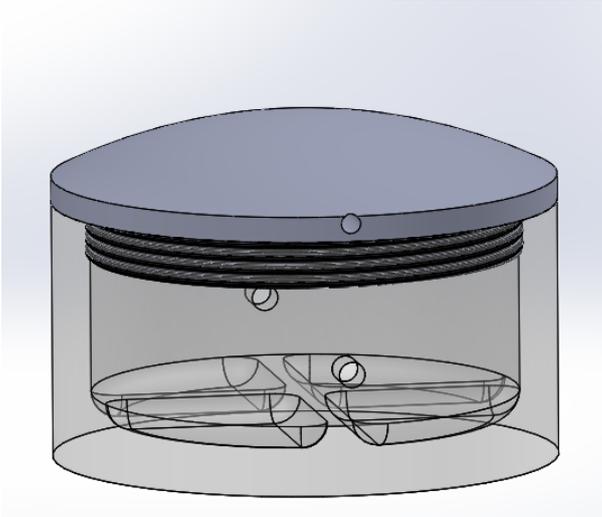
2-ème version de la modélisation

Sur cette modélisation le prototype se compose de trois modules : Un coffre, Un tuyau et Un boîtier creux pour mettre du lest.

Le boîtier se compose d'un bouchon venant se visser sur le corps du boîtier. Le bouchon possède une surface légèrement incurvée afin de faciliter le contact entre la trompe de l'éléphant et le bouchon. Le rayon de courbure a été choisi de telle façon qu'il ressemble à celui d'une pastèque.

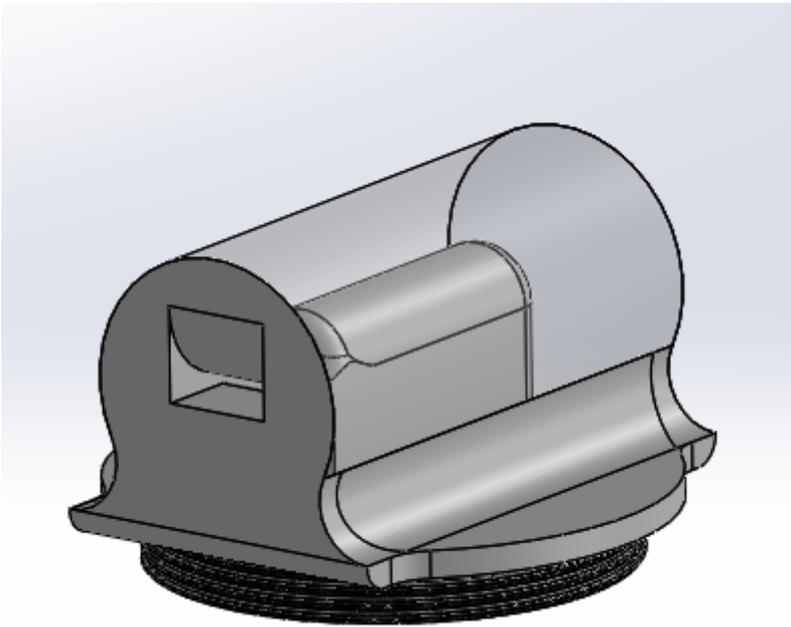
Le corps du boîtier a un volume intérieur libre de : xxx permettant d'y placer des sachets de grenaille de plombs afin d'alourdir progressivement le système. Le corps du boîtier ainsi que son bouchon contiennent des perçages qui serviront à attacher le boîtier au reste du système avec une

corde en nylon pouvant résister à une force de traction trois fois supérieure à la force à exercer prévue.



L'intérêt du bouchon vis du boîtier est multiple. Il permet d'avoir un accès facile à son intérieur par simple rotation du bouchon. Or cette rotation est particulièrement aisée pour l'humain mais en théorie impossible pour l'éléphant. Cela permet de changer le lest rapidement. De plus, depuis le logiciel de CAO il sera possible de changer la forme du bouchon pour des expériences futures. En effet, pour notre expérience nous évaluons la force de succion de l'éléphant, mais il est également envisageable d'évaluer la force de pincement avec des prises diverses et variées. Il est également envisagé de créer un bouchon pouvant accueillir des capteurs de pression afin de créer un mapping de la force appliquée.

Le xx/xx J'ai eu l'occasion de contacter les entreprises Tekscan et PPS afin d'obtenir une estimation du prix des capteurs disponibles sur leur site internet. Les entreprises étant respectivement Américaine et Anglaise, les échanges par mail se sont fait en Anglais. Cependant, la technologie proposée étant une technologie de pointe et que les deux entreprises n'ont que très peu de concurrents sur le marché, le prix des capteurs est très élevé (Plusieurs dizaine de milliers d'euros). L'achat de ces derniers ne pourra se faire sur mon temps de stage. Cependant si les capteurs peuvent avoir une utilisation dans d'autres études que celle sur la force de la trompe de l'éléphant, il est alors envisageable de faire une demande de subvention auprès de différentes bourses destinées au matériel scientifique.



Bouchon destiné à accueillir un capteur "nappe" sur sa surface courbe. Le bouchon à été dimensionné par rapport à la taille du bout de la trompe de l'éléphant.

Pour le tuyau en PVC, on peut apercevoir 4 entailles qui serviront à fixer et contraindre le tuyau sur des renforts de la boîte. Ces renforts auront une triple fonction : leur première fonction sera de consolider le coffre, qui sera exposé en premier face à la trompe de l'éléphant, et qui pourra donc subir des efforts "parasites" non prévus.

La deuxième fonction sera donc de venir faire s'encastrent le tuyau en PVC au ce très du coffre sans utiliser ni de vis du de colle afin de minimiser les risques pour l'éléphant. En troisième fonction, ces renforts permettront de servir comme un appuie pour le boîtier et serviront donc de séparation entre "l'espace boîtier" et l'espace "récompense". Cette installation demande à ce que les composants soient dimensionnés avec rigueur afin de ne pas avoir de problème d'encastrement ou de sur-contraintes.

3. FabLab

Réalisation au fablab de Polytech Sorbonne

Polytech Sorbonne, situé sur le campus de Jussieu possède en ses locaux un Fablab particulièrement récent. Ce dernier est équipé d'imprimantes 3D, et d'une salle de découpe du bois. Étant un étudiant stagiaire effectuant un stage au sein d'une composante de Sorbonne Université, je suis autorisé à utiliser le Fablab pour la réalisation du projet. De par la proximité géographique du Muséum et du fablab, le montage du module d'expérience se fera donc au Fablab de Sorbonne SU.

Après avoir découpé les différentes pièces sur la planche brut de contreplaqué, les pièces ont été assemblées à l'aide d'une scie sauteuse à main.



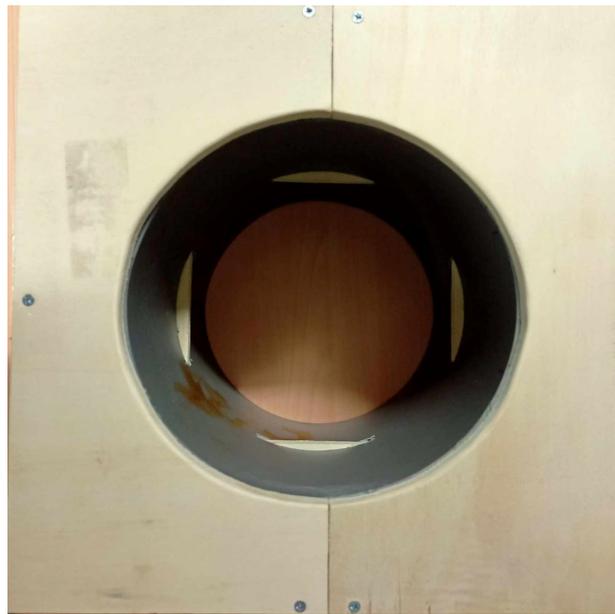
Photo en position boîte après la découpe des pièces

Les rebords ont ensuite été ponçés et ajustés. Les cotés de la boîte ont été vissés entre eux afin d'assurer la solidité. La solution des vis a été retenue devant la possibilité de cloutage car les vis ne déformaient pas ni ne cassaient les morceaux en contreplaqué. La solution de la colle à bois a quant à elle été écartée due à sa plus faible résistance.

Ensuite il a fallu percer le tuyau en PVC en quatre endroits afin de l'encastrer dans la boîte. Cette façon de fixer le PVC n'a nécessité ni clou ni vis. De plus le tuyau, étant parfaitement contraint participe également à la solidité de l'ensemble.



Vue du dessous



Vue du dessus

En parallèle les pièces devant être imprimées en 3D ont été transmises en format STL à la direction du FabLab de façon à avoir un devis détaillé des coûts.

4. Impressions 3D

Il a ensuite fallu imprimer le boîtier qui viendrait accueillir les poids.

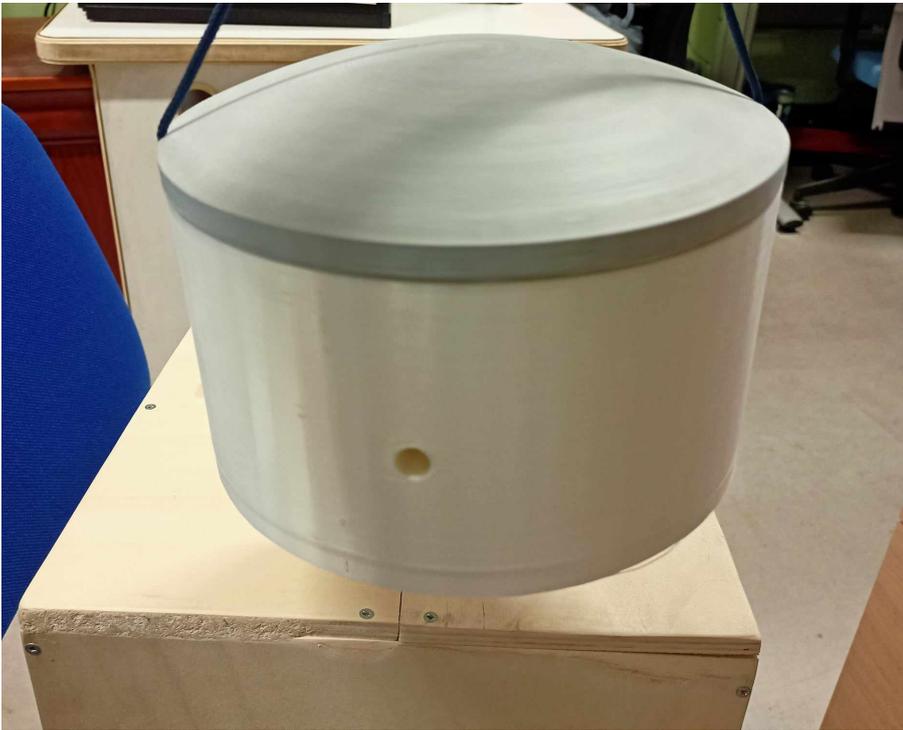
L'impression a été réalisée au Fablab de Sorbonne Université. Photos ci dessous.



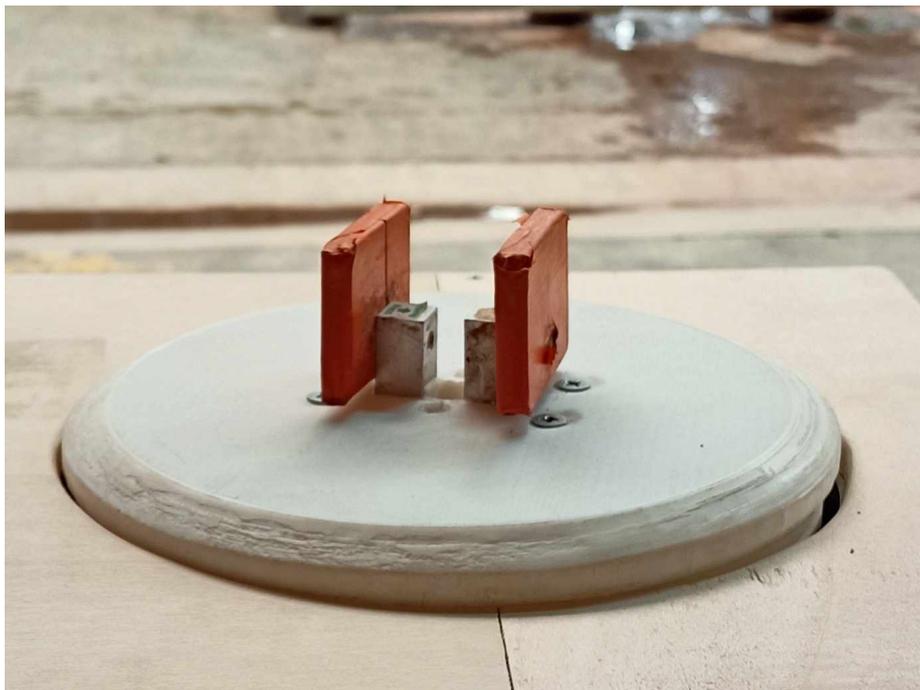
Systeme vu du haut

Le bouchon, de par sa petite taille a été la première à être imprimée. Un trou a été prévu sur le haut du bouchon afin de pouvoir y glisser une fine cordelette et récupérer le boîtier au cas où l'éléphant n'y arriverait pas par lui-même.

Ensuite le reste de la boîte a été imprimée, ainsi qu'un deuxième couvercle grâce auquel nous calculerons non pas la force de succion, mais la force de pincement



Systeme entier avec bouchon suction



Bouchon 2, pensé pour accueillir deux Load Cells

Parce que en parallele une experience était en cours pour évaluer la force de pincement en bout de trompe de l'éléphant, un deuxième bouchon a été conçu. Les load cells attachées à ce bouchon sont directement relié à une carte arduino envoyant en temps réel