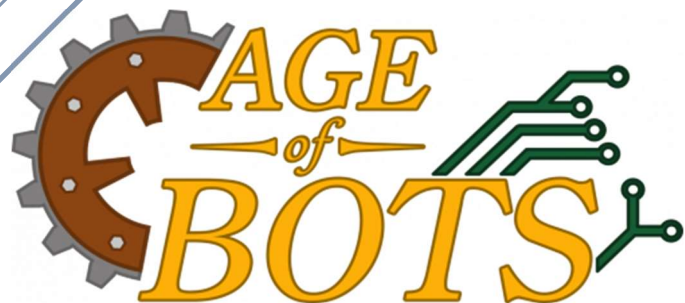


# RAPPORT FINAL

Projet 24 : Coupe de France de Robotique



ENSTA Paris 2021/2022

Chloé Balmes, Victor Defrance, Maxime Fantino,  
Bastien Hubert, Mathis Lebaill, Thomas Raynaud

# Tables des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>2</b>
Présentation générale de la coupe .....	2
Déroulement plus précis de la coupe .....	2
Demandes spécifiques d' <i>Age of Bots</i> .....	3
<b>I. Notre équipe .....</b>	<b>5</b>
Notre équipe & l'ENSTAR.....	5
Stratégie de notre équipe .....	5
Choix personnel de ce PIE.....	6
<b>II. Retour sur l'analyse et la gestion des risques.....</b>	<b>7</b>
Analyse des risques.....	7
Retour sur la gestion des risques.....	8
<b>III. Retour sur le travail réalisé du point de vue de la gestion de projet.....</b>	<b>9</b>
Retour sur l'organisation globale du projet.....	9
Retour sur la partie informatique.....	9
Structure du code de notre robot.....	10
Retour sur la modélisation du pôle mécanique.....	10
Les impressions 3D .....	11
Retour sur nos liens et le robot de l'ENSTAR.....	12
Utilité du robot minimal .....	13
<b>IV. Liste des livrables.....</b>	<b>15</b>
Les livrables matériels.....	15
Les livrables immatériels .....	15
Les livrables documentaires .....	15
<b>V. Retour sur l'organisation du projet.....</b>	<b>17</b>
Les parties prenantes du projet.....	17
Matrice SWOT.....	18
Planning tel que tout s'est réellement passé .....	19
Bilan financier .....	19
<b>Conclusion .....</b>	<b>21</b>
Suite du projet .....	21
Bilan général .....	21
Bilan personnel .....	22
<b>Annexe .....</b>	<b>25</b>

# Introduction

## Présentation générale de la coupe

La coupe de France de robotique est une compétition nationale qui a lieu chaque année aux alentours de mai. Organisée par Planète Science et Oryon, depuis 1994, cette coupe regroupe des centaines de jeunes (entre 18 et 30 ans) qui ont passé leur année à concevoir et réaliser un robot autonome conforme au règlement. Chaque année, le thème de la compétition change ainsi que les actions que doit réaliser le robot. A travers le PIE, nous allons participer avec l'équipe de l'ENSTAR (ENSTA Robotique) à l'édition 2022 intitulée *Age of Bots : Préparez-vous à fouiller l'histoire*. Les deux premières équipes du tournoi et une équipe ayant reçu un prix spécial pourront participer à la compétition internationale *Eurobot Open*.

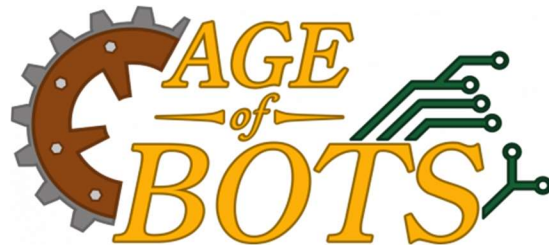


Figure 1 : Logos de la Coupe de France de Robotique et de l'édition de cette année (2022)

## Déroulement plus précis de la coupe

La coupe se déroule cette année du mercredi 25 au samedi 28 mai au Parc Exposition des Oudairies à La Roche-sur-Yon (adresse exacte : Rue Giotto, 85000 Roche-sur-Yon, France). Elle est composée de plusieurs parties pour les équipes.

D'abord à l'arrivée, les équipes inscrites se voient remettre un stand. Ce stand fait partie de la compétition. C'est le quartier général des équipes. Sur ce stand chaque équipe doit accrocher sont affiche tel que définie dans le règlement.

Une fois installées les équipes peuvent se présenter à l'homologation. Le but de l'homologation est de vérifier que les robots respectent bien les contraintes définies dans le règlement. Sont notamment vérifié les contraintes de périmètres des robots outils déployés et non déployés, la non-utilisation d'équipement pyrotechnique ou à pression dépassant la limite autorisée, la capacité à faire 1 point et la capacité à s'arrêter face un obstacle dans la trajectoire directe. L'homologation vérifie que le robot ne sera pas dangereux et qu'il sera en mesure de fournir un bon match. Ces vérifications sont un point barrage du tournoi : tant qu'elles ne sont pas validées intégralement les équipes ne peuvent pas jouer de match et sont donc forfaits.

Ensuite, les équipés ayant passé l'homologation peuvent se présenter aux phases qualificatives : 6 matchs de 100 secondes. A l'issue de ces matchs, les nombres de points gagnés à chaque affrontement sont sommés et un classement est réalisé. Les premiers sont sélectionnés pour participer aux phases finales. Un système de barrage permet de repêcher un ou deux équipes méritantes.

Enfin les phases finales sont des duels entre deux équipes. Suivant l'avancement du tournoi ils se jouent en 1 ou 2 matchs. L'équipe ayant récoltée le plus de point passe au tour suivant et ce jusqu'à la finale.

## Demandes spécifiques d'Age of Bots

Cette année encore les missions que doit remplir le robot sont multiples. Après discussions avec les autres membres de l'ENSTAR, il a été décidé que le robot du PIE s'occupera des hexagones. Premièrement, il devra les récupérer. Ils sont disposés à différents endroits sur l'aire de jeu. Les hexagones traités par notre robot seront ceux disposés sur la table au centre de l'aire jeu ainsi que ceux groupés par 3 dans des distributeurs.

*Figure 2 : Table de jeu de la Coupe de France de Robotique 2022*

Il existe trois sortes d'hexagones : des rouges, des bleus et des verts. Chaque hexagone a deux



faces. Une est colorée d'une de ces 3 couleurs et s'appelle la face découverte ou face *trésor*. L'autre colorée en marron se nomme face *rocher*. Au centre de chaque face se trouve un tag ArUco (une version simplifiée des QR codes) permettant d'identifier les 4 couleurs possibles de faces (marron, bleu, rouge ou vert).



Figure 3 : Photo de deux hexagones (gauche face rocher - droite face trésor)

Après avoir récupéré ces hexagones, il faut les déposer sur une plateforme surélevée appelée *le musée* ou dans une zone au sol appelé de *camp*. Ces 2 zones sont séparées en 3 sous zones de couleurs. Si les hexagones sont déposés dans la bonne zone (celle correspondant à leur couleur) et/ou dans le bon sens (face découverte visible) ils rapportent plus de points. Ainsi suivant la stratégie adoptée, un tri et un retournement des hexagones peut être nécessaire.

En plus des hexagones au sol et dans les *distributeurs*, il y a en a placé sur des promontoires. Une autre mission étant de placer des hexagones sous le promontoire, ces hexagones seront utilisés à cet effet.

En parallèle des missions avec les hexagones, il y a un échange de statuette à réaliser. Les statuettes sont des petits volumes qu'il faut déplacer.

Enfin la dernière mission est de retourner des panneaux à bascule. Ces panneaux représentent soit un trésor pour une équipe, soit des trésors pour l'autre équipe, soit des déchets. C'est par la lecture d'une résistance placée au-dessus que le type des panneaux peut être identifié. Le but étant de ne retourner que le trésor de sa couleur sinon on risque de perdre des points ou d'en donner à l'adversaire.

# I. Notre équipe

L'équipe du PIE coupe de France de Robotique était cette année composé de 6 deuxièmes années de l'ENSTA Paris venant des trois majeures proposées à l'école (Mécanique, STIC, Mathématiques Appliquées) : Chloé Balmes, Victor Defrance, Maxime Fantino, Bastien Hubert, Mathis Lebail et Thomas Raynaud.

## Notre équipe & l'ENSTAR

L'ENSTAR est l'association de robotique de l'école. Elle participe chaque année à la Coupe de France. Cette année, comme dit dans le rapport intermédiaire, nous avons choisi de faire un robot chacun : le robot secondaire sera réalisé par l'association et le robot principal par notre groupe de PIE. Il faut faire attention à avoir une communication entre les deux robots car ils agiront en même temps sur le terrain. Il ne faut pas qu'ils se gênent ou qu'une action soit faite deux fois. De plus, certaines règlementations (voir l'excel *Règles.xlsx* dans le dossier *Règles* sur Teams) s'appliquent sur l'ensemble des deux robots : les périmètres maximaux par exemple.

## Stratégie de notre équipe

Nous avons ainsi décidé de diviser le travail en deux. Un premier robot se chargera de récupérer les hexagones au sol et dans les distributeurs, de les trier et de les placer sur le musée. Un autre, secondaire, déplacera la statuette, gèrera le reste des hexagones et poussera les panneaux.

Pour le robot principal, nous allons récupérer les hexagones grâce à une pince à l'avant du robot. Ils seront ensuite montés grâce à un tapis roulant. Ils seront ensuite déplacés à l'arrière du robot dans une grille qui nous permettra de directement déposer les hexagones dans le musée dans le bon emplacement.

Pour le robot secondaire, lui fabriqué par l'ENSTAR uniquement, la stratégie suivante a été adoptée : il sera équipé d'un bras pouvant lire les résistances pour retourner les panneaux, d'un système d'échange pour la statuette et d'une tige déployable pour les hexagones du promontoire. Pour plus de détails, le document *Fonctionnement et stratégie Robot 1A.docx* est accessible dans le répertoire *Rapport final* sur le Teams de l'équipe de PIE.

## Choix personnel de ce PIE

**Victor :** Pour moi c'est la cinquième fois que je participe à la coupe de France de Robotique. En effet j'y ai participé 3 fois étant petit, et comme la majorité des autres l'année dernière au travers de l'association de robotique de l'école : ENSTAR. Cela fait longtemps maintenant que j'aime la robotique. C'est d'ailleurs un domaine dans lequel j'aimerais faire carrière. Cela étant dit, une expérience académique dans ce domaine au sein d'un projet durant plusieurs mois m'a tout de suite intéressé.

**Chloé :** Avant que l'on me propose de faire partie de ce PIE Coupe de France de Robotique, je n'avais jamais pensé à faire de la robotique. Je me suis donc dit que ce projet serait un moyen d'essayer le domaine même si ce n'est pas pour continuer de travailler dedans. De plus, apprendre à utiliser un logiciel de CAO me sera sûrement utile pour le futur.

Un autre point qu'il me semble important à souligner est que la robotique n'est pas un domaine où il y a beaucoup de femmes. Dans ma future carrière, je rencontrerai sûrement des équipes entièrement masculines. Il me semblait donc intéressant de participer à ce projet de robotique pour avoir une première compréhension de cette différence dans le travail.

**Thomas :** Pour ma part, je cherchais un PIE orienté informatique en lien avec la robotique afin d'en apprendre davantage sur ces domaines. En effet, j'avais particulièrement apprécié participer à la semaine de robotique de première année à l'ENSTA. De plus, lier ce projet académique à un réel challenge national ajoutait une réelle plus-value, cette dimension compétitive permettant de se rapprocher des conditions réelles de gestion de projet en entreprise, milieu dans lequel je souhaite m'orienter.

**Maxime :** Souhaitant depuis longtemps poursuivre mes études et explorer le domaine de la robotique, j'ai vu dans le PIE une bonne occasion de mener à bien un projet de robotique complet au travers d'une seconde participation à la Coupe de France. Je trouvais très appréciable l'idée de revivre cette expérience de manière plus encadrée, c'est-à-dire avec un emploi du temps aménagé et l'aide éventuelle de professeurs/intervenants encadrants. Je m'intéresse tout particulièrement aux questions algorithmiques en lien avec la robotique, et ce PIE était pour moi une très belle opportunité d'explorer ce domaine au travers de l'étude de problèmes liés à la navigation du robot ou encore à sa vision. De manière plus globale, pense que la Coupe de France de Robotique peut être une aventure très riche sur le plan de l'acquisition de compétences techniques et scientifiques, de même que sur le plan humain tout au long de l'année ainsi qu'au travers des rencontres avec les autres équipes lors de l'évènement.

**Mathis :** J'ai participé à la coupe de France de robotique l'année dernière avec l'association de robotique de l'école ENSTAR. J'ai pu dans ce cadre avoir un aperçu du domaine de la robotique. Ce milieu m'a beaucoup attiré. J'ai également pu découvrir le software de programmation ROS spécifique à la robotique, cela m'a motivé à me former sur celui-ci en codant sur le projet. J'avais également envie de retenter le challenge de la coupe et utiliser l'expérience que j'avais obtenue.

**Bastien :** Ayant participé à la Coupe l'an dernier dans le cadre de l'association ENSTAR, je me suis naturellement tourné vers le PIE Coupe de France cette année afin de prendre une part plus importante dans la conception et la réalisation des robots. De plus, je souhaite poursuivre mes études dans le domaine de la robotique, ce PIE m'a donc semblé être une excellente opportunité de développer mes compétences dans ce domaine qui me passionne. Rien que l'an dernier, j'ai énormément appris en matière d'asservissement et de programmation à l'occasion de la Coupe, et j'ai pu en apprendre encore plus cette année en participant à ce projet, ainsi qu'en travaillant avec mes camarades et toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide (notamment à l'U2IS avec qui j'ai eu le privilège de discuter de nombreuses méthodes et algorithmes particulièrement intéressants).

## II. Retour sur l'analyse et la gestion des risques

### Analyse des risques

Nous avons mal analysé les risques possibles pour notre rapport intermédiaire. Voici donc ci-dessous une meilleure analyse :

- Ne pas finir le robot à temps : il s'agit d'une des plus grandes contraintes de notre projet. Il faut que le robot soit fonctionnel et capable de passer les phases d'homologation et tout cela en étant en phase avec notre stratégie. Nous avons prévu qu'il serait dur de respecter nos prévisions en grande partie à cause de l'impossibilité de paralléliser les tâches. En effet, l'équipe informatique ne pouvait pas commencer à coder tant que l'équipe mécanique n'avait pas modélisé, au moins en partie, les pièces du robot. Il n'était pas possible de choisir à l'avance quels moteurs nous allions utiliser par exemple.
- Risque de démotivation des troupes : avec cette répartition du travail non parallèle, il y avait de grande chance que l'équipe mécanique se sente extrêmement pressée au début, quitte à en avoir marre du projet avant d'avoir fini. Pour l'équipe informatique, passer les premiers mois à ne pas vraiment travailler directement sur le projet peut aussi être décourageant.
- Aggravation de la situation sanitaire conduisant à un confinement : avec un nouveau confinement le moral de l'équipe aurait sûrement été au plus bas. On revient alors au risque précédent. Cependant, en plus de cela, un confinement aurait rendu difficile le montage physique du robot et les impressions 3D. Difficile aussi de s'échanger les pièces pour faire des tests ou travailler à plusieurs sur une même partie du travail. Nous aurions dû réaliser une organisation complètement différente.
- Retard de livraison : cela peut grandement influencer les choix mécaniques pour la modélisation.
- Pertes des données informatiques : risque de grande gravité et criticité. Cependant il est très peu fréquent.
- Risque matériel : Les impressions 3D sont des éléments avec un nombre imprévisible de défauts. Il faut donc pour chaque pièce réfléchir au sens de l'impression, à la taille de



chaque pièce... De plus, dans les risques matériels nous pouvons mettre le risque que le matériel pourvu par l'ENSTAR ne soit pas opérationnel. En effet, de nombreux éléments comme des moteurs par exemples, ne fonctionnent plus. Cependant, on ne peut pas le savoir avant d'avoir essayé de les faire marcher. Il pourrait donc y avoir des surprises et des commandes de dernière minute à réaliser.

- Risque administratif : Contrairement à beaucoup d'associations de l'ENSTA Paris, l'ENSTAR est une association de loi 1901. Cela veut dire que beaucoup de démarches administratives doivent être faites dans le courant de janvier, lors de la passation de l'ancien bureau au nouveau. Cela peut engendrer des délais, des difficultés pour utiliser l'argent du compte de l'association par exemple.

## Retour sur la gestion des risques

- Nous ne savons toujours pas à l'heure actuelle si le robot sera fini à temps, mais contrairement à ce à quoi on pouvait s'attendre avoir une Dead-line très précise permet à chacun de rester motivé. Tout le monde doit finir ses tâches avant la compétition pour le bien de l'équipe. Nous avons pu cependant remarquer des retards dont les raisons détaillées seront discutées plus bas.
- Il y a eu comme prévu une certaine démotivation : le pôle informatique était pressé de commencer le travail après avoir passé plus d'un mois sur les formations ROS et l'équipe mécanique s'est senti un peu sous l'eau. Cependant, comme expliqué ci-dessus, l'idée d'avoir un robot fini à temps pour la coupe, nous a aidé à rester concentré sur l'objectif jusqu'au bout.
- Il n'y a finalement pas eu d'aggravation de la situation sanitaire. Nous n'avions pas prévu d'organisation si cela avait eu lieu. Il aurait peut-être fallu prendre des décisions dès le début sur comment faire en cas de confinement, car s'il y en avait eu nous aurons eu des difficultés importantes.
- Nous n'avons pas eu affaire à des retards de livraisons. Même s'il y en avait eu, nous avons des arrangements avec le matériel déjà présent à l'association et des éléments que nous pouvions emprunter au laboratoire de robotique de l'ENSTA Paris.
- Pour contrecarrer des pertes de données informatiques, nous avons utilisés des sauvegardes git.
- Pour le risque matériel, il n'y en a pas eu plus que prévu. Nous avons toujours pu nous reposer sur ce qu'avait déjà l'association et le laboratoire de robotique. Cependant, il est à noter que nous n'avons pas nous-mêmes les connaissances pour faire fonctionner une imprimante 3D. Il fallait donc demander à une personne extérieure. Chaque petit changement dans la modélisation a donc un grand impact sur tout le reste de la modélisation et des impressions 3D, en particulier dans les délais. De plus, une impression coûte assez cher. Il a donc fallu faire attention à ne pas les faire imprimer sans réflexion préalable.
- Il y a bien eu des problèmes administratifs lors de la passation, rendant impossible la commande de matériel jusqu'en avril. Le pôle mécanique a donc dû changer certaines pièces en conséquence. Par exemple, pour la pince avant, il était prévu de réaliser au départ un guidage linéaire mais c'est finalement un rail qui va être utilisé. Nous avons aussi dû diminuer le nombre de moteurs dans le robot, il a donc du fallu repenser la pince principale interne.

# III. Retour sur le travail réalisé du point de vue de la gestion de projet

## Retour sur l'organisation globale du projet

Comme décrit dans le document *Journal\_du\_PIE.docx* (visible directement dans le dossier Général du Teams) qui entérine les choix importants et qui retrace ce que nous avons fait séance après séance, nous avons assez vite décidé de séparer l'équipe en 2 pôles. La partie mécanique, dite pôle méca, qui sera composé de Chloé et Victor : les 2 membres suivant la majeure MECANIQUE. La partie informatique, dite pôle info, qui sera composé de Maxime, Bastien, Thomas (tous les 3 STICs) et de Mathis (Mathématiques Appliquées). Ce choix finalement assez naturel a été un succès car il nous a permis de mieux adapter les réunions et le travail en équipe pour avancer plus vite. On a ainsi pu organiser des séances de partage de connaissance au sein de chaque pôle pour présenter des spécificités des logiciels utilisées. Le seul regret de cette séparation des tâches est que les élèves du pôle mécanique ne connaissent finalement qu'assez peu l'intérieur du code et inversement le pôle informatique ne sait pas comment chaque pièce a été dessinée. Mais si nous voulions voir le projet aboutir, le partage de chaque détail n'était pas forcément souhaitable.

## Retour sur la partie informatique

Le pôle informatique a commencé l'année en réalisant les formations au système de programmation ROS (Robot Operating System). C'est avec cet ensemble de logiciel que le robot est programmé. ROS a été conçu et est donc particulièrement adapté pour la robotique. Il est basé sur un ensemble de service que l'on doit programmer spécifiquement pour notre robot. Comme tous les membres du pôle n'étaient pas familiers avec ce système, ils ont passé la première partie du PIE à s'y former.

Ensuite le pôle a été chargé de réaliser les tests de tous les périphériques au sens large que l'unité de contrôle allait utiliser. Ont notamment été testés : les drivers des moteurs pas à pas, les moteurs pas-à-pas eux-mêmes, les moteurs AX12-A, les moteurs XL-320, les drivers, et la mise en série de ces différents éléments. En plus de cela des tests de trajectoires ont été réalisés sur le robot minimal (voir paragraphe suivant). L'ensemble du suivi de ces tests est disponible sur le Teams dans *Tests unitaires.docx* et dans *tests\_unitaires\_intégration.docx* dans le dossier *Dossier de réalisation*.

## Structure du code de notre robot

Nous avons décidé de réaliser un schéma représentant toute la structure de notre robot. Il nous a aidé dans notre planification. Chacun pouvait s'atteler à une tâche précise sans empiéter sur le travail d'un autre.

Le schéma est visible dans le dossier de conception sous le nom *Structure\_code.docx*.

## Retour sur la modélisation du pôle mécanique

Le pôle mécanique était composé de Victor et Chloé. Nous avons commencé l'année en établissant une stratégie et en imaginant des solutions pour répondre au cahier des charges. Une fois la forme globale du robot imaginée, nous l'avons modélisé. Comme Chloé n'avait jamais utilisé le logiciel de CAO *Inventor*, Victor lui a montré pendant quelques séances comment dessiner des pièces. Une fois cette formation au logiciel réalisée, nous nous sommes réparti les différentes parties du robot pour les créer précisément sur le logiciel. L'ensemble des pièces est disponible sur le Teams dans le dossier *Dossier de conception*. Les premières modélisations que nous avons faites se trouvent dans le dossier *Modélisation brouillon*. Elles nous ont permis, outre de s'entraîner sur le logiciel, d'avoir une bonne approximation des dimensions. Alors nous avons pu passer aux modélisations finales qui se trouvent elles dans le dossier *Modélisation finale* de *Dossier de conception*. La modélisation actuelle est la suivante. Il manque très peu d'éléments et beaucoup de pièces ont déjà été imprimées ou fabriquées de manière générale.

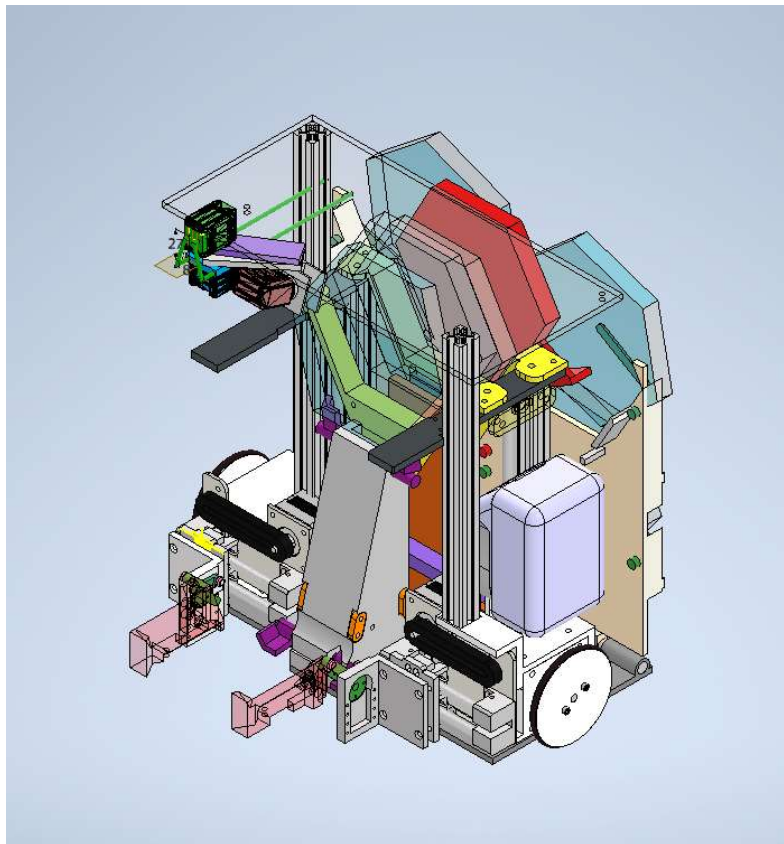


Figure 4 : Modélisation 3D de notre robot

## Les impressions 3D

De nombreuses pièces du robot ont des formes extrêmement spécifiques. Pour pouvoir les fabriquer rapidement et précisément sans dépenser trop, nous avons eu recours à l'impression 3D. Cela est particulièrement facile à partir de pièces dessiner sous le logiciel *Inventor*. C'est pour cette facilité d'exportation d'ailleurs que nous avons choisi ce logiciel.

Malheureusement les impressions de pièces ne sont pas toujours réussies. Certaines échouent à cause de problème techniques sur l'imprimante. Les autres sont mauvaises parce qu'elles étaient mal dessinées. Cette deuxième catégorie étant directement de notre fait nous les avons retracés dans un document disponible sur le Teams dans le dossier *Dossier de réalisation*. Le document s'appelle *Historique des impressions 3D.docx*. Dans ce document nous aussi retracé la vie des impressions et en particulier celle des pièces qui ont dû être réimprimées car elles ont cassé et/ou pas passé les tests unitaires.

Ainsi dans *Historique des impressions 3D.docx* il y a des photos des différents versions des impressions.



Figure 5 : Les impressions 3D des pièces constituant de l'ascenseur et de la pince avant gauche

## Retour sur nos liens et le robot de l'ENSTAR

Comme nous l'avons présenté précédemment, nous participons à la coupe avec l'équipe de l'association ENSTAR. Il nous était important de suivre la fabrication et la conception de leur robot car il y a des contraintes communes. Nous avons suivi leur projet ainsi :

- Nous avons beaucoup discuté en amont au début de l'année pour se répartir l'ensemble des tâches à réaliser.
- Après cela, nous avons suivi au cours de l'année le développement de ce second robot pour s'assurer qu'il respectait les contraintes qui nous étaient.
- Enfin et pour le mois à venir, nous allons continuer à nous mettre d'accord sur les programmes pour notamment s'assurer que nos robots ne se percutent pas.

Suite à la gestion de cette interface, nous avons réalisé un document expliquant précisément les missions de ce second robot. Il est sur le Teams dans le dossier *Rapport final* et s'appelle *Fonctionnement et stratégie Robot 1A.docx*.

Enfin le dernier de nos liens avec l'ENSTAR était pour la fabrication de la table. En effet nous avons aussi travaillé en dehors de horaires du PIE pour fabriquer la table de la coupe. Nous ne l'avons pas fait seul. Beaucoup de membres de l'association se sont attelés à cette tâche. La table entière est visible dans la vidéo du PIE. Voici nos hexagones fabriqués sur l'image. Ils sont posés sur le vinyle de notre table.

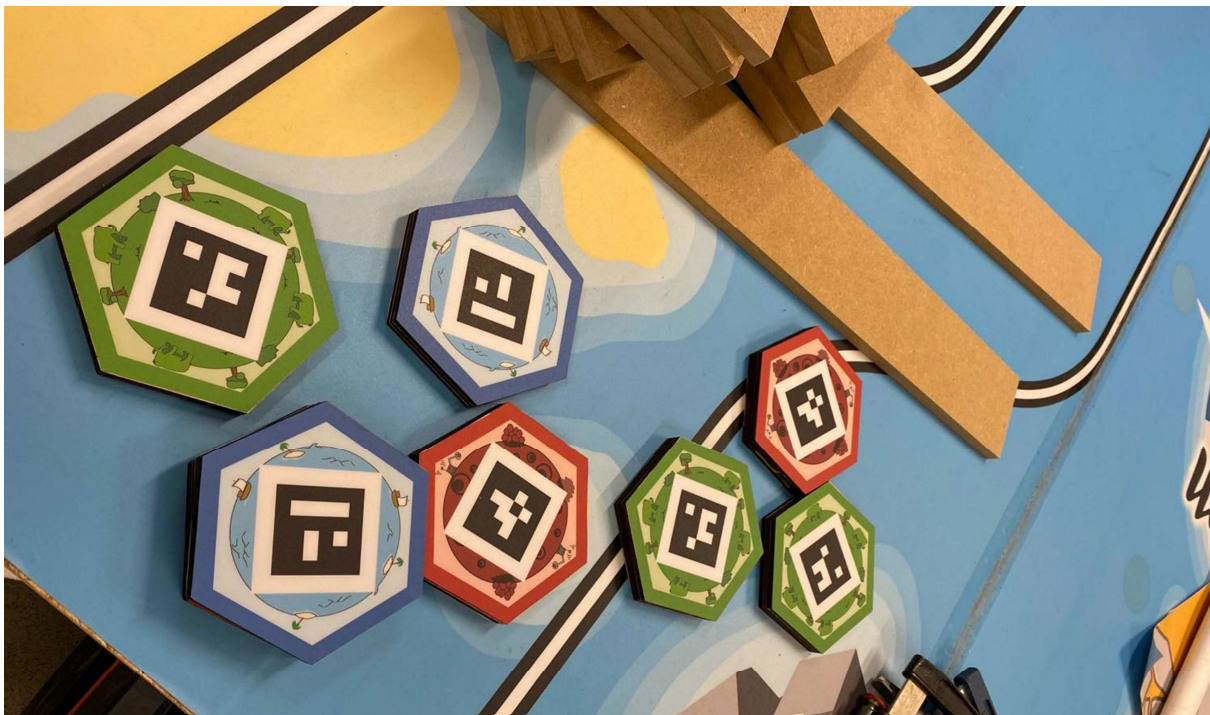


Figure 6 : Les hexagones fabriqués posés sur la table que nous avons participé à fabriquer dans le local de l'ENSTAR



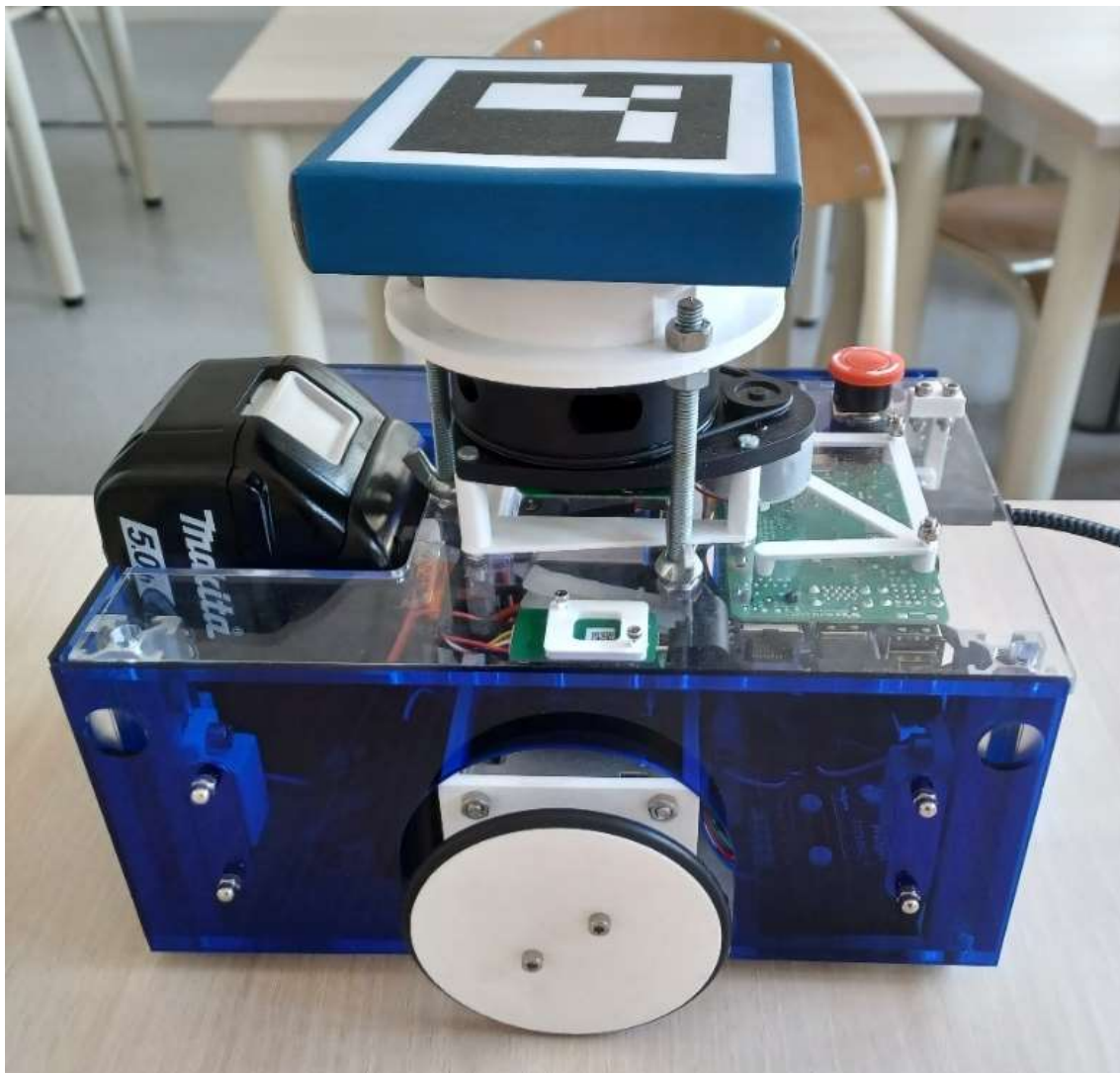
## Utilité du robot minimal

Nous avons tout d'abord commencé par construire un robot minimal. Son but était de permettre de tester des premiers programmes sans que notre robot principal soit terminé.

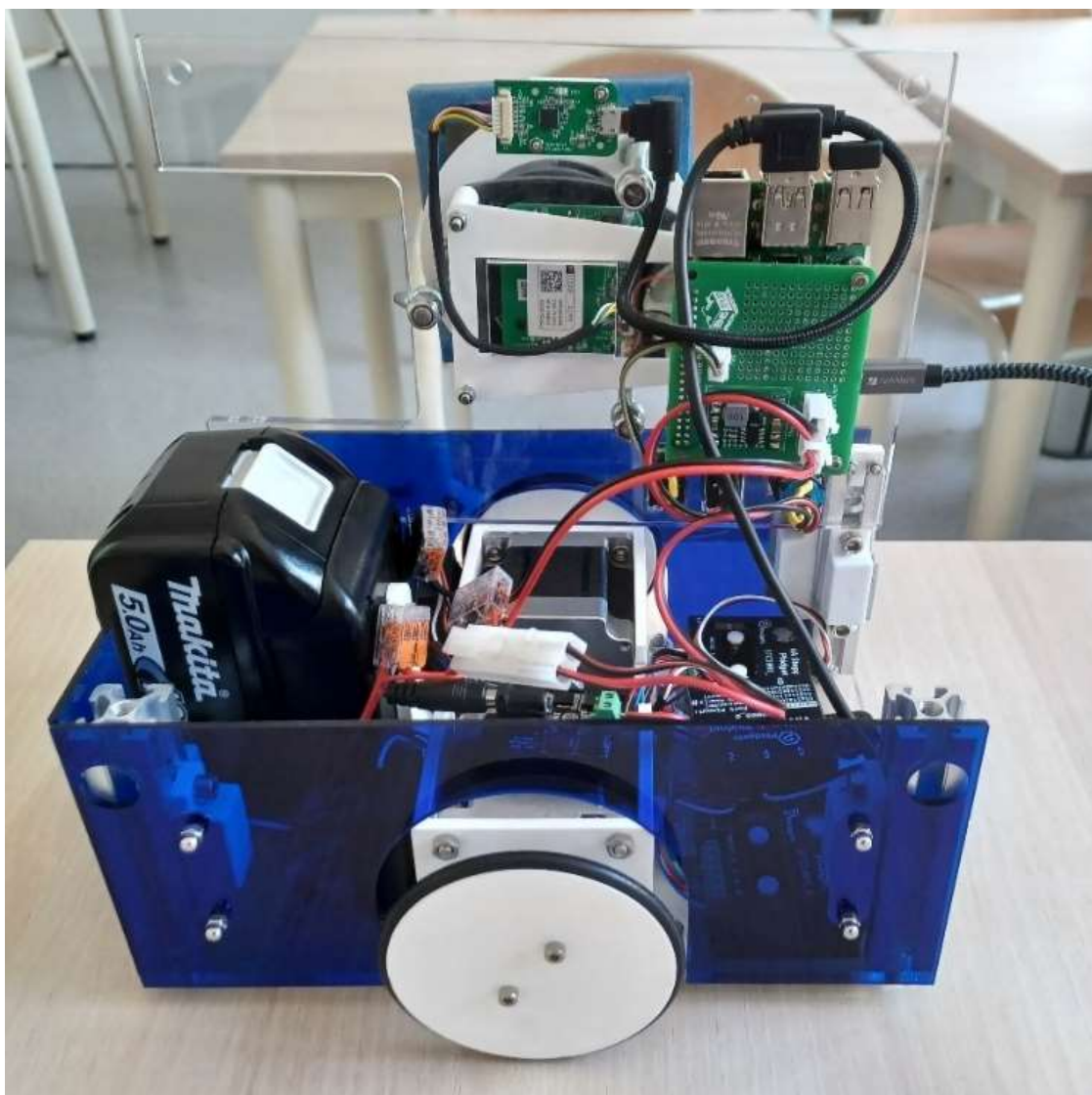
Nous avons d'une part pu travailler assez tôt sur la navigation à l'aide de ce robot minimal. Si notre programme fonctionne pour ce robot-là, il fonctionnera pour la version finale. Il nous a donc permis de valider plusieurs tests unitaires.

Il a d'autre part permis à la mécanique d'avoir un peu plus de temps pour terminer la modélisation. Sans cela, une fois les formations ROS terminées, la partie informatique aura été bloquée, en attente du pôle mécanique.

Il a aussi permis aux membres de l'équipe qui commençaient leur premier projet de robotique d'avoir une idée d'à quoi devrait ressembler très superficiellement le robot de la Coupe.



*Figure 7 : Photo du robot minimal*



*Figure 8 : Photo du robot minimal ouvert*

## IV. Liste des livrables

Comme précisé dans le rapport intermédiaire voici les livrables effectivement réalisés :

### Les livrables matériels

- Un robot physique pour la participation de l'ENSTAR à la Coupe de France de Robotique 2022 (consulté par M. Taruffi le vendredi 22/04).

### Les livrables immatériels

- Un ensemble de programme et scripts adaptés au robot pour les matchs de la compétition. Ils sont disponibles sur le Teams dans le dossier *Dossier de réalisation* puis dans le dossier *Programmation*.

### Les livrables documentaires

- Cahier des charges fonctionnelles : document réalisé dès le début du projet. Il nous a permis de mettre au clair ce qui était attendu pour la coupe. Il nous permet aussi à la fin du projet que toutes les demandes ont été remplies. Ce document est trouvable dans le dossier *Exigences*.
- Cahier de validation des tests unitaires et d'intégration. Ces documents retracent comme expliqué plus haut les tests que nous avons réalisés sur nos livrables non-documentaires. Ces documents sont disponibles sur le Teams dans le dossier *Dossier de réalisation*.
- Bilan carbone : réalisé à la moitié du projet. Il nous a permis de revoir l'empreinte carbone de notre projet. Nous avons alors pris conscience de ce sur quoi nous pouvons jouer et ce sur quoi nous avons assez peu de pouvoir. L'ensemble des documents qui sont associés au bilan carbone disponible sur le Teams se trouvent dans le dossier *Bilan Carbone*.
- La vidéo : La vidéo de présentation du PIE. Elle introduit le projet en environ 5 minutes. C'est un des livrable de chacun des PIE. Elle se trouve sur le Teams dans le dossier *Rapport final*.

Nous avons de plus rajouté par rapport aux livrables que nous avons prévus dans le rapport intermédiaire :

- Fichiers de modélisation 3D Inventor : nous avons utilisé le logiciel *Inventor* pour la modélisation 3D de notre robot. Chaque pièce que nous devons imprimer avait besoin d'une modélisation mais en plus de cela nous devons modéliser les autres pièces pour être sûrs de la place de chacune d'entre elle dans le robot. En effet, les éléments comme les moteurs, la batterie, les piliers, la base et le plafond ne sont pas des pièces nécessitant de l'impression 3D mais nous en avons besoin pour réfléchir à l'emplacement du reste :



Peut-on poser les pinces à cet endroit, est ce que la rampe rentre entre ces deux éléments ?

Les fichiers de modélisation des pièces (.ipt) et des ensembles (.iam) sont disponibles dans les dossiers *Modélisation brouillon* et *Modélisation finale* du dossier *Dossier de conception* (qui se trouve à la racine du Teams. Les ensembles (.iam) correspondent aux assemblages de plusieurs pièces (.ipt).

- Dossier de règles (*Eurobot2022\_Rules\_FR.pdf, description\_terrain.pdf, règles.xlsx*) : les deux premiers documents correspondent aux règles données par l'organisation du tournoi, l'Excel est un document que nous avons réalisé pour retrouver plus facilement les réglementations qui s'appliquent à chaque partie du travail. Nous l'avons écrit pour qu'il soit accessible pour l'autre partie de l'équipe qui travaille sur le robot de l'ENSTAR. Ce dossier est disponible sur le Team à la racine sous le nom *Règles*.
- Journal du PIE : document qui nous permet de retracer les différentes évolutions du projet. Il entérine notamment les décisions importantes. Chacun peut se référer à ce document s'il a besoin de discuter d'un sujet en particulier. Il saura alors qui se charge de cette partie du projet ou si justement personne n'a encore commencé à s'y intéresser. Il permet aussi d'avoir une idée plus précise des dates. Il nous a permis de remplir plus facilement le planning de ce qu'il s'est vraiment passé. Il est disponible sur le Teams à la racine et le fichier s'appelle *Journal du PIE.docx*.
- Historique des impressions 3D : document nous permettant de tracer les dégâts sur les pièces imprimées en 3D. Nous pouvons ainsi avoir un historique de chaque pièce. Cela permettra d'apprendre de nos erreurs et peut être aux prochaines équipes d'éviter certaines impressions non concluantes. Il est disponible sur le Teams dans le dossier *Dossier de réalisation*. Le fichier s'appelle *Historique des impressions 3D.docx*.
- Impressions 3D : Excel avec toutes les pièces 3D à imprimer indiquant si elles sont déjà imprimées et si oui combien de fois elles l'ont été. Ce document nous permet aussi de savoir si nous sommes arrivés à la version finale de chacune des pièces. Il est disponible sur le Teams dans le dossier *Dossier de réalisation*. Le fichier s'appelle *Impression 3D.xlsx*.
- WBS : schéma permettant de résumer les différentes fonctions que le robot doit pouvoir réaliser. Il est disponible dans le dossier *Rapport Initial*.
- Budget du robot minimal et du robot principal. Il est disponible sur le Teams dans le dossier *Rapport final*. Le fichier s'appelle *budget\_robot\_minimal.pdf*.
- Documents utiles : Une liste des documents utiles tirés des années précédentes peut être trouvée dans le dossier *Documents utiles* sur le Teams. Il s'agit d'un dossier permettant aux années futures d'accéder à des données importantes comme des explications sur l'utilisation de certains éléments du robot, ou des photos du robot de 2020.

# V. Retour sur l'organisation du projet

## Les parties prenantes du projet

Au début du projet nous avons déterminé les parties prenantes suivantes :

- Membres du PIE Coupe de France de Robotique 2022 : réalisation du robot principal
- Membres de l'association ENSTAR : réalisation du robot secondaire
- U2IS : conseils techniques et prêts de matériel
- Fournisseurs divers : achats de matériels et licences
- Organisateurs de la coupe : définition des règles de la coupe, accueil/sécurité/gestion/nourriture des participants, communication et retransmission en direct de l'événement, homologation des robots, arbitres des combats
- Adversaires au moment de la coupe : concurrents lors des combats

Nous avons bien délimité les interactions que nous aurions avec ces différentes parties prenantes.

Nous n'avions pas d'encadrants pour ce PIE. Cela n'a été possible et acceptable que parce que quatre des six étudiants de notre équipe avait participé à la Coupe de France de Robotique 2021. Nous avons de plus été aidé par une autre partie prenante que nous avons oublié dans le rapport intermédiaire : Mme Séverine BOURNAUD, experte gestion de projet. Elle nous a, en effet, guidé sur tout ce qui est organisation et gestion du projet. Elle nous a aussi expliqué certaines attentes du rapport et des autres documents demandés. Enfin nous pouvons ajouter M. Taruffi et les experts bilan carbone qui nous ont données quelques conseils en début d'année.

## Matrice SWOT

Nous avons réalisé la matrice SWOT suivante pour le rapport intermédiaire :

Interne		Externe
<b>Atouts</b>	<u>Forces</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Expérience d'une participation antérieure à la coupe de France de Robotique</li><li>• Budget de l'ENSTAR satisfaisant pour l'achat de matériel professionnel</li><li>• Maîtrise de logiciels professionnels pour la conception du robot et la programmation</li></ul>	<u>Opportunités</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Faire rayonner l'ENSTA Paris lors de la Coupe</li><li>• Promouvoir l'association ENSTAR</li><li>• Gagner en expérience</li><li>• Trouver des sponsors pour les prochaines années</li></ul>
<b>Handicaps</b>	<u>Faiblesses</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prise en main difficile de ROS</li><li>• Temps limité</li></ul>	<u>Menaces</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Adversaires avec un fort avantage compétitif</li><li>• Pénurie de matériaux et de composants, notamment les Raspberry Pi</li></ul>

On s'en rend compte, après la fin du PIE, que nous avons assez bien cerné les forces et les opportunités de notre équipe pour le projet. Nous n'avions cependant pas assez mis l'accent sur le manque de communication, la démotivation, la complexité des logiciels utilisés... Toutes ces menaces et faiblesses ont déjà été décrites dans notre analyse de risque précédemment.

On voit bien que ces deux éléments de gestion de projet sont liés. Nous avons mal compris l'analyse des risques ce qui nous a fait oublier une partie importante de la matrice SWOT.

## Planning tel que tout s'est réellement passé

Dans le dossier Rapport Final, vous pouvez trouver le GANTT initial (réalisé pour le rapport intermédiaire) et le GANTT final du PIE.

On peut voir que nous avons pris du retard sur bon nombre des parties du projet. Il y a plusieurs facteurs que nous n'avons pas pris en compte lors de l'élaboration du premier diagramme de GANTT. Cela est normal puisque cette première version était idéale. Elle nous permettait de finir le robot à la fin du PIE et donc environ un mois avant la Coupe. Dans cet idéal, nous n'avions pas assez pris en compte les prises en mains des logiciels et des langages informatiques. Les formations ROS ont duré plus longtemps que prévu et Chloé a pris du temps à s'habituer au logiciel de CAO Inventor. La modélisation 3D n'a donc pas pu aller aussi vite que si l'équipe était composée de deux personnes connaissant très bien le logiciel. Le fait que nous ne puissions pas avoir accès à certaines pièces comme les rails par exemple, nous a aussi fait perdre du temps. Nous avons dû repenser et modéliser de nouveau le bas du robot et le déplacement transverse des pinces.

Il ne faut cependant pas oublier que notre projet ne s'arrête pas avec la fin des temps de travail mis à disposition avec le PIE. Le but principal est que notre robot soit fini pour la compétition fin mai. Il nous reste encore des choses à faire mais il nous reste aussi du temps.

Nous n'avons pas forcément réalisé les tâches dans l'ordre que nous avions prédéfini au début du projet. En effet, nous n'avons pas vraiment pris en compte le nombre de personnes de l'équipe dans la partie informatique. Nous avons en réalité pu travailler en parallèle sur différents algorithmes et tests au lieu de tous les faire les uns à la suite des autres. Les binômes de travail se sont faits assez naturellement. Vu la charge de travail, chacun a pu choisir ce sur quoi il avait envie de travailler.

## Bilan financier

Nous avons ensuite le bilan financier du robot minimal et celui du robot principal.

Nous n'avions pas de subvention venant du PIE.

Ces bilans ne sont en fait que des estimations. En effet, comme précisé précédemment, nous sommes un projet en accord avec l'association ENSTAR. Nous n'avons donc en réalité pas eu besoin d'acheter chacun de ces éléments. Nous avons réutilisé beaucoup de matériels déjà présents dans le local de l'association.

Le fait que notre robot final revienne moins cher que le matériel pour le robot minimal est d'ailleurs dû au fait qu'un nombre important des pièces utilisées pour ce premier prototype sont considérées comme déjà achetées pour le second.

Description :	Détails :	Site :	Prix unitaire HT :	Prix unitaire TTC :	Quantité :	Prix total :	Prix HT :
Bobine de filament 3D	PLA 1,75mm 750g Dagoma	Leroymerlin	20,75	24,9	2	49,8	41,5
Moteur pas à pas	NEMA 17	Amazon	14,99	17,99	2	35,98	29,98
Driver stepper		Phidget	33,33	40	2	80	66,66
Hub contrôle stepper	Hub VINT Phidget	Robotshop	26,79	32,15	1	32,15	26,79
Servomoteurs	SG90	HackSpark	5,75	6,9	6	41,4	34,5
Caméra	Module Caméra v2 8MP	Kubii	23,25	27,9	3	83,7	69,75
Servomoteur	Pack de 6 Dynamixel AX-12A	Generationrobots	206,54	247,85	1	247,85	206,54
Driver servomoteur	U2D2	Robotis	24,42	29,3	1	29,3	24,42
PCB	Lot de 3	AISSLER	25,79	30,95	1	30,95	25,79
Profilé en ALU à rainure	20x20x1000mm	Leroymerlin	21,83	26,2	1	26,2	21,83
Plexiglass bleu	3x600x800mm	Aplastic94	40,1	48,12	1	48,12	40,1
Courroie	5m	Amazon	9,16	10,99	1	10,99	9,16
Pignons	RS PRO module 0.5, 24 dents, 3mm	Rs-online	12,96	15,55	2	31,1	25,92
Quincaillerie	Vis et écrous, câbles, rivets, étain	Divers	50	60	1	60	50
					Total HT :	672,94	
					Total TTC :	807,54	

Figure 9: Bilan financier du robot principal  
(prenant en compte les pièces dont l'ENSTAR dispose déjà)

Marque	Prix	Quantité	Facteur	Prix total	Achat	Note
Phidget	24.46	2	1	48.92	Site Phidget	
Phidget	30.57	2	1	61.14	Site Phidget	
Phidget	26.2	1	1	26.2	Site Phidget	
Phidget	1.31	2	1	2.62	Site Phidget	
Phidget	8.73	1	1	8.73	Site Phidget	
Phidget	2.62	1	1	2.62	Site Phidget	
Phidget	21.83	2	1	43.66	Site Phidget	
Phidget	13.1	2	1	26.2	Site Phidget	
Phidget	1.31	2	1	2.62	Site Phidget	
NA	109.52	1	1	109.52	Amazon	
NA	30.69	1	1	30.69	Amazon	
Raspberry	89	2	1	178	LetMeKnow	
DollarTek	8.99	1	0.2	1.798	Amazon	Boite de 5
Makita	89	2	1	178	LeRoyMerlin	
NA	4.84	2	1	9.68	Aliexpress	
NA	3.13	1	1	3.13	Ebay	
MiMoo	11.99	1	0.05	0.5995	Amazon	Boite de 20
HSeaMall	12.49	1	0.1	1.249	Amazon	Boite de 10
GeekWorm	30.17	1	1	30.17	Amazon	
Adafruit	2.4	2	1	4.8	LetMeKnow	
Navaris	9.99	1	0.8	7.992	Amazon	Boite de 10
NA	26.2	1	1	26.2	Amazon	
SUNLU	24.29	1	0.3	7.287	Amazon	
Aplastic94	48.12	1	0.4	19.248	Sur place	Taille de la découpe laser
Aplastic94	38.04	1	0.4	15.216	Sur place	Taille de la découpe laser
Museday	15.99	1	0.1	1.599	Amazon	Kit
NOLDAR	21.9	1	0.2	4.38	Amazon	Kit
Anyasen	19.98	1	0.8	15.984	Amazon	Kit
Hausprofi	15.99	1	0.1	1.599	Amazon	Kit
ASIV	11.99	1	0.4	4.796	Amazon	Kit
NA	17.31	1	0.5	8.655	Amazon	Kit
			TOTAL:	883.3025		

Figure 10 : Bilan financier du robot minimal

# Conclusion

## Suite du projet

La Coupe de France de Robotique a lieu du 25 au 28 mai 2022. Le projet n'est toujours pas terminé et nous devons encore travailler pour finir notre robot. Il manque encore certaines pièces 3D et tous les programmes ne sont pas écrits. En effet au-delà du PIE, le projet se poursuit jusqu'au 28 mai.

Lorsque la coupe sera terminée, tout notre travail pourra être réutilisé l'année prochaine par la prochaine équipe. Les livrables documentaires et matériels seront accessibles pour les années à venir. Comme expliqué plus haut, nous avons essayé de regrouper nos erreurs dans des documents pour permettre aux prochains élèves de les éviter. Ils pourront de plus avoir accès à notre organisation, ce qui pourra les guider dans la façon de prévoir leur projet.

## Bilan général

Ce Projet d'Ingénieur en Équipe nous a appris beaucoup de choses sur le travail en équipe. Il s'agit d'un des premiers travaux durant sur une aussi grande période et qui nous a demandé à chacun beaucoup de temps et d'investissement.

Travailler en équipe, cela a demandé beaucoup d'effort sur la communication. Nous n'avions pas mesuré l'importance de la communication. Nous venons de trois majeurs différentes et nous n'avons pas les mêmes objectifs ni les mêmes façons de les atteindre. Chacun a un rôle précis dans l'équipe au niveau techniques mais il a fallu aussi se placer chacun dans l'équipe humainement. Nous avons assez vite décidé que Victor Defrance serait notre chef de projet car il avait déjà participé à plusieurs éditions de la coupe et c'est lui qui aurait le plus une idée des deadlines à respecter. Et ensuite nous avons décidé de laisser faire naturellement les répartitions des rôles. Chacun a petit à petit trouvé son rôle et sa vitesse de travail. En effet, nous n'avions pas forcément réalisé que des grandes différences de vitesse de travail pourrait apparaître. Cela s'est surtout vu dans l'équipe mécanique : Victor Defrance ayant beaucoup travaillé avec le logiciel *Inventor* il a pu très vite commencer le projet et se pencher sur des éléments difficiles du robot. Chloé Balmes a elle prit beaucoup plus de temps à prendre en main le logiciel. Même après avoir été capable de faire des pièces de A à Z, elle reste beaucoup plus lente. Cela peut créer différents ressentis que nous n'avions pas forcément imaginé au début du projet : Victor a pu se sentir un peu submergé surtout sur la fin du projet, tandis que Chloé a pu avoir l'impression d'être inefficace ou pas assez. Finalement, le fait de toujours discuter à deux de l'architecture de quasiment tous les éléments et de ne laisser que la modélisation à l'un ou à l'autre a permis de faire participer chacun à l'étendu du projet.

Niveau communication, un autre point nous semble important à souligner. L'équipe informatique n'a pas forcément une idée très précise de comment marche la modélisation et réciproquement les étudiants responsables de la partie mécanique ne comprennent pas toujours les différentes étapes du code. Nous avons donc besoin de faire assez souvent des réunions ou en tout cas de prendre quelques

minutes pour écouter chacun à quel point les autres avaient avancé. Nous avons aussi mis en place le journal du PIE qui nous permettait d'accéder à un résumé des activités de chacun à chaque séance. Nous n'avons pas rencontré de problèmes au niveau de la discussion dans notre groupe. Tout le monde osait poser des questions, demander des explications, ou proposer une idée. Chacun a su accepter les idées des autres, ce qui nous a permis de ne pas avoir trop de débats surtout lors des discussions sur les stratégies pour gagner des points à faire au début du projet. Nous pensons que cela est dû à une confiance mutuelle en les capacités de chacun.

Nous avons aussi eu besoin d'une communication avec les autres étudiants travaillant sur une autre facette du projet. Nous avons, après avoir discuté avec notre experte projet Séverine Bournaud, décidé de choisir un responsable qui se tiendrait au courant de l'avancée des autres groupes. Nous avons choisi Mathis Le Bail. D'autres membres du groupe ont quand même participé à des réunions avec les autres étudiants. Cela nous permettait de voir comment le projet avançait d'un point de vue global mais aussi d'améliorer nos propres programmes et modélisations.

Nous avons aussi appris à gérer notre temps. En effet, avec un projet où les tâches ne peuvent pas se faire parallèlement il faut réussir à trouver une bonne gestion du travail. Tout le monde doit essayer de faire des choses dès le début pour ne pas qu'il y ait un moment de panique général ou tout le monde croule sous le travail. Nous avons vu, à travers la revue de notre GANTT, que nous n'avons pas réussi à suivre la gestion que nous avions imaginée. Cela était tout à fait prévisible. Cependant nous avons réussi à nous réorganiser pour respecter les moments charnières du projet. Cela nous a demandé de travailler en dehors des sessions de PIE mais nous ne l'avons pas fait plus que ce que nous avions déjà prévu de faire.

## Bilan personnel

**Victor :** Au travers du PIE, j'ai appris de nombreuses choses. D'abord en modélisation. Je n'avais encore jamais réalisé une simulation complète d'un robot. J'ai aussi pu au travers de ce projet travailler sur la nouvelle version d'Inventor et donc me former à ses nouvelles fonctionnalités. En imprimant de nombreuses pièces j'ai aussi pu mieux comprendre des aspects de solidité des impressions et quelles formes éviter ou privilégier.

Ensuite en tant que chef de projet. J'ai réalisé la difficulté de mobiliser tout le monde quand il y avait des retards. J'ai aussi réalisé à quel point il est difficile de gérer une équipe : suivre ce que chacun fait, programmer des points... tout en travaillant soi-même activement sur le projet. Cela d'autant plus que la modélisation mécanique était vraiment la partie à avancer le plus vite au début car potentiellement bloquante pour les autres. Avec le recul, je me dis que le projet aurait peut-être gagné à avoir un chef de projet un peu moins expert et plus gestionnaire. Cela m'aurait permis de me libérer du temps pour boucler plus vite la partie mécanique et permettre aux informaticiens de travailler plus tôt.

**Chloé :** J'ai beaucoup appris lors de ce projet en équipe à la fois techniquement mais aussi sur l'organisation et la communication. J'ai déjà, dans certains cours, utilisé les connaissances que j'ai gagné sur certains logiciels de CAO (Inventor, 3DExperience).

J'ai appris la difficulté de réaliser une communication efficace. J'avais déjà eu l'occasion de travailler dans un milieu où la communication était primordiale mais je ne m'étais jamais confrontée au fait de devoir en être actrice importante. Parfois juste prévenir que l'on s'occupe d'une partie du projet ne veut pas dire que tout le monde retient l'information ni s'en souviendra plusieurs semaines après. Il s'agissait aussi de la première fois que je participais à un projet dans lequel chacun n'était pas en mesure de comprendre tout ce que les autres faisaient. La communication en est d'autant plus difficile. Il faut apprendre à vulgariser sans perdre d'informations cruciales.

**Thomas :** Quelques dizaines d'heures de PIE plus tard, je pense avoir acquis un certain nombre de connaissances en termes de gestion de projet, notamment dans sa complexité administrative. En effet, nous avons dépensé une énergie considérable à rédiger des documents concernant le projet, ses exigences, sa planification etc... Cet aspect de la gestion étant nouvelle, il était souvent difficile d'envisager l'impact du temps dédié à la rédaction de ces documents. Il était finalement très instructif de devoir gérer ces difficultés en équipe, nous obligeant à gérer la répartition de travail, la communication etc...

**Maxime :** Au sortir de cette expérience, je pense avoir eu l'occasion d'observer et de mettre entre œuvre certains algorithmes dignes d'intérêt, et surtout de comprendre un peu mieux ROS (un environnement de développement informatique spécifique à la robotique et que nous avons utilisé). Il me semble étrangement que c'est dans la dimension humaine et plus particulièrement celle du travail en équipe que j'ai été le plus interpellé et que j'ai compris le plus de choses. Concernant ce qui nous était demandé, j'avoue regretter quelque peu que la lourdeur des tâches liées au suivi du projet (je fais référence aux documents du compte-rendu final et intermédiaire) nous ait freinée dans la réalisation de ce dernier. Je prends tout à fait au sérieux les problématiques organisationnelles qui s'y rattachent et je suis bien conscient de l'importance de tels documents de suivis dans le cadre de projets impliquant plusieurs individus. Je pense simplement que leur quantité était mal proportionnée au regard de la taille de notre équipe et du temps que nous avions. Un allègement de cette dernière nous aurait sans doute libéré du temps, mais plus important, nous aurait convaincu de la pertinence de la démarche. Je suis tout de même reconnaissant pour l'expérience que nous avons pu vivre.

**Mathis :** Au cours du projet PIE, j'ai pu acquérir de nombreuses connaissances sur la gestion de projet. J'ai pu mieux identifier les attendus d'un retour de projet ainsi que l'importance de bien communiquer les avancés. La communication est très importante et cela peut souvent nous donner tort de ne pas retracer exactement ce qui a été fait pour l'équipe mais aussi pour le client qui ne peut pas constater les progrès effectués. J'ai également pu comme souhaité au départ me former sur ROS et donc la programmation informatique spécifique à la robotique. Il faut savoir coder de manière asynchrone pour gérer plusieurs tâches en simultanées et cela n'est pas facile à prendre en main. Dans l'ensemble acquis plusieurs compétences à la techniques et transverses.



**Bastien :** Dans l'ensemble, je suis très heureux d'avoir pu prendre part à ce projet, qui m'a apporté énormément tant en termes de compétences techniques (étude d'algorithmes intéressants, structure des programmes et du robot en lui-même, etc.) qu'au niveau humain (gestion d'un projet en groupe, communication au sein de l'équipe, répartition des tâches, etc.). Cependant, la lourdeur administrative liée aux nombreux documents que nous avons à rendre m'a quelque peu découragé, tant nous avons passé de temps à écrire des documents dont l'utilité apparente semblait parfois ne pas valoir le temps passé à les réaliser. Ainsi, alors que la modélisation du robot prenait plus de temps que prévu et que les formations aux logiciels s'annonçaient plus difficiles qu'anticipé, nous étions contraints de rédiger des documents en quantité, ralentissant de fait notre progression dans la réalisation effective de notre projet. Malgré tout, je suis très heureux d'avoir pu participer à cette expérience qui m'a beaucoup appris sur le plan technique comme sur le plan humain.

# Annexe

## Table des illustrations

Figure 1 : Logos de la Coupe de France de Robotique et de l'édition de cette année (2022).....	2
Figure 2 : Table de jeu de la Coupe de France de Robotique 2022 .....	3
Figure 3 : Photo de deux hexagones (gauche face rocher - droite face trésor) .....	4
Figure 4 : Modélisation 3D de notre robot .....	10
Figure 5 Les impressions 3D des pièces constituant de l'ascenseur et de la pince avant gauche .....	11
Figure 6 Les hexagones fabriqués posés sur la table que nous avons participé à fabriquer dans le local de l'ENSTAR.....	12
Figure 7 : Photo du robot minimal.....	13
Figure 8 : Photo du robot minimal ouvert .....	14
Figure 9: Bilan financier du robot principal .....	20
Figure 10 : Bilan financier du robot minimal .....	20

## Remerciements

Toute l'équipe du PIE, aimerait remercier l'U2IS pour le prêt de matériel et les nombreux conseils.

Merci aussi à Mme Séverine BOURNAUD pour toutes ses recommandations et aide quant à la gestion de projet, à la communication et à la rédaction des documents. Merci d'avoir toujours été enthousiaste vis-à-vis de notre projet.

Merci à M Taruffi de nous avoir permis de réaliser ce projet dans le cadre du PIE et d'avoir répondu à toutes nos questions.

Merci aux responsables Carbone qui nous ont aidé pour la réalisation d'un premier bilan carbone et qui nous ont éclairé sur tous les impacts que pouvaient avoir chacun de nos choix, aussi petits soient-ils.

Nous souhaitons aussi remercier l'association l'ENSTAR dont la majorité de nos membres font partis ainsi que tous ceux qui la financent (l'ENSTA Paris, le BDE et les Alumnis). Sans l'association et son matériel nous n'aurions rien pu fabriquer et nous n'aurions pas les compétences que nous avons aujourd'hui.

Tous les membres de l'équipe souhaitent remercier Grégoire Wisdorff (3A – Promo 2022). Grégoire a su relancer l'association l'année dernière en mars 2021 quand plus personne n'était investi dedans. Il a ainsi permis à une grande partie de l'équipe du PIE de se rencontrer et de travailler ensemble depuis l'année dernière déjà. A titre personnel Victor souhaite le remercier pour lui avoir appris à utiliser Inventor et donné de nombreux conseils et revue des pièces à imprimer. Enfin nous souhaitons le remercier pour les pièces qu'il nous a imprimées.

Nous souhaitons aussi remercier Julien Calzas (1A – Promo 2024) qui nous a imprimé nos pièces depuis que Grégoire est parti en stage.

Nous souhaitons aussi remercier Marie Kalouguine pour le travail en reconnaissance d'image et l'assistance qu'elle nous a fourni sur ROS.

Je pense que le reste de l'équipe serait d'accord pour remercier notre chef de projet, Victor Defrance. Il a su nous motiver lorsqu'il le fallait, nous écouter, nous faire part de ses expériences et nous demander de travailler lorsque nous avons besoin de le faire en dehors des heures de PIE pour avancer sur le projet et rester dans les temps. Il a su se tenir au courant de ce qu'il se passait avec l'association ENSTAR mais aussi le pôle informatique et le pôle mécanique. Cela a permis de bien alléger la communication. Il a su prendre ce rôle de chef de projet et toujours avec le sourire.

## Remerciements du chef de projet à l'équipe

En tant que chef de projet je voudrais d'abord remercier Chloé pour la mécanique. Merci pour ta patience quand j'essaie de te montrer comment on utilise le logiciel Inventor. En second lieu j'aimerais te remercier de t'être parfois substitué à mon rôle de chef de projet surtout en fin d'année quand j'étais trop occupé à finir la mécanique. Enfin merci pour tout le travail que tu as accompli, tant sur les documents que sur les modélisations. Pour quelqu'un qui n'en n'avait jamais fait c'est un travail remarquable.

Ensuite je voudrais remercier Bastien en tant que membre mais aussi en tant que président de l'association ENSTAR. C'est aussi grâce à toi que nous avons pu construire le robot. Merci pour les nombreux tests de moteurs que tu as faits. Bastien merci enfin d'avoir géré la partie électronique.

Maxime je te remercie pour les nombreux conseils et ton expérience qui nous a permis de résoudre de nombreux problèmes. Merci aussi pour nos discussions hors du travail qui ont égayé tout le PIE.

Mathis, Maxime et Bastien je souhaite aussi vous remercier pour les parties de la table de jeu que vous avez fabriquées. Je sais que vous l'avez fait dans le cadre de l'ENSTAR mais je souhaitais quand même vous dire que cela nous a été utile.

Thomas tu es le seul membre de cette équipe avec qui je n'avais jamais travaillé. Tu as su comme Chloé rejoindre un groupe plus ou moins constitué et être utile. J'ai été ravi d'avoir pu faire ta connaissance. Merci pour ta patience dans la formation ROS et dans la rédaction des documents. Enfin merci pour le travail de montage de la vidéo. Elle est vraiment belle grâce à toi.

Mathis, toi le seul MathApp de cette équipe et très certainement celui qui avait le plus de connaissance en ROS au début de l'année, merci d'avoir entraîné le pôle info quand c'était nécessaire. Une des choses pour laquelle je veux aussi tout particulièrement te remercier est ta ponctualité et ton assiduité. Je souhaite aussi te remercier pour ton implication dans l'ENSTAR et ta gestion de la communication avec Marie.

Merci pour le travail que vous avez fait sur la navigation. C'est impressionnant.

Encore une fois merci à tous pour cette année et ce beau projet que nous avons réalisé ensemble.