

INSAéro

Rapport de projet

MF29 : Insarianne 1.2

Mathilde WALRAET, Lucie RATIÉ, Corentin ROCHE, Léo-Paul YOU



Résumé :

Ce rapport présente le développement du projet de mini fusée **Insarianne 1.2**, mené dans le cadre du programme **Planète Sciences / CNES**. Il retrace les différentes étapes de la conception, de la fabrication et des essais de la fusée, réalisée par une équipe d'étudiants passionnés d'aéronautique et de technologie.

Le document détaille les aspects mécaniques, électroniques et structurels du projet, ainsi que l'organisation de l'équipe, les difficultés rencontrées et les solutions apportées. Enfin, il met en lumière les enseignements techniques et humains tirés de cette aventure, depuis les premiers plans jusqu'au vol final de la fusée, un projet formateur, parfois semé d'imprévus, mais toujours porté par la même envie : voir *Insarianne 1.2* s'élever vers le ciel.

Mots clefs : Mini fusée, projet, conception, moteur, électronique, parachute, stabilité

Sommaire :

Sommaire :	2
Introduction :	3
1 De l'idée à la réalité : les raisons qui nous ont poussés à développer <i>Insarianne 1.2</i>	4
2 Conception et réalisation de la fusée	5
2.1 Les idées de départ.....	5
2.2 La fixation du moteur	6
2.3 La trappe	6
2.4 Le parachute.....	7
2.5 L'électronique	7
2.6 La partie embarquée	10
2.7 Ogive et ailerons	10
3 Conclusion	12
Bibliographie :	13
Annexe :	14

Introduction :

Depuis toujours, l'exploration spatiale fascine et inspire. Si nous n'avons pas encore les moyens de construire des fusées grandeur nature, il est néanmoins possible de se plonger dans cet univers à travers des projets plus modestes, mais tout aussi riches d'enseignements. C'est dans ce cadre qu'est né notre projet de **mini fusée Insarianne 1.2**.

Ce projet n'est pas arrivé par hasard : il est le fruit de **deux années d'attente et de préparation**. Nous avons dû repousser le moment tant attendu du lancement, car nous n'étions pas prêts au départ, puis parce que les conditions météorologiques étaient mauvaises. Mais loin de nous décourager, ces obstacles ont renforcé notre motivation et notre envie de mener à bien cette aventure.

Notre objectif principal est simple mais ambitieux : **réussir à concevoir, assembler et faire voler une fusée fonctionnelle**, en s'appuyant sur des matériaux accessibles (comme le PVC) et en développant nos propres solutions pour l'électronique embarquée. Mais au-delà de l'aspect purement technique, ce projet nous permet aussi de **mettre en pratique nos connaissances théoriques**, d'apprendre à travailler en équipe, de gérer un projet sur le long terme et de trouver des solutions créatives face aux imprévus.

L'Insarianne 1.2 incarne donc à la fois un défi personnel et collectif. Elle est le symbole d'une détermination à concrétiser une idée, à transformer des plans et des discussions en un objet tangible, capable de s'élancer vers le ciel. Bon, disons que **le vol aller s'est très bien passé**, mais que **le retour au sol a manqué un peu de grâce** : le parachute a préféré prendre un jour de congé... Résultat ? On a surtout validé la **résistance du sol**, pas celle de la fusée.

Ce rapport retrace ainsi l'ensemble du travail accompli : ce que nous avons fait, comment nous l'avons réalisé, les réussites comme les difficultés, ainsi que les anecdotes qui jalonnent cette aventure.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à **Planète Sciences** et au **CNES**, dont l'énorme soutien nous a permis de concrétiser ce projet. Un grand merci également à **tous les bénévoles** qui nous ont accompagnés depuis le tout début et qui ont pu voir le projet arriver à son terme. Enfin, nous remercions chaleureusement le **camp de Ger**, qui met chaque année à disposition un espace précieux pour concevoir, travailler, se retrouver... et bien sûr, lancer nos fusées.

1 De l'idée à la réalité : les raisons qui nous ont poussés à développer *Insarianne 1.2*

Le projet de mini fusée *Insarianne 1.2* est né d'un mélange de passion, de curiosité scientifique et de volonté de relever un défi collectif. Comme beaucoup d'étudiants fascinés par l'aéronautique et l'espace, nous rêvions de donner vie à une fusée, même modeste, capable de décoller et de démontrer concrètement nos compétences.

Au départ, nous étions **15 membres motivés**, tous désireux de contribuer. Mais au fil des mois, la réalité du travail en équipe s'est imposée : au bout de **6 mois**, il ne restait déjà plus que **7 personnes actives** : Paul ARRIVE, Théo MORENO, Lucie RATIE, Corentin ROCHE, Guillaume SIDORBRE, Mathilde WALRAET, Léo-Paul YOU. C'est ce noyau qui a réellement permis au projet de prendre forme. Chacun avait un rôle bien défini et l'organisation était plus fluide. Finalement, nous avons terminé l'aventure à **4 membres**, les autres ayant quitté pour des raisons diverses : contraintes liées au bi-campus pour certains, découragement ou amertume face à la nécessité de consacrer davantage de temps aux études qu'au projet.

Cette expérience nous a appris qu'un projet de mini fusée ne nécessite pas un effectif trop important. Au contraire, nous conseillons un groupe restreint, **pas plus de 7 personnes**, afin d'éviter que certains se retrouvent sans tâche claire ou à attendre que d'autres terminent leur partie. Un petit groupe motivé s'avère plus efficace, plus soudé et plus résilient face aux imprévus.

Mais au-delà de l'organisation de l'équipe, ce projet répondait à plusieurs **motivations profondes** :

- **Un intérêt pédagogique** : mettre en pratique nos connaissances en mécanique, électronique et gestion de projet. Chaque étape représentait une occasion d'appliquer la théorie à la réalité, avec ses contraintes matérielles et techniques.
- **Un défi technique** : concevoir un engin capable de voler, tout en gérant sa stabilité et ses systèmes embarqués, représentait un défi qui nous motivait jour après jour.
- **Une passion commune** : l'espace et les fusées nous font rêver depuis toujours. Construire *Insarianne 1.2*, c'était concrétiser un morceau de ce rêve, transformer une simple idée en un objet réel, palpable, et — espérons-le — capable de s'élancer vers le ciel.

En somme, *Insarianne 1.2* n'est pas seulement un projet technique : c'est l'aboutissement d'une volonté de travailler ensemble, d'apprendre en expérimentant, et de donner corps à une passion partagée.

Un autre conseil que nous retenons de cette expérience est de **s'appuyer sur les projets précédents** fait par d'autres équipes, surtout lorsqu'il s'agit d'une première participation. Reprendre ce qui a déjà été fait, analyser les réussites comme les erreurs, permet non seulement de **gagner un temps précieux**, mais aussi de mieux **comprendre les enjeux et le fonctionnement global** d'un projet de mini fusée. La première fois que l'on se lance, l'essentiel n'est pas d'innover à tout prix, mais d'assimiler la démarche, les contraintes et les étapes clés. C'est en construisant sur cette base solide que l'on devient capable, par la suite, de proposer ses propres améliorations.

2 Conception et réalisation de la fusée

2.1 Les idées de départ

Nous nous sommes scindés en 5 groupes, mécanique pour la trappe, fixation moteur, électronique, ogive & ailerons et système embarqué.

Faute de financement et puisqu'on partait de 0 on a listé toutes nos idées : trappe kangoo, fusée hexagonale et on a commencé à les élaborer avant de se rendre compte que si on ne faisait pas plus simple on n'allait pas être dans les temps.

- ➔ **Faire simple** au départ (ça n'empêche pas de laisser parler son imagination pour de futures expériences)

Sur le cahier des charges de la mini fusée, vous remarquerez que le diamètre pour la construire est très variable : entre 4mm et 20mm. Nous sommes donc partis sur un **diamètre 10mm** car il est facile de se procurer des tubes de PVC à ces dimensions-là. Il est bon de savoir aussi que la longueur de la mini fusée doit être au moins 10 fois supérieure à son diamètre

- ➔ Nous avons la mini fusée la plus grosse de tout le Cspace, on nous demandait à chaque fois si c'était une fusEx. On a eu **beaucoup de mal à passer en dessous des 3kg** (au-dessus il faut passer sur des rampes de fusEx ce qui prends plus de temps). Si vous optez pour cette stratégie, elle volera beaucoup moins haut. A noter : $V = \pi \times \text{rayon}^2 \times \text{hauteur}$, ce qui vaut dire que si vous augmentez le diamètre, le volume grandira au carré ce qui vous laisse envisager qu'elle pèsera exponentiellement plus lourd.

Conception d'une « **fusée sans peau** », tout l'intérieur s'enlève d'un seul tenant pour éviter de faire des trous partout dans la fusée à l'aide de 4 tiges filetées en bas et 3 tiges en haut. Nous avons abandonné cette idée l'année d'après car sur le moteur celles-ci n'apportaient aucun bénéfice, nous l'avons aussi fait pour des contraintes de poids nous laissant ainsi 3 parties distinctes : la partie fixation du moteur, la partie trappe & électronique et la « peau » de la fusée.

- ➔ Fusée sans peau à éviter, visser et deviser les boulons est très long. Dès qu'on veut apporter une modification (surtout dans les parties centrales) ça nous prenait l'heure de tout enlever changer et remettre au propre, d'autant que cela rendait les équipes dépendantes les unes des autres au lieu de pouvoir travailler en parallèle. **Séparer l'intérieur en 3 parties** est un bon compromis ça vous évite de devoir faire des trous partout dans la fusée.

Fusée « sans peau », elle s'enlève du tube de pvc en 1 seul tenant grâce aux tiges filetées



2.2 La fixation du moteur

Avant de penser au décollage, il fallait d'abord s'assurer que la propulsion trouve sa place au cœur de la fusée.

Coté fixation du moteur le plus simple était de centrer le moteur à l'aide de **3 bagues circulaire** pour que la poussée reste verticale et dans l'axe de la fusée. Nous y avons fait quatre fentes pour y loger les ailerons que nous avons maintenu à la fusée par ce biais.

➔ Très bonne idée. Les ailerons étaient bien fixés et ont permis d'espacer les bagues de manière régulière. Cela nous a aussi **fait économiser des tiges filetées** de la « fusée sans peau ». Une pierre, trois coups !

Pour retenir le moteur il y a 2 méthodes : soit il vient en butée au fond, soit il est fixé grâce à l'épaulement présent près de la tuyère (il est d'ailleurs recommandé d'utiliser cette deuxième option). Pour ce faire il suffit de faire une bague avec un diamètre inférieur à celui de l'épaulement pour que la fusée retienne le moteur. Pour le **retenir vers le bas**, un simple **papillon** suffis (la poussée s'effectuant vers le haut, le papillon ne sert que lors de l'installation du moteur).



Photographie de la fixation du moteur à la fin de la 1^{ère} année. Les bagues en bois sont trouées au centre pour pouvoir y glisser le moteur. Nous avons imprimé une pièce en 3D pour pouvoir fixer les ailerons sur les bagues, la 2^{ème} année nous avons ajouté cette pièce sur toutes les bagues et retiré les tiges filetées car les ailerons permettaient déjà de les tenir ensemble.



Photographie de la partie inférieure de la fusée. La partie blanche au centre est une maquette à taille réelle du moteur que l'on a glissé dans la fusée et qui viens en butée sur la bague en bois. On peut voir les fentes dans la bague en bois qui logent les ailerons.

La pièce métallique retient le moteur contre la fusée grâce au papillon vissé dessus.

2.3 La trappe

Qui dit décollage, dit aussi atterrissage... et pour éviter le crash-test, une trappe a été prévue pour laisser sortir le parachute.

Le système est simple il suffit de vous munir d'un servo moteur, d'une imprimante 3D et d'un ressort. Nous avons créé un **système de crémaillère en impression 3D**. Au démarrage la crémaillère est en position basse et bloque le ressort en position comprimé et maintient aussi la trappe fermée. Après un certain laps de temps, le servo tourne et l'engrenage monte et libère la trappe et le ressort l'aide à s'éjecter.

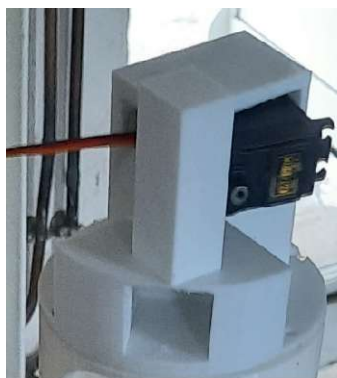
- ➔ Pensez à **imprimer la pièce verticalement** pour éviter la casse lors du décollage.
- ➔ Pensez à préparer un endroit où **fixer le parachute à la fusée**, c'est un détail souvent négligé mais de grande importance !

Nous avons aussi fait un box en impression 3D pour ranger le parachute. C'est pratique pour être sûr que rien ne viendra bloquer son déclenchement mais ça prend de la place et c'est lourd. Ce qui nous a fait défaut lors de la réception de Insarianne, c'est **la crémaillère**. Nous pensons **qu'elle a subis une trop forte accélération au décollage** ce qui a empêché la bonne éjection de la trappe. Nous avons pu l'observer grâce à la fracture nette sur l'engrenage de la crémaillère.

- ➔ Ce système de crémaillère n'est soit pas adapté, soit il nous faut des **matériaux plus solides**. On pourrait utiliser des filament ABS au lieu du PLA pour l'impression 3D. Une autre solution serait de fixer une **roue a came** (un disque avec un engrenage) sur le servo moteur qui pourrait se glisser dans une encoche pour retenir la porte, le système serait alors moins impacté pas le décollage.



Photographie du parachute et de son espace de rangement. On remarque qu'un trou est fait pour que le parachute soit attaché à la fusée.



La partie supérieure sert à l'éjection de la trappe. En noir c'est le servo moteur et la barre blanche devant lui loge la crémaillère. Le trou juste en dessous sert pour le ressort d'éjection. Celui-ci est retenu par la crémaillère lorsqu'elle est abaissée.

2.4 Le parachute

Une fusée sans parachute, c'est un peu comme un saut sans filet : nous avons donc équipé notre fusée pour assurer un retour en douceur.

Cette partie ne nous a pas pris beaucoup de temps, on avait la chance d'avoir un vieux parachute militaire chez l'une d'entre nous et les talents de couturière d'une membre de l'équipe raccourcir le parachute a été un jeu d'enfant.

Le parachute était pratiquement **la seule chose intacte après le vol**, nous l'avons récupéré pour une prochaine fusée.

2.5 L'électronique

Câbles, capteurs et circuits : l'électronique, même discrète, joue un rôle central dans la réussite du projet.

L'équipe en charge de l'électronique n'a pas chômé. Elle a créé tout le système de 0 en lisant des pages et des pages de documentations. Les sources sont dans la [bibliographie](#).

- ➔ N'hésitez pas si c'est la première fois que vous faites une fusée et que vous n'êtes pas familier avec la programmation à vous servir de ce qui a déjà été fait pour vous faire gagner du temps et pour mieux comprendre ce que vous devez faire avant de faire votre propre programme.

Le système électronique de la partir autonome est conçu pour contrôler automatiquement la **crémaillère** et l'ouverture du parachute selon différentes étapes de vol. Le fonctionnement se déroule ainsi :

1. Initialisation et ouverture de la trappe

- L'**activation de l'alimentation** met le circuit sous tension.
- Cette étape déclenche l'**état de sol 0**, qui initialise la position de la crémaillère vers le haut et ouvre la trappe, préparant la fusée pour le chargement ou la configuration initiale.

2. Fermeture de la trappe

- Lorsque l'utilisateur appuie sur le **premier interrupteur**, le système bascule en **état de sol 1**.
- La crémaillère s'abaisse alors, fermant la trappe et sécurisant le système pour le lancement.

3. Détection du décollage et activation du compte à rebours

- Dans cet état, l'électronique attend que la **prise jack**, reliée à la fusée et au sol, se **décroche**.
- La déconnexion de la jack (ou la coupure du fil) indique que la fusée a décollé.
- Cette action déclenche alors un **compte à rebours de 4 secondes**, calculé automatiquement par le logiciel **Stab Traj**.
- Le compte à rebours prend en compte les paramètres précis de la fusée : poids, envergure, taille et nombre d'ailerons.

4. Éjection du parachute

- Lorsque le compte à rebours arrive à zéro, la crémaillère se relève, actionnant l'ouverture du parachute et assurant un atterrissage sécurisé de la fusée.

Un **deuxième programme** est dédié au fonctionnement de l'expérience embarquée à bord de la fusée.

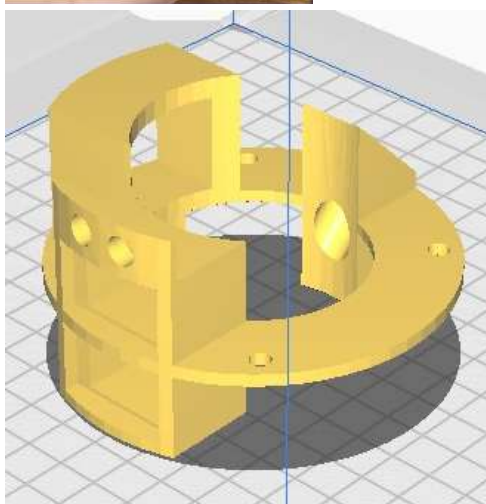
- Ce système est **indépendant** de celui qui gère la trappe et le parachute.
- Il dispose de sa **propre alimentation**, activée par un **deuxième interrupteur**.
- Dès que son alimentation est mise sous tension, le programme démarre automatiquement.

Le rôle de ce système est de **collecter les données expérimentales**.

- À intervalles réguliers (toutes les 200 millisecondes), il enregistre les mesures issues des capteurs embarqués.
 - Ces données sont ensuite exploitées pour analyser le comportement de la fusée en vol et valider l'expérience scientifique prévue.
- ➔ Lorsqu'on souhaite réaliser une expérience, il est indispensable de **dissocier la partie autonome**, chargée de l'ouverture du parachute, de la partie embarquée, qui gère la **collecte de données et les expériences**. Il est nécessaire d'avoir une alimentation, des programmes et des composants distincts, car si l'expérience venait à perturber le fonctionnement de la partie autonome, le vol deviendrait impossible.



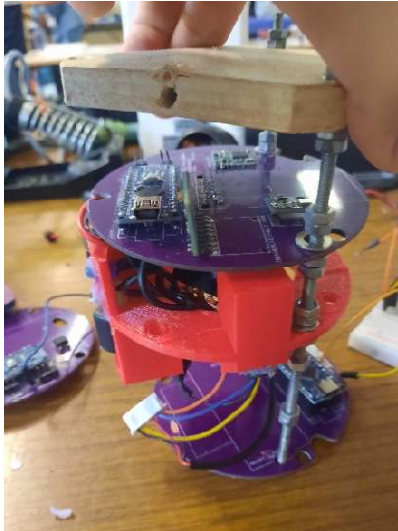
Lorsque le code est terminé on a envoyé le circuit à une entreprise pour qu'elle nous créer des PCB sur mesure. Ça nous a permis d'y voir plus clair et un sertissage propre.



Une fois la partie électronique réalisée on s'est attelé à la réalisation du **support à interrupteur** pour fixer ceux-ci dont voici la forme. On ne le fixe pas directement à la peau de la fusée pour éviter de devoir abimer celle-ci lorsqu'on a besoin d'apporter des modifications à la trappe au code ou de sertir un fil. On l'a fait **circulaire** pour que les interrupteurs soient tout autour de la fusée.

➔ C'est une erreur, lorsqu'on a voulu sertir chaque fils il y en avait tellement partout que l'on s'est emmêlé les pinces et il nous a fallu pas moins d'une journée pour comprendre que si ça ne fonctionnait pas ce n'est pas parce qu'on avait 1 problème mais c'est parce qu'on en avait 3.

On a 3 interrupteurs : deux pour les alimentations des parties autonome et embarquées et un pour le déclenchement du 2^{ème} état sol. La partie à droite permet de fixer la prise jack indispensable pour détecter l'instant où on vole. Nous avons aussi **ajouté des leds pour pouvoir vérifier dans quel état on se trouve**.



Photographie de la structure finale de l'électronique. En haut on a la PCB avec le code de la partie embarquée. Au milieu on a toute la partie interrupteurs, LED et prises jack et en bas nous trouvons la PCB avec le code de la partie autonome.

2.6 La partie embarquée

C'est elle qui transforme chaque expérience en informations exploitables, centralisant les données pour les analyser ensuite.

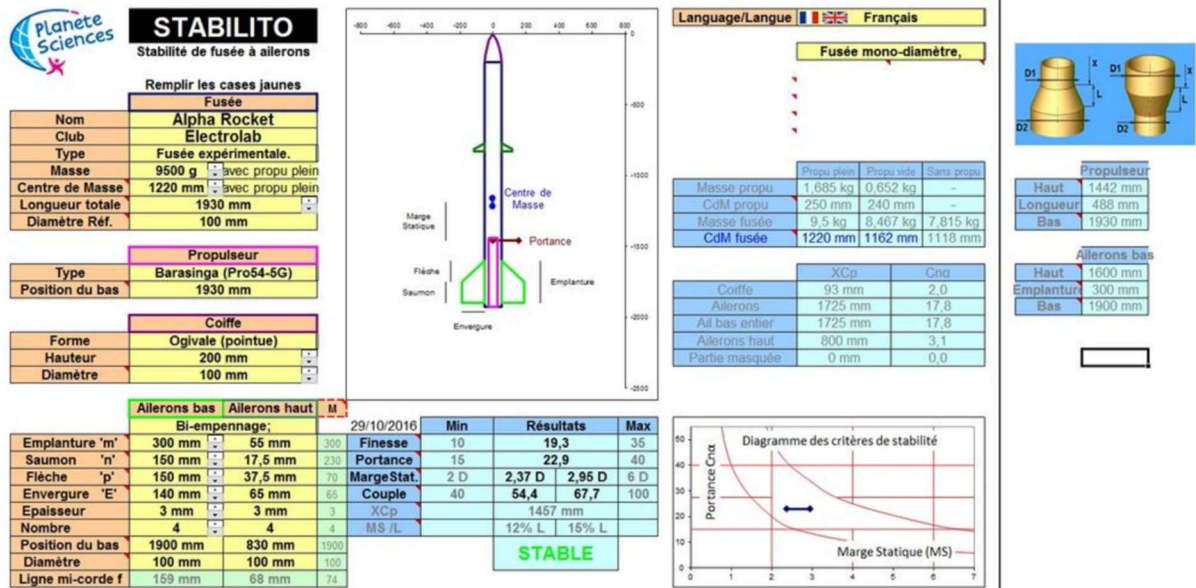
Notre expérience se compose de deux instruments complémentaires : le module LAURA, qui enregistre des données spécifiques liées à l'expérience, et l'accéléromètre, qui mesure les accélérations et mouvements subis pendant le vol. Ensemble, ils permettent de collecter des informations précises et exploitables pour analyser le comportement du système en conditions réelles. L'atterrissage de la fusée a déformé toute la partie électronique ce qui ne nous a pas permis de récupérer ces données.

- ➔ Passer du temps sur la partie embarquée, surtout si la partie autonome n'est pas terminé c'est **prendre le risque de ne pas pouvoir voler**. Il faut faire attention à la gestion du temps.

2.7 Ogive et ailerons

Cette partie joue un rôle clé dans la stabilité et la trajectoire du vol, assurant un comportement sûr et prévisible en plein air.

C'est véritablement la dernière grosse étape avant le décollage, **on pèse on mesure** toute la fusée et on les rentre sur Stab Traj un logiciel qui **dimensionne pour nous l'ogive et les ailerons** et qui nous donne le sommet de la trajectoire et le temps qu'il faudra pour l'atteindre. Les ailerons de Insarianne sont découpés dans un sandwich aluminium composite pour qu'ils soient rigides et léger sont fixé de l'intérieur.



Capture de l'interface Stab Traj, en rentrant nos données à gauche, On obtient le diagramme des critères de stabilité. La fusée est stable si la flèche bleue est, comme dans l'exemple dans le rectangle rouge. On peut ainsi commencer à concevoir les ailerons dans les dimensions que l'on a précisé au départ.

3 Conclusion

Le projet *Insarianne 1.2* marque pour notre équipe bien plus qu'une simple expérience technique : c'est l'aboutissement de deux années de persévérance, de remises en question et de passion commune pour l'exploration spatiale. Chaque étape, du premier croquis à l'assemblage final, nous a permis d'apprendre, de comprendre nos erreurs et de repousser un peu plus nos limites.

Malgré les imprévus (notamment un atterrissage pour le moins mouvementé) la fusée a bel et bien pris son envol. Et au-delà du résultat, c'est toute l'expérience humaine et pédagogique qui en ressort enrichie. Nous avons découvert la rigueur du travail d'équipe, la complexité de la conception technique, mais aussi la satisfaction de voir un projet prendre vie grâce à la collaboration et à la détermination.

Insarianne 1.2 restera pour nous une aventure marquante, une étape fondatrice pour ceux qui voudront, à l'INSA Centre Val de Loire, se lancer dans la conception de leur propre fusée. Si cette expérience nous a appris une chose, c'est que le plus important n'est pas seulement de viser le ciel, mais de tout ce que l'on construit humainement et techniquement avant même le décollage.

Bibliographie :

2.5/2.6 Ressources utiles pour l'électronique

Microship (Réalisateur). (2020). *megaAVR® Data Sheet* [Base de données].

<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf>

INSARIANNE_Main - Wokwi ESP32, STM32, Arduino Simulator. (s. d.).

<https://wokwi.com/projects/387818723478930433>

Newest questions. (s. d.). Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/questions>

Annexe :

Tableau résumant les idées du document

Division	Bonne idée !	Pas idéal...
Equipe	-Equipe de 7 maximum par fusée -S'appuyer sur des rapports de projets déjà fait	
Les idées de départ	-Faire simple au départ -10mm de diamètre : facile de se procurer un tube en PVC	-10mm de diamètre trop grand ($\text{Volume}=\alpha \cdot \text{rayon}^2$) -PVC pour le corps trop lourd -Fusée sans peau trop long et rend les groupe dépendants
Fixation du moteur	-3 bagues en bois pour centrer le moteur, espacées de façon régulière grâce aux ailerons -Utilisation d'un papillon pour placer le moteur et le retenir contre la gravité -Epaulement du moteur qui viens en butée sur la bague extérieure	
Trappe	-Espace de fixation du parachute à la fusée -Trouver un système de crémaillère différent	-Impression d'une pièce dans le sens de la poussée -Le PLA pour de petites pièces n'est pas assez solide
Parachute	-Ancien parachute militaire miniaturisé retrouvé intact	
Electronique	-S'inspirer ou recopier ce qui a été déjà fait -2 systèmes complètement différents pour les programmes embarqué et autonome	-Imprimer un support à interrupteur circulaire -le PLA pour les petites pièces n'est pas assez solide
Système embarqué		-Trop de temps passé en amont -Aucun résultat d'expérience les cartes étaient détruites
Ogive & ailerons	-Impression ogive en PLA (prend du temps mais ça tien) -fixation des ailerons à l'intérieur de la fusée	