



Document de fin de projet

YPSOLLUX_C'SPACE 2022

**CAUTILLO ANGELA, HAMDAD LUDMILA,
MOREL BENJAMIN**



RÉSUMÉ

YPSOLLUX est une mini fusée ayant pour but de réaliser les expériences suivantes :

- enregistrement des données de vol (altitude, vitesse, accélérations)
- détection du décollage par capteur à effet hall (en parallèle du jack)
- vérification des conditions de température troposphériques (chute de 6.5°C par km)
- déploiement du parachute à l'apogée.

Il s'agit du premier projet lancé par chacun des membres du groupe, le but était donc également de gagner en expérience pour d'éventuels projets futurs.

Image 1: YPSOLLUX sortant de la rampe de lancement



SOMMAIRE

- 01** INTRODUCTION
- 02** DESCRIPTION MÉCANIQUE
- 03** DESCRIPTION ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE
- 04** EXPÉRIENCES
- 05** RÉSULTATS
- 06** CONCLUSION
- 07** REMERCIEMENTS
- XX** ANNEXE EN PIECE JOINTE

INTRODUCTION

Notre projet a été réalisé dans le cadre de notre club ELISA SPACE, rattaché à l'école d'ingénieurs ELISA Aerospace au sein de laquelle nous sommes étudiants. Le club n'avait effectué que peu de lancements au par avant. Nous étions donc cette année en plein développement de celui-ci.

Le projet YPSOLLUX es la fusion de deux projets YPSOMETRO et POLLUX. En effet, les deux projets étant similaires et ayant tous deux faits face à des abandons et par conséquent des manques de membres, cela s'est avéré indispensable à leur réalisation. Il a donc été décidé de garder et adapter l'électronique et le système de récupération de POLLUX qui étaient au point, moyennant le rajout de l'expérience liée au capteur à effet HALL. Le reste de la structure est issu du projet YPSOMETRO (tube, coiffe...). Finalement, la répartition des tâches fut la suivante :

Angela	Ludmila	Benjamin
• gestion de projet		• supervision du matériel
• câblage et programmation de l'électronique		
• conception 3d et impression • assemblage et usage	• usinage et assemblage • ajustement des impressions 3D	• usinage

Étant donné les difficultés liées au manque de membres dans le projet, l'organisation du projet a été difficile. Nous avons dû optimiser la répartition en fonction des compétences de chacun. Ainsi, Angela qui connaissait le mieux le projet, s'est occupée de guider les autres membres dans la réalisation de ce dernier. Ainsi, les tâches ont été déléguées de manière séquentielle, suivant l'avancement du projet. Le plus souvent, seules les informations essentielles à la tâche étaient communiquées pour plus de simplicité lors de l'exécution. L'idée du projet POLLUX est née de la volonté de lancer une première mini fusée pour gagner en expérience. Ainsi, les expériences choisies sont plutôt classiques puisqu'elles reviennent à un enregistrement de la trajectoire. YPSOMETRO est né de la même volonté, avec un peu plus d'originalité dans les expériences envisagées (charge utile modélisée par un œuf, détection du décollage par laser, puis effet hall...).

II- DESCRIPTION MÉCANIQUE

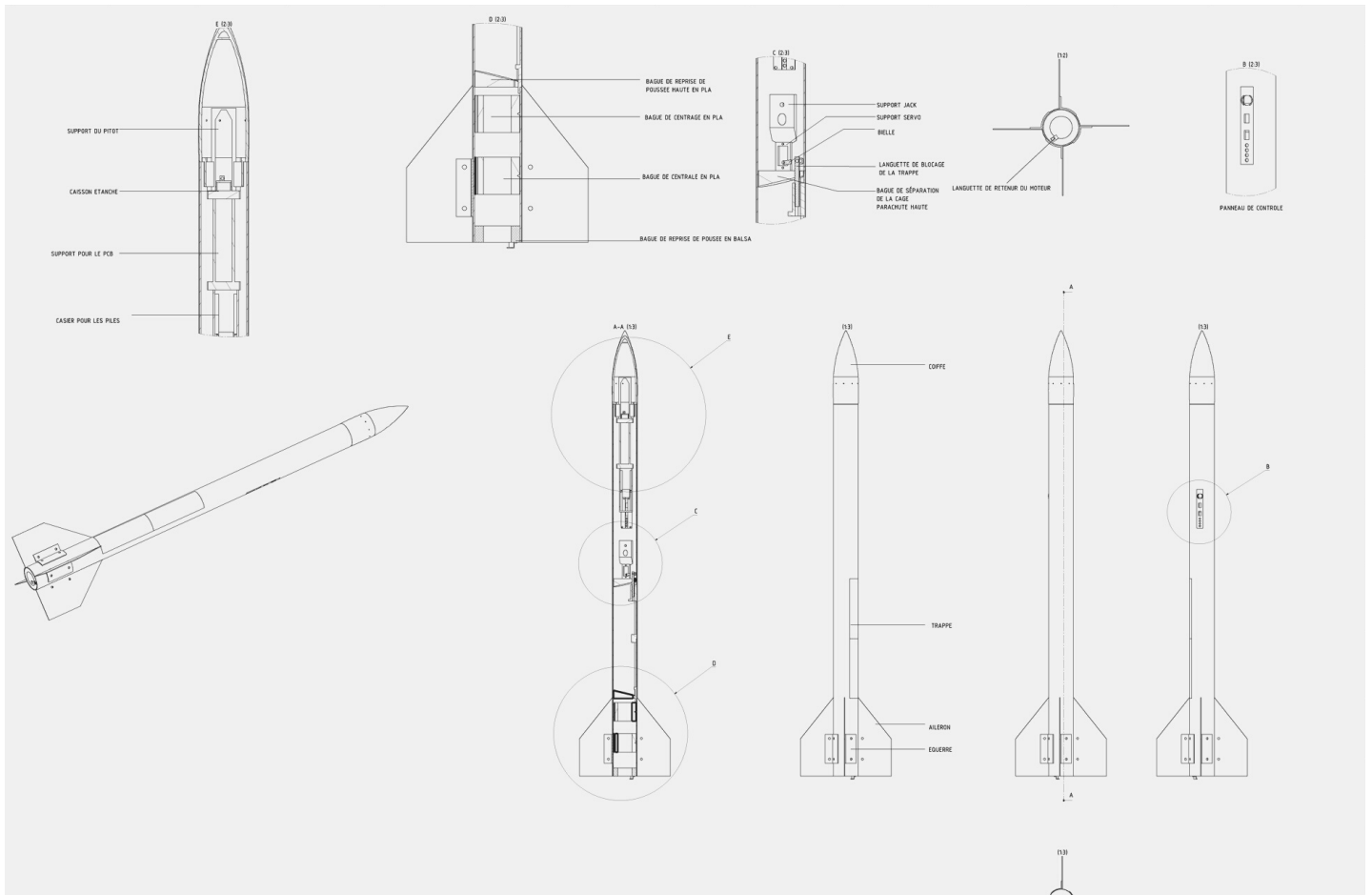


Image 2: Plan détaillé d'YPSOLLUX (cf Annexe)

YPSOLLUX est composée d'un tube en aluminium de longueur 90cm, diamètre extérieur 60mm, épaisseur 3mm faisant office de peau porteuse.

Le plan détaillé de
la mini fusée et son
stabtraj se
trouvent en
annexe.

La coiffe imprimée en PLA mesure cm et soutient l'électronique (hors servomoteur, prise Jack et panneau de contrôle).

De haut en bas:

- support du pitot avec deux boîtiers étanches;
- support du PCB;
- support des batteries avec des encoches pour laisser passer les fils.

L'électronique vient se visser à la coiffe via des inserts au niveau du système de glissière (entouré en bleu).

On aperçoit également le boîtier de contrôle imprimé en 3D qui se fixe au tube en aluminium via des vis et inserts. Il contient de haut en bas des emplacements pour:

- un capteur à effet hall;
- un interrupteur;
- un deuxième interrupteur;
- quatre LEDS (seules trois nous servent finalement).

Deux bagues imprimées en PLA viennent isoler la case parachute. Celle du haut permet le glissement d'une languette venant fixer/libérer la trappe, celle du bas sert de reprise de poussée du haut du moteur.

En dessous viennent se fixer deux/trois ? bagues de centrages en PLA et une bague de reprise de poussée en balsa tout en bas.

Les ailerons, fixés par des charnières et de la résine époxy, sont en aluminium également.

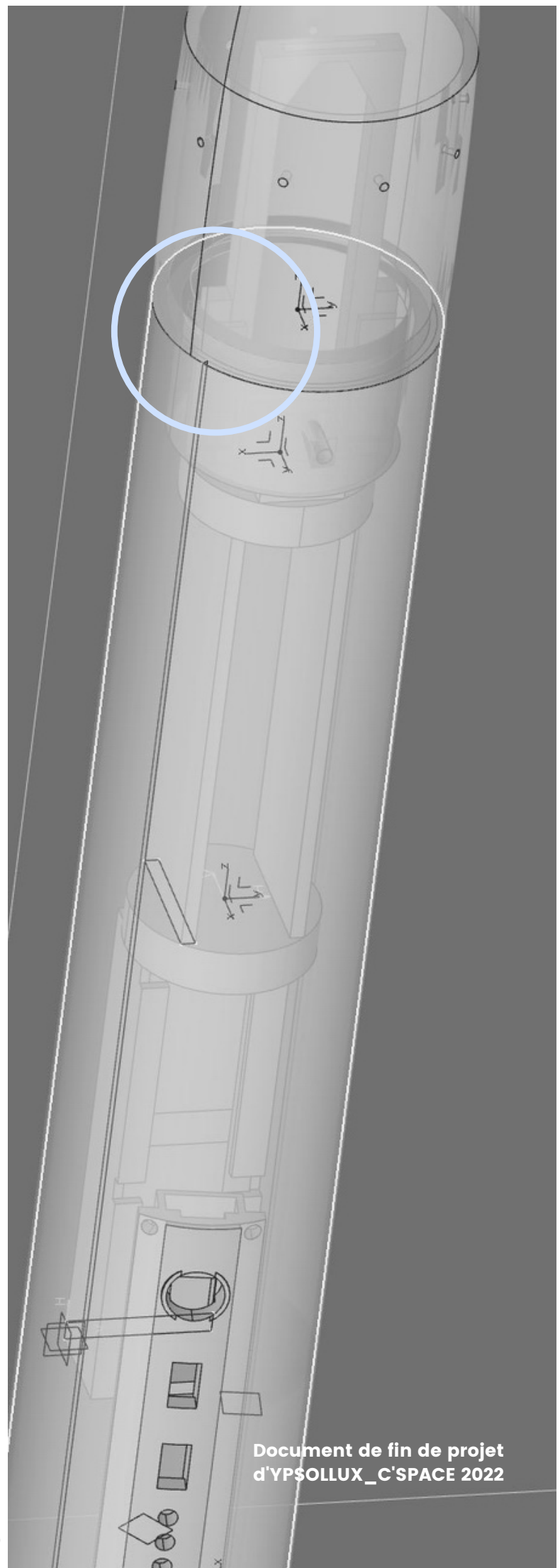


Image 3: Capture d'écran du fichier 3D d'YPSOLLUX (partie coiffe)

Deux bagues imprimées en PLA viennent isoler la case parachute. Celle du haut permet le glissement d'une languette venant fixer/libérer la trappe, celle du bas sert de reprise de poussée du haut du moteur.

Sur la bague du haut vient se fixer un servomoteur. Le bras de ce-dernier est relié à la languette via une bielle. Ainsi, quand il pivote, la languette coulisse dans son emplacement, venant bloquer ou débloquer la trappe, comme montré sur les images ci-contre.

Les bagues sont équipées de trois inserts afin de les visser au tube en aluminium (matérialisés ici par les trous visibles sur les pièces).

De la trappe dépasse une petite languette qui se place comme exposé sur l'image ci-dessous. Elle permet de faire pivoter la trappe lorsqu'elle est libérée par le dessus, et de la coincer autrement.

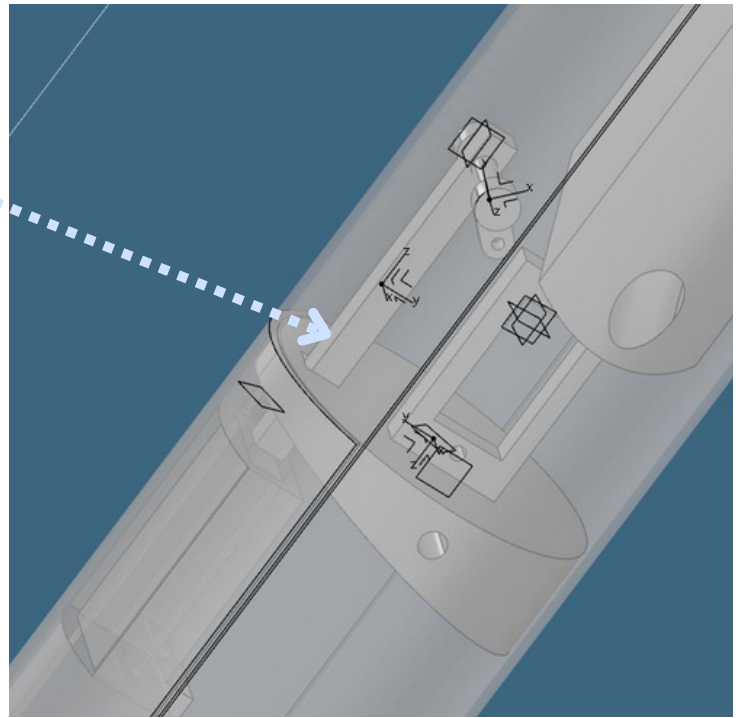


Image 4: Capture d'écran du fichier 3D d'YPSOLLUX (partie bague de séparation haute, languette levée)

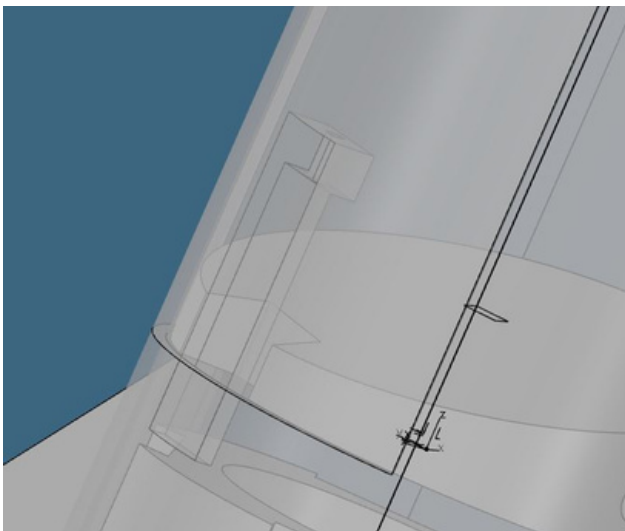


Image 5: Capture d'écran du fichier 3D d'YPSOLLUX (partie bague de séparation basse)

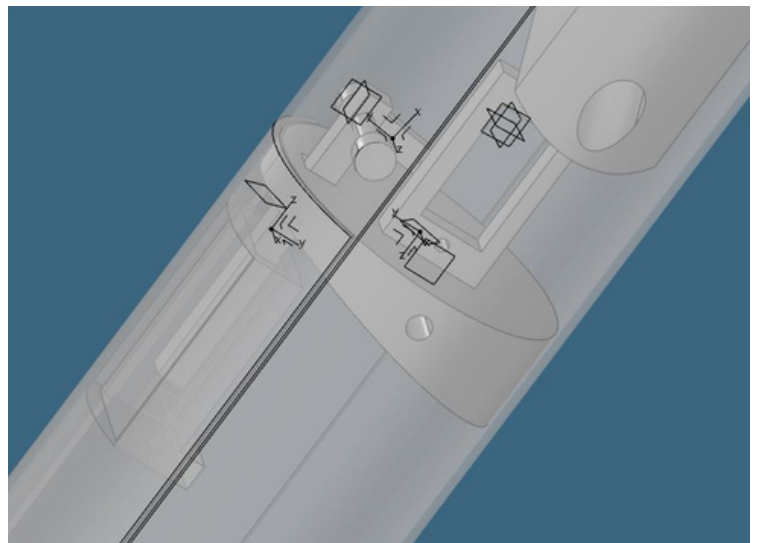
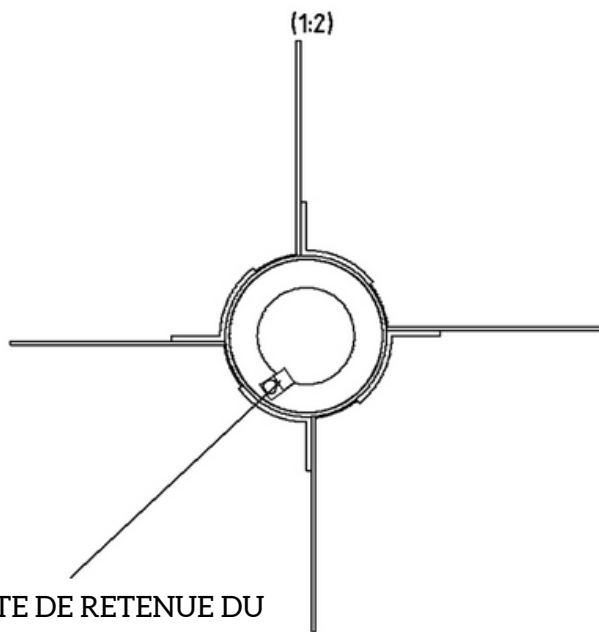


Image 6: Capture d'écran du fichier 3D d'YPSOLLUX (partie bague de séparation haute, languette baissée)

En dessous viennent se fixer deux bagues de centrages en PLA et une bague de reprise de poussée en balsa tout en bas.

Les ailerons, fixés par des charnières et de la résine époxy, sont en aluminium également.

Le moteur est fixé par le bas par une petite languette fixée par une vis dans la bague en balsa, telle que montré ci-dessous.



LANGUETTE DE RETENUE DU
MOTEUR

Image 8: Capture d'écran du plan d'YPSOLLUX (vue du dessous)

Les plans détaillés des pièces imprimées en 3D sont en annexe. La géométrie du tube et des ailerons est disponible sur le stabtraj en annexe également. Le plan d'Yspollux est également disponible en annexe. Certains éléments ayant été placés arbitrairement, il n'est pas exact à 100% mais permet un entendement plus que satisfaisant de l'emplacement des composants dans la mini fusée. Les vis ne figurent pas non plus, ainsi que les trous leurs correspondant sur le tube, par manque d'intérêt par rapport au temps de travail impliqué.

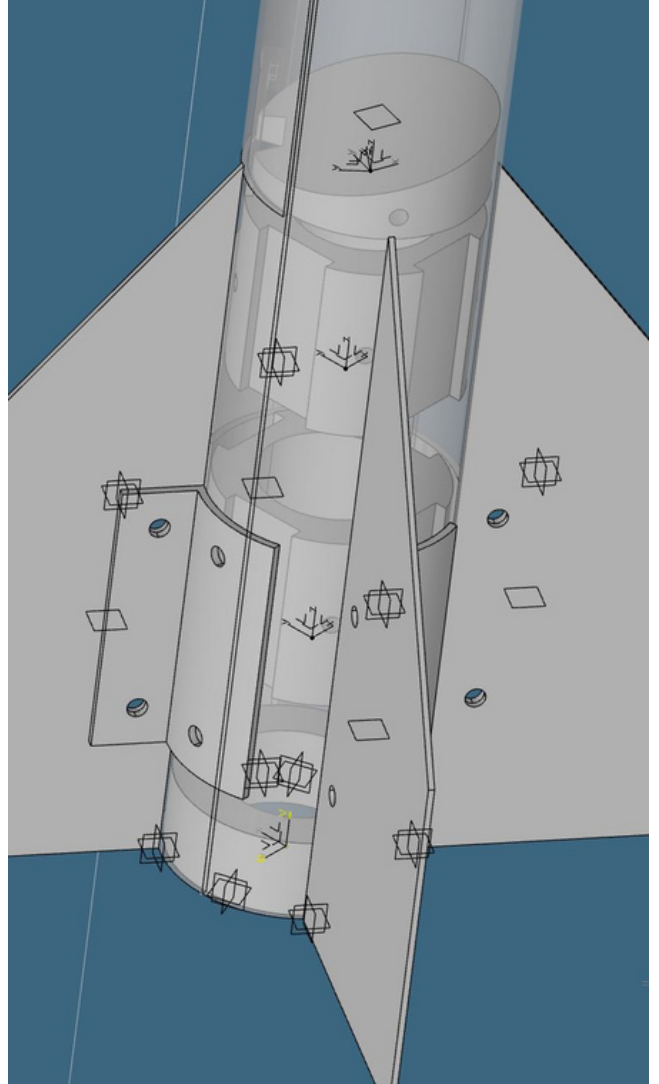


Image 7: Capture d'écran du fichier 3D d'YPSOLLUX
(partie moteur)

III- DESCRIPTION ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE

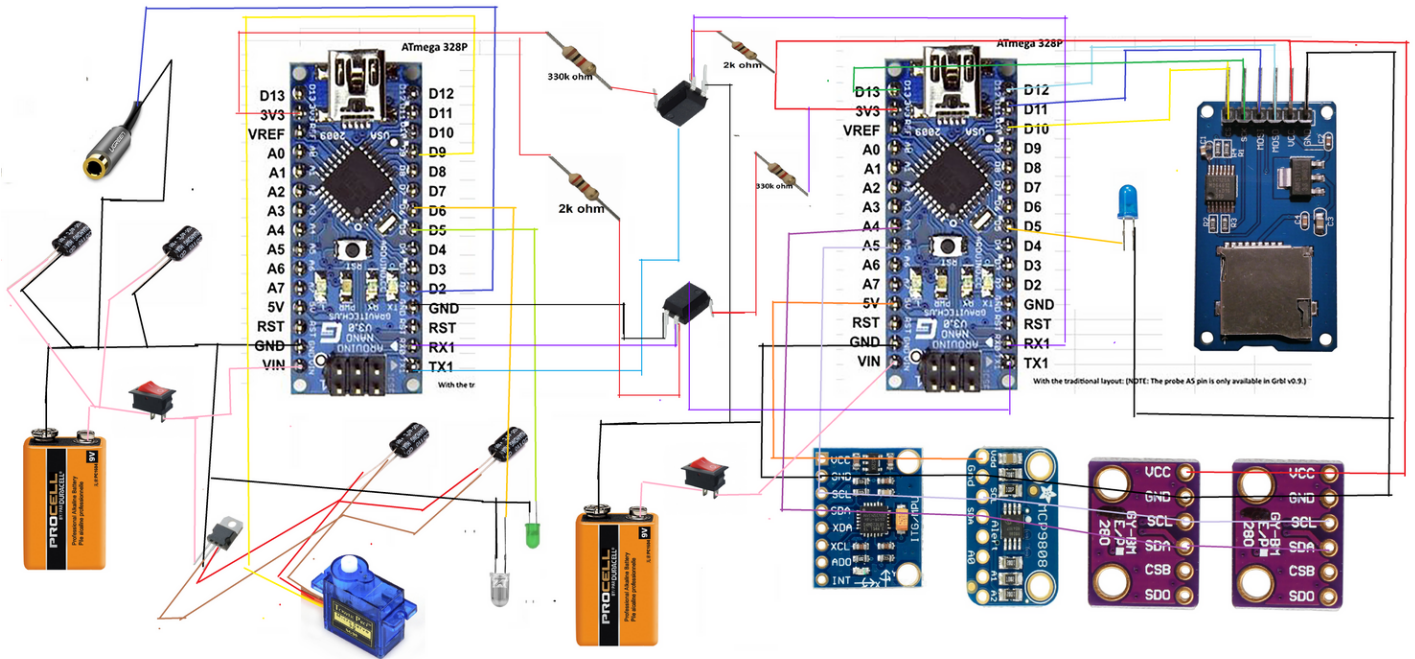


Image 9: Composants et câblages

La première carte Arduino nano gère le système de récupération. Lorsque le Jack est arraché, on observe un échelon de tension au bornes du pin auquel il est relié. On détecte ainsi le décollage. À partir de ce moment, on déclenche une minuterie. Lorsque l'on arrive au début de notre fenêtre de déploiement du parachute (6s à 8s), on lit la valeur du booléen envoyé par la carte expérience (0 ou 1 lors de la détection de l'apogée). Si l'apogée est détectée, le déploiement du parachute s'effectue. Autrement, il s'effectue à la fin de la fenêtre de tir (au bout de la 8e seconde après décollage). On renvoie un booléen vers la carte expérience pour savoir quel scénario s'est déroulé.

La deuxième carte Arduino nano est chargée d'enregistrer les données des capteurs sur une carte micro SD et de communiquer la détection d'apogée à l'autre carte. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 9600 bauds.

Chacune des cartes est reliée à une pile 9V. Le servomoteur est également alimenté par la pile de la carte du système de récupération via un régulateur de tension. Des interrupteurs contrôlent l'alimentation ou non depuis ces piles.

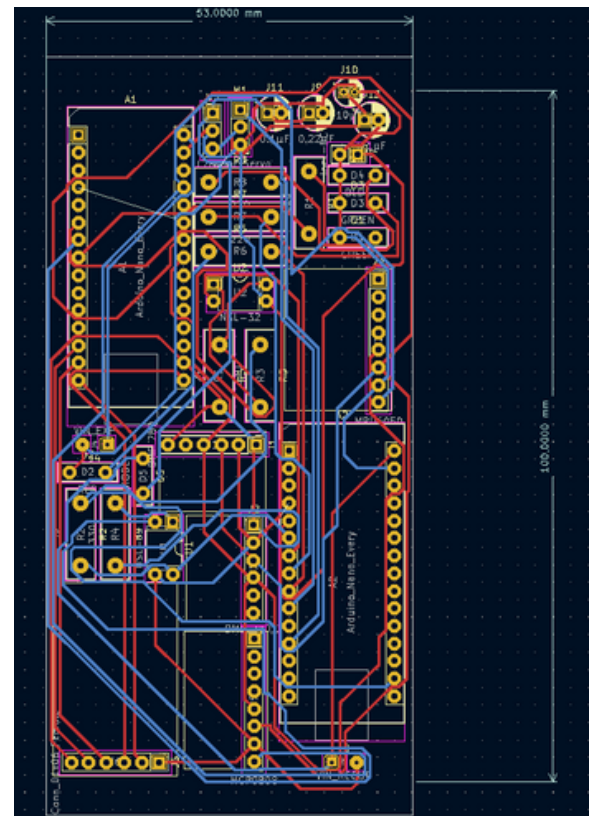
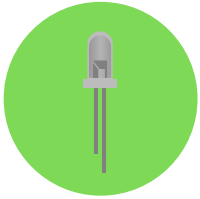


Image 10: plan du PCB

Nous avons utilisé trois LED afin de connaître l'état de notre système :



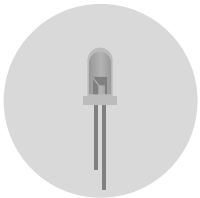
N° 01 - LED VERTE

Elle est allumée si le système de récupération l'est.



N° 02 - LED BLEUE

Elle est allumée si la carte expérience l'est.



N° 03 - LED BLANCHE

Elle clignote si le JACK est débranché avant décollage, s'éteint s'il l'est, s'allume après décollage.

IV- EXPÉRIENCE

Capteur de température

La Troposphère est la plus basse couche de l'atmosphère terrestre, comme elle dépend de la latitude et des saisons, nous estimeront sa limite, dites "tropopause" à 10 KM.

Dans l'aviation civile, on définit que dans cette couche, la température baisse en moyenne de 6,5°C tous les 1000m, atteignant entre -45 et -80°C puis remontant progressivement dans la stratosphère, zone réchauffé par l'absorption des rayons ultraviolets.

Nous allons optimiser la mini-fusée au niveau de l'aérodynamisme qui couplé avec un moteur possédant une impulsion suffisamment longue et puissante nous permettra d'atteindre des attitudes hautes afin de vérifier ce modèle.

plus la fusée volera sur un axe de temps et d'altitude important, plus le traitement de données nous fournira un modèle fiable et précis.

de plus on effectuera un contre modèle par l'étude de la pression selon l'altitude.

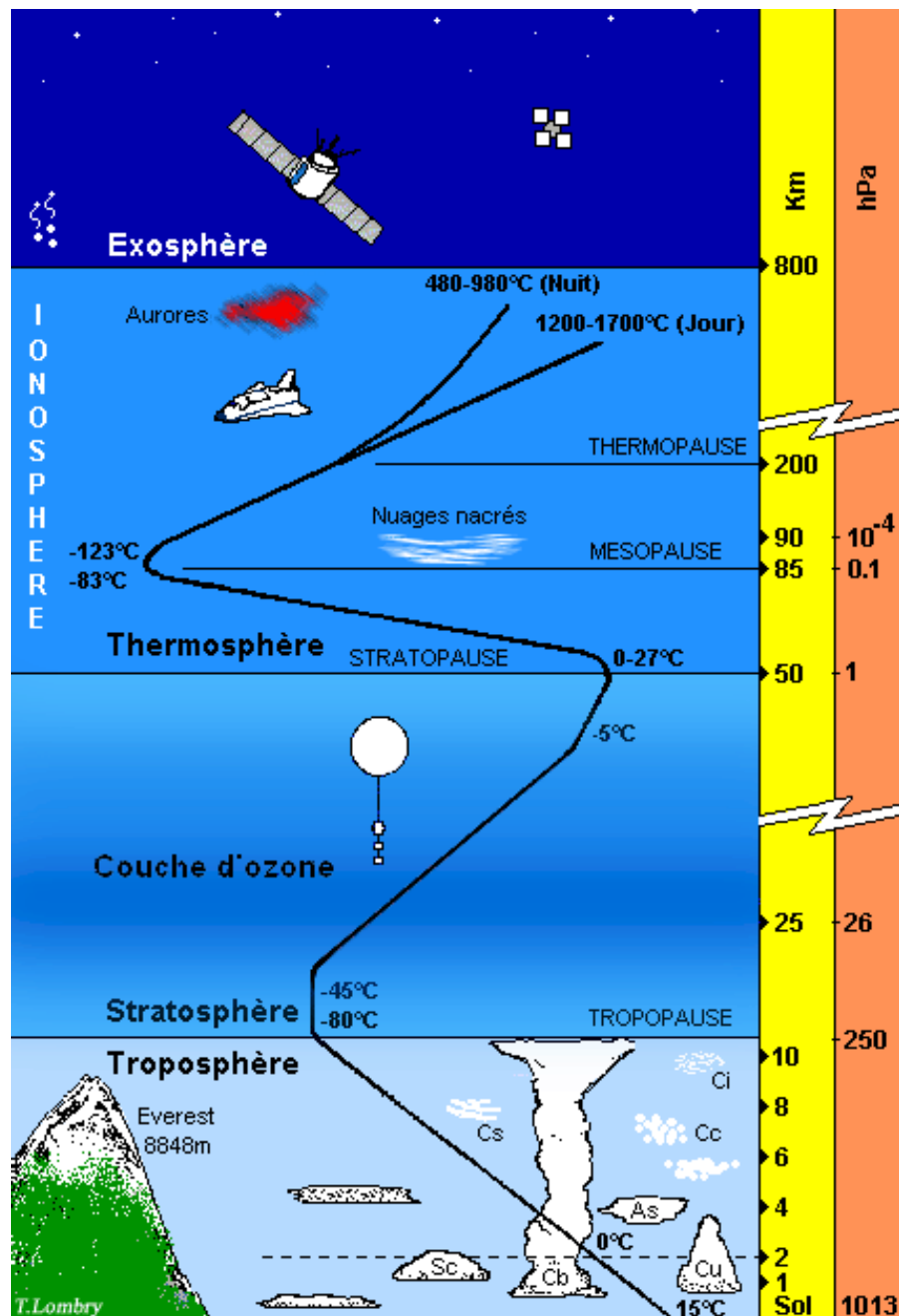


Image 11: Evolution de la température en fonction de l'altitude

IV- EXPÉRIENCE

Pitot, vitesse et altitude

Image 12: Principe du Pitot

Un tube de Pitot est un dispositif permettant de calculer une vitesse à partir d'un différentiel de pression. Pour cela, on mesure la pression environnante (pression statique en a) et la pression liée au déplacement de l'air en mouvement (pression dynamique en b).

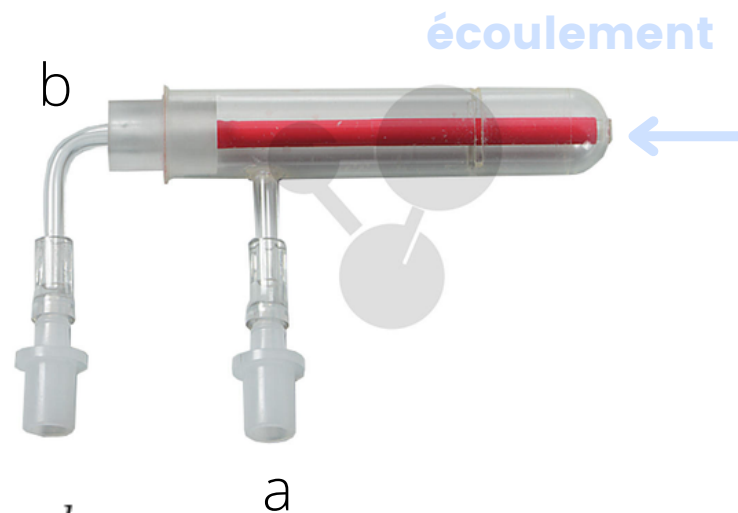
En régime incompressible, on peut mesurer la vitesse en appliquant l'équation de Bernoulli:

$$\frac{1}{2}\rho_a v_a^2 + P_a + \rho_a g h_a = \frac{1}{2}\rho_b v_b^2 + P_b + \rho_b g h_b$$

Avec a et b les deux points de mesure mentionnés précédemment, P la pression, ρ la masse volumique de l'air, v la vitesse, h l'enthalpie et g la constante gravitationnelle. On obtient la formule suivante pour la vitesse:

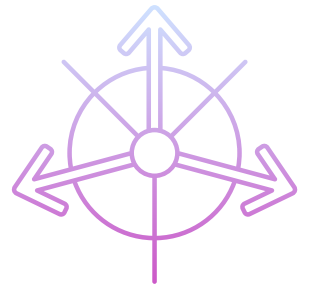
$$v = \sqrt{\frac{2(P_{stagnation} - P_{static})}{\rho}}$$

Nous enregistrons donc les valeurs des deux pressions mesurées avec deux capteurs bme280, et calculons et enregistrons également en vol la vitesse grâce à cette formule, puisque c'est ainsi que nous souhaitons détecter l'apogée. Comme à l'apogée la vitesse est faible, la formule est valable car l'écoulement est incompressible.



IV- EXPÉRIENCE

Accéléromètre et gyromètre



Afin de connaître la trajectoire de notre fusée, nous souhaitons également connaître l'accélération selon les trois axes, ainsi que l'accélération angulaire selon les trois axes. À partir de ces données, on extrait également facilement l'orientation de la fusée. Les mesures sont effectuées grâce à un seul capteur dédié (MPU6050).



V-DÉROULEMENT DU VOL



N° 01 - Jour et heure du vol

21 juillet 2022 après midi



N° 02 - Météo

Température: 31°C

Vue: 10km+

Vent variable à environ 5kt

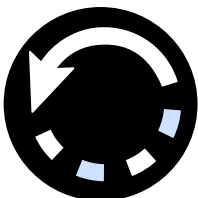
Pas de nuages en dessous de 5000 pieds

Pression atmosphérique: 1020 hPa



N° 03 - Trajectoire

Le vol a été nominal. Ypsollux est monté à plus de 200m d'altitude (estimation à vue d'œil) et le parachute s'est déployé à peine après l'apogée. Lors de l'atterrissage elle a rebondi une fois sur une extrémité avant l'arrêt complet.



N° 04 - Récupération

Ypsollux a atterri à environ 300m du pas de tir et seule la coiffe était un peu endommagée ce qui était attendu compte tenu des éléments structurels.

RÉSULTATS

Le vol a été nominal et le parachute s'est déployé grâce à la minuterie. La carte expérience n'a pas fonctionné dû à une intégration de l'électronique trop peu fiable (un câble cassé/mal branché suffisait à mettre le système entier en panne). Nous n'avons donc pas de données à exploiter mais une voie d'amélioration très bien définie dans l'optique d'un futur projet.

La fusée n'a pas été endommagée, mis à part la coiffe imprimée en deux parties et collée avec une colle mal adaptée.



Image 13: YPSOLLUX en ascension.



Image 14: YPSOLLUX après le vol.

CONCLUSION

Ypsollux est une mini fusée ayant pour expériences un suivi de la trajectoire par divers capteurs, une détection de l'apogée grâce à la vitesse mesurée par un tube Pitot et une détection de décollage annexe par un capteur à effet hall.

Nous n'avons malheureusement pas pu récupérer les données des expériences lors du vol, mais la minuterie et notre système de récupération ont très bien fonctionné.,

Nous retiendrons donc, en ce qui concerne l'électronique, qu'un soin particulier est à apporter à son intégration afin qu'aucun fil ne se casse/débranche facilement en manipulation ou en vol. Notre code d'expérience était construit de manière à ce qu'une défaillance d'un élément entraîne la panne de tout le système. Nous veillerons donc à appliquer une démarche de sûreté de fonctionnement à tous les aspects de nos projets à l'avenir, afin de ne plus reproduire ce type d'erreurs.

Nous veillerons également à bien délimiter tous les éléments du projet dès le début, afin de ne pas devoir modifier des éléments une fois que l'on souhaite les assembler.

Enfin, en ce qui concerne l'organisation, il nous a manqué une communication et un leadership clairs., bien que nous ayons tout de même réussi à fonctionner de manière satisfaisante.

Pour les années à venir, il nous faudrait la mise en place d'une hiérarchie claire avec un.e chef.fe de projet compétent.e, et une planification claire dès le début du projet.

Seule une membre souhaite relancer l'année prochaine. Son but sera de reconduire les expériences d'Ypsollux, sur une fusée à structure interne portante et peau en epoxy et fibre de verre, largage d'une charge utile et déploiement du système de récupération par la coiffe, qui consisterait en une hélice de Vinci si les tests à échelle réduite sont suffisamment concluants pour que cela soit accepté comme expérience.



Image 15: hélice de De Vinci

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre club ELISA SPACE qui nous a beaucoup aidé dans la réalisation de ce projet, notamment son président Aurélien ATTARD. Nous remercions également Planètes sciences et ses bénévoles qui ont rendu possible ce C'Space 2022 et nous permettent de partager développer notre passion. Nous avons une pensée particulière envers Alicia qui lors de la RCE 3 a cru en notre projet et en notre capacité de le mener à bien.