

# CIRRUS, Programme de Recherche & Développement d'une fusée-sonde capable de récupération autonome

## FEUILLE DE ROUTE





## L'OR NOIR DE l'aérospatiale amateur

Avec la récente pénurie de moteurs solides et la flambée de leurs prix, il est devenu de plus en plus compliqué de se reposer sur une solution commerciale. Contrôler son approvisionnement en termes de propulsion c'est maîtriser la courbe de poussée de son moteur, sa toxicité et sa dangerosité, le tout en accord avec les réglementations française et européenne.



### 2 Contrôle avancé

agir sur l'attitude et la position de la fusée, de façon autonome

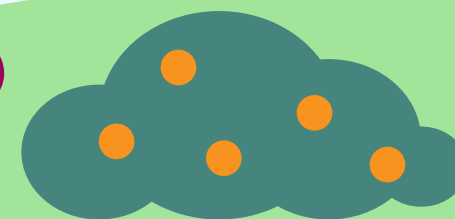
### 1 Prototypage numérique

pièces composites, cartes électroniques et usinages multi-axes sont au programme

4

### Fusée réutilisable

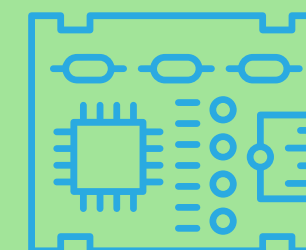
capable d'atterrir sans parachute et apte à re-voler en moins de 6h



### Moteurs réallumables

moteurs hybrides ou bi-fluides capables de se rallumer plusieurs fois

3



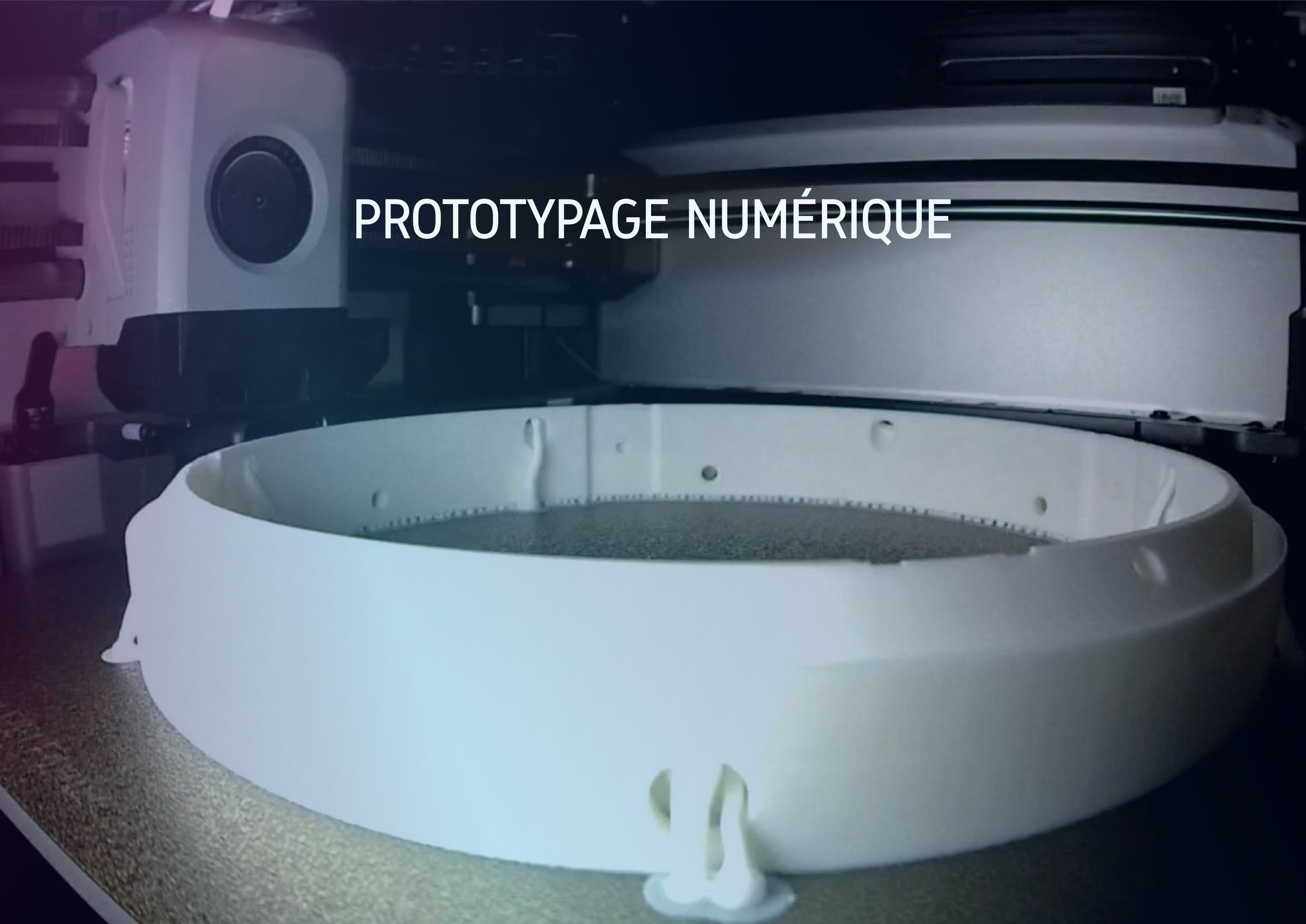
## DES MACHINES qui en construisent d'autres

Il y a un recouvrement non négligeable entre les machines nécessaires pour créer une fusée et celles utiles pour développer d'autres machines, fournir son atelier ou simplement mettre au point de nouveaux véhicules. Etre à l'origine des machines qu'on utilise, c'est en contrôler la qualité, la performance, en maîtriser la maintenance et bien souvent réduire ses coûts.





# PROTOTYPAGE NUMÉRIQUE





1



## Enrouleuse Filamentaire

Mécanique | Electronique | Logiciel | Composites | Chimie | Modélisation

Une enrouleuse filamentaire est une Machine Outil à Commande Numérique utilisée pour créer des tubes composites aux surfaces de convexité positive ou nulle. Un filament de matériau (fibre de carbone, de verre, aramide) va être déroulé avec une certaine tension autour d'une matrice qui donnera sa forme au tube. En faisant varier l'angle d'enroulement, l'arrangement selon la couche et le nombre de couches, on obtient un tube très léger et résistant. Bien plus qu'avec une simple lamination.

L'enrouleuse filamentaire devra être une sorte de chariot capable de se déplacer selon un axe, dévidant une ou plusieurs bobines de filament avec une certaine tension, réglable, autour d'une matrice dont on pourra contrôler la rotation. Le filament devra être imbibé de résine poly-époxyde dans le chariot avant de se déposer sur la matrice.

Cette machine nous permettra de faire tous nos tubes pour les fusées, qu'importe leur taille en réduisant leur coûts et en améliorant la résistance et la reproductibilité. Ses tubes pourront aussi être utilisés comme renforts pour le banc de test ou simplement vendus pour générer des revenus supplémentaires au programme.

Priorité : 1 | Défi : 3

## Placeuse CMS

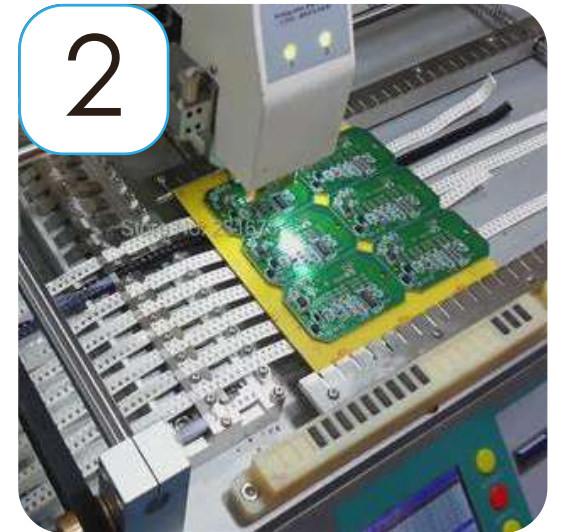
Mécanique | Electronique | Logiciel | CAO électronique

Une placeuse CMS est une Machine Outil à Commande Numérique utilisée pour automatiser l'assemblage de composants électroniques sur des cartes de circuits imprimés. Les composants sont déplacés d'un emplacement de stockage à un leur emplacement sur la carte à une vitesse et avec une précision élevées grâce à un système de bras robotisés. La placeuse CMS permet un placement très précis des composants, que ce soit pour des prototypes ou des séries de production, tout en assurant un contrôle de la qualité des assemblages.

Cette machine devra être capable de positionner une grande variété de composants sur les PCB, tout en gérant des vitesses de placement élevées et un contrôle strict des paramètres tels que l'alignement et la pression appliquée. L'interface de commande devra être flexible et offrir des options de personnalisation pour s'adapter aux spécifications des projets. De plus, elle devra intégrer un système de vision pour vérifier la précision du placement des composants et éviter les erreurs d'assemblage.

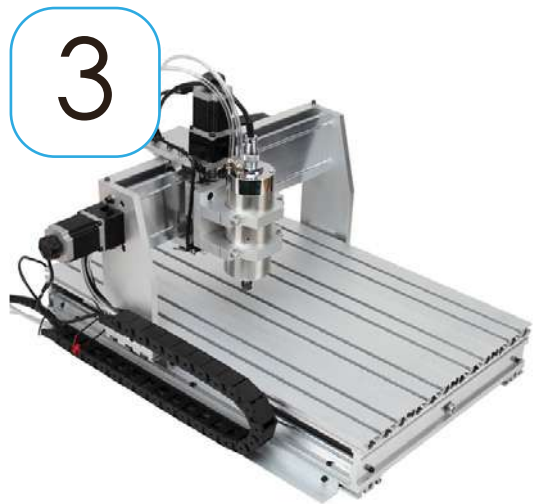
Cette placeuse CMS deviendra un outil indispensable pour l'assemblage des circuits électroniques nécessaires aux systèmes de contrôle, de communication et de gestion énergétique des fusées. Les cartes électroniques produites pourront également être utilisées dans d'autres projets et machines.

2



Priorité : 2 | Défi : 2

3



## Fraiseuse 3 axes

Mécanique | Electronique | Logiciel | CAO | CAM

Une fraiseuse 3 axes est une Machine Outil à Commande Numérique utilisée pour l'usinage précis de pièces en métal, en composite ou en plastique. Grâce à un mouvement contrôlé selon trois axes, elle permet d'usiner des formes complexes avec une grande répétabilité. Que ce soit pour du fraisage, du perçage ou du surfacage, cette machine garantit des finitions de haute qualité et une excellente précision dimensionnelle.

Cette fraiseuse devra être capable de travailler une large gamme de matériaux avec différentes stratégies d'usinage. Son châssis devra être rigide pour minimiser les vibrations et assurer une bonne stabilité. Son interface de commande devra être intuitive, permettant le chargement de programmes générés par FAO et l'ajustement des paramètres d'usinage en temps réel. Elle devra également disposer d'un système de refroidissement efficace et d'une broche adaptée aux exigences de vitesse et de couple des différents matériaux.

Cette fraiseuse 3 axes jouera un rôle clé dans la fabrication des pièces structurales et mécaniques précise comme les bagues. Elle permettra d'usiner des supports, des fixations et des composants sur mesure pour les systèmes de propulsion, les bancs de test et les outillages spécifiques. Bien qu'achetable, faire cette machine nous même nous permettra de l'adapter facilement à nos besoin en plus de servir de formation pour d'autres machines plus complexes.

Priorité : 2 | Défi : 3

4



## Etuve de polymérisation

Electronique | Logiciel | Composites | Chimie

Une étuve de polymérisation est un équipement à commande numérique utilisée pour durcir des matériaux composites imprégnés de résine en contrôlant précisément la température et le temps de cuisson. En maintenant une chaleur homogène et stable, elle permet d'optimiser les propriétés mécaniques des pièces, assurant une excellente résistance et une grande reproductibilité. Cette technique est indispensable pour la fabrication de structures légères et robustes, notamment dans l'aérospatiale.

Cette étuve devra être capable d'atteindre et de maintenir des températures spécifiques selon les besoins des résines utilisées. Elle devra être équipée d'un système de circulation d'air pour garantir une répartition uniforme de la chaleur et d'un contrôle précis des paramètres de polymérisation via une interface de commande. Un système d'enregistrement des cycles de cuisson sera nécessaire pour assurer la traçabilité et le respect des protocoles de fabrication. De plus, l'étuve devra pouvoir accueillir des pièces de différentes tailles, tout en optimisant la consommation énergétique.

Cette étuve de polymérisation sera essentielle pour fabriquer des pièces composites aux performances optimales. Elle permettra de polymériser des tubes enroulés filamenteux, des structures de fuselage ou encore des pièces de support, garantissant un gain de masse et une résistance accrue. Nos besoins étant très spécifiques autant la créer nous même.

Priorité :

1

Défi :

1

## Fraiseuse à axe rotatif

Mécanique | Electronique | Logiciel | CAO | CAM

Une fraiseuse à axe rotatif est une machine-outil à commande numérique conçue pour l'usinage précis de pièces cylindriques ou tubulaires, permettant de réaliser des découpes et des gravures sur toute la circonférence de l'objet. En ajoutant (ou substituant) un quatrième axe de rotation (axe A) aux trois axes linéaires traditionnels (X, Y, Z), cette machine offre la possibilité de travailler sur des surfaces radiales, ce qui est essentiel pour nos applications.

Cette fraiseuse devra être équipée d'un mandrin rotatif capable de maintenir fermement des pièces de différentes dimensions, tout en assurant une rotation précise et contrôlée. La broche devra offrir une vitesse et une puissance adaptées aux matériaux usinés, qu'il s'agisse de métaux, de composites ou de plastiques. Un système de refroidissement efficace sera nécessaire pour éviter la surchauffe ou la dispersion de particules fines lors des opérations intensives. L'interface de commande numérique devra permettre une programmation aisée des trajectoires complexes, incluant la synchronisation des mouvements linéaires et rotatifs.

Une fraiseuse à axe rotatif est un atout majeur. Elle permettra de réaliser des découpes radiales précises sur le corps des fusées, telles que des rainures pour le passage de câblages, des ouvertures pour des capteurs ou des motifs spécifiques pour l'allègement structurel.

5



Priorité :

4

Défi :

3



# CONTRÔLE AVANCÉ

Cirrus  
Air ESIEA

03





# Système de positionnement

Electronique | Logiciel | Temps Réel | Ondes | Fusion de capteurs

Le système de positionnement avancé est un dispositif électronique qui combine les fonctionnalités d'une unité de mesure inertielle (IMU) avec la fusion de capteurs pour fournir des données précises sur la position, l'orientation et le mouvement d'un objet en temps réel. En intégrant des capteurs tels que des accéléromètres, des gyromètres, des magnétomètres et des récepteurs GNSS, ce système améliore la précision et la fiabilité du positionnement, même dans des environnements où les signaux satellites sont limités ou obstrués.

Ce système devra être capable de traiter et de fusionner les données provenant de multiples capteurs en temps réel, en utilisant des algorithmes avancés pour compenser les dérives et les imprécisions individuelles de chaque capteur. Il devra également être résistant aux conditions environnementales extrêmes, telles que les vibrations, les variations de température et les chocs mécaniques, pour garantir une performance optimale lors des phases critiques de la mission. Une interface de communication robuste permettra l'intégration transparente du système avec les autres composants électroniques de la fusée, assurant une transmission fiable des données de positionnement aux systèmes de contrôle et de navigation.

Il permettra de surveiller en temps réel la trajectoire et l'attitude de la fusée, facilitant ainsi la récupération.

Priorité : 1 | Défi : 3

## Contrôle actif du roulis

Mécanique | Logiciel | CAO | FAO | Pneumatique

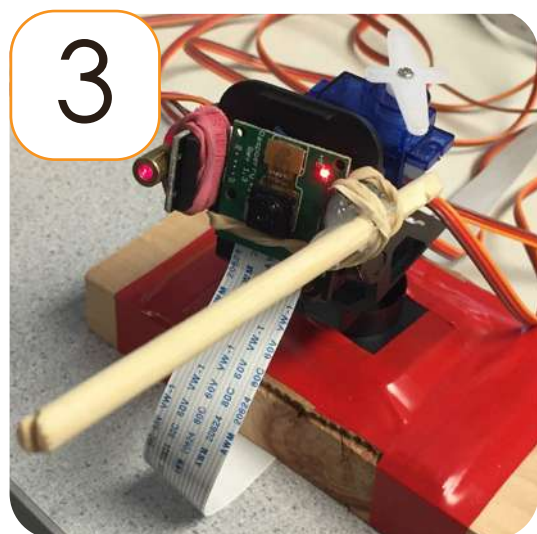
Le système de contrôle actif du roulis est un dispositif essentiel pour la stabilisation en rotation des fusées autour de leur axe longitudinal. En surveillant et en ajustant continuellement le mouvement de roulis, ce système assure une trajectoire stable et prévisible, facilitant entre autre la collecte de données visuelles en vol.

Ce système doit être capable de détecter avec précision les variations de roulis à l'aide de capteurs inertiels. Les données recueillies sont traitées en temps réel par des algorithmes qui déterminent les corrections nécessaires. Les ajustements sont ensuite effectués via des actionneurs spécifiques, comme des propulseurs latéraux, qui modifient la distribution des forces pour contrer les rotations indésirables. L'ensemble du système doit être conçu pour réagir rapidement aux perturbations, tout en minimisant la consommation d'énergie et de «carburant».

L'intégration d'un système de contrôle actif du roulis est cruciale. Il garantit la stabilité et la précision de la trajectoire des fusées, permettant des prises de vues exploitables par les algorithmes embarqués.



Priorité : 2 | Défi : 4



## Suivi par tourelle

Mécanique | Electronique | Logiciel | Optique | Ondes

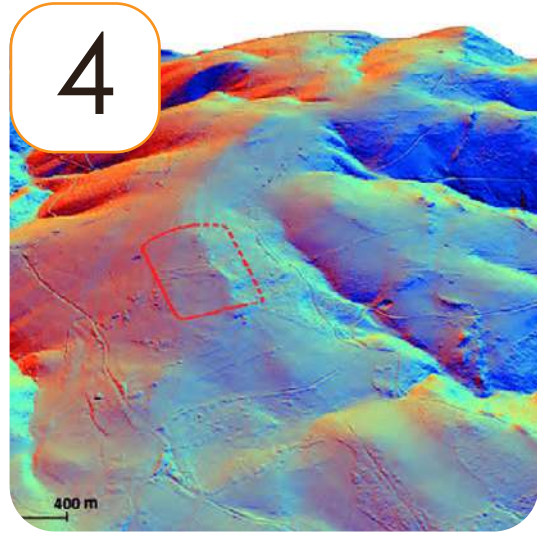
Le système de tourelles de suivi est un dispositif électro-optique motorisé conçu pour suivre automatiquement un objet en mouvement, tel qu'une fusée, en maintenant celui-ci dans son champ de vision. En combinant plusieurs de ces tourelles positionnées stratégiquement autour de la zone de lancement, il est possible de trianguler avec précision la position et la trajectoire de la fusée en temps réel.

Ces tourelles doivent être équipées de capteurs haute résolution, tels que des caméras infrarouges et global shutter, capables de détecter et de suivre des cibles à haute dynamique. La fusion des données provenant de ces capteurs permet d'obtenir une localisation précise de la fusée, même dans des conditions environnementales difficiles. Les systèmes de contrôle doivent être capables de coordonner les mouvements des tourelles pour assurer un suivi fluide et continu de la cible. De plus, une interface de communication robuste est nécessaire pour synchroniser les données entre les différentes tourelles et centraliser les informations pour le calcul en temps réel de la position tridimensionnelle de la fusée.

L'intégration d'un tel système de suivi permettra d'assurer la sécurité et le succès des missions, même en cas de défaillance d'une partie des systèmes embarqués.

Priorité : 3 | Défi : 2

4



## Identification de zones

Electronique | Logiciel | Vision | Chimie | Optique

Le système d'identification des zones d'atterrissage est un dispositif conçu pour analyser en temps réel le relief et la nature du terrain afin de déterminer les sites d'atterrissage les plus appropriés, en évitant notamment les plans d'eau et les surfaces inadaptées. En combinant des capteurs de télédétection, tels que le LiDAR aéroporté, avec des algorithmes de traitement de données géospatiales, ce système offre une cartographie précise du terrain, essentielle pour des opérations d'atterrissage sécurisées.

Ce système doit être capable de collecter des données topographiques détaillées, même dans des environnements complexes ou difficiles d'accès. Le LiDAR aéroporté, par exemple, utilise des impulsions laser pour mesurer avec une grande précision les distances entre l'appareil et le sol, permettant ainsi de créer des modèles numériques du terrain et d'identifier les variations de relief. De plus, l'intégration de capteurs capables de distinguer les différentes natures de surfaces, comme les plans d'eau, est essentielle pour éviter les zones inappropriées. Une interface de communication robuste permettra de transmettre ces informations en temps réel aux systèmes de navigation et de pilotage automatique, facilitant ainsi des décisions éclairées lors des phases critiques d'approche et d'atterrissage.

Priorité : 3 | Défi : 3

## Séparation d'étages

Mécanique | Electronique | CAO

Le système de séparation d'étages de fusée est un mécanisme essentiel qui permet la dissociation contrôlée des différentes sections de la fusée au cours de son ascension. Cette séparation est cruciale pour optimiser les performances du vol, en allégeant la structure et en permettant aux moteurs des étages supérieurs de s'allumer une fois les étages inférieurs épuisés.

Ce système doit assurer une séparation fiable et précise pour éviter toute collision ou déstabilisation de la fusée. Les technologies employées varient selon les conceptions, incluant des systèmes pyrotechniques ou pneumatiques, réduisant ainsi les chocs mécaniques et facilitant la réutilisation des composants.

La maîtrise d'un système de séparation d'étages pourrait s'avérer nécessaire à une récupération non-conventionnelle. Ce système pourra être réutilisé sur d'autres programmes ou permettre d'effectuer des «tests en conditions réelles» à moindre coût.

5



Priorité : 4 | Défi : 3

6



## Redescente contrôlée

Mécanique | Electronique | Logiciel

Le système de redescente contrôlée est un dispositif essentiel pour assurer le retour sécurisé de la fusée ou des charges utiles après leur mission. En intégrant des technologies telles que des parapentes, des hélices motorisées ou le réallumage du moteur, ce système permet de maîtriser la descente et de guider précisément l'atterrissage, facilitant ainsi la récupération et la réutilisation des composants.

Ce système doit être capable de déployer et de contrôler efficacement le dispositif de descente choisi. L'utilisation de parapentes nécessite un mécanisme de déploiement fiable et un système de guidage pour diriger la trajectoire de descente. Les hélices motorisées, quant à elles, requièrent une motorisation électrique intégrée, avec une hélice se repliant automatiquement pour maîtriser la traînée.

Le réallumage des moteurs principaux implique une gestion précise des ergols restants et des systèmes d'allumage pour assurer une poussée contrôlée lors de la phase de descente. Dans tous les cas, des capteurs embarqués et des algorithmes de navigation doivent analyser en temps réel la position, la vitesse et les conditions environnementales pour ajuster la trajectoire et garantir un atterrissage en toute sécurité.

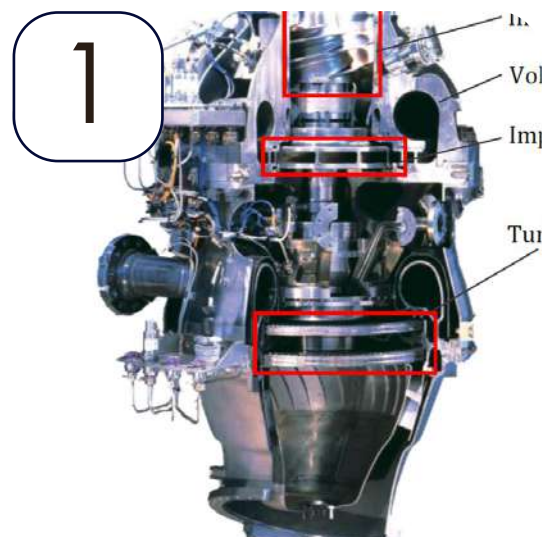
Priorité : 5 | Défi : 4



# MOTEURS RÉALLUMABLES







# Étage Moteur

Mécanique | Pneumatique | CAO | FAO

Un étage moteur constitue le cœur propulsif d'une fusée, intégrant des composants clés tels que la chambre de combustion, les injecteurs et les turbopompes. Ces éléments travaillent en synergie pour assurer une combustion efficace des ergols et générer la poussée nécessaire au vol. Les moteurs à ergols liquides et les moteurs hybrides diffèrent par la nature et la gestion de leurs ergols, mais partagent des principes de fonctionnement similaires.

La chambre de combustion est l'endroit où le carburant et le comburant se mélangent et brûlent pour produire des gaz chauds. Les injecteurs jouent un rôle crucial en pulvérisant les ergols dans la chambre de manière homogène, favorisant une combustion stable et complète. Dans les moteurs à ergols liquides, les deux composants sont stockés sous forme liquide et injectés simultanément. Pour les moteurs hybrides, le carburant est généralement solide, tandis que le comburant est liquide ou gazeux ; Les turbopompes sont des composants essentiels dans les moteurs à ergols liquides, responsables de l'alimentation en ergols sous haute pression vers la chambre de combustion. Elles se composent principalement d'une turbine et d'une ou plusieurs pompes. La turbine est actionnée par une partie des gaz chauds produits, entraînant les pompes qui acheminent le carburant et le comburant.

Priorité : 2 | Défi : 5

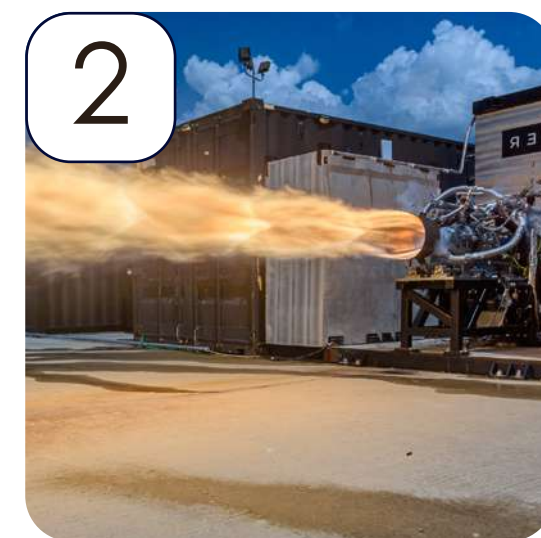
# Banc de test

Mécanique | Electronique | Logiciel | CAO électronique

Un banc de test moteur est une installation essentielle pour évaluer et qualifier les performances des moteurs de fusée avant leur utilisation en conditions réelles. Il permet de simuler les conditions opérationnelles, de mesurer des paramètres critiques tels que la poussée, le débit massique et la stabilité, et d'assurer la fiabilité et la sécurité des moteurs développés.

Ce banc doit être conçu pour résister aux forces générées par le moteur en test, avec une structure capable de supporter la poussée et de canaliser les gaz d'échappement de manière sécurisée. L'intégration de capteurs de force, tels que des cellules de charge multi-axes, est nécessaire pour mesurer précisément la poussée et les forces latérales. Des systèmes de mesure de débit et de pression sont également indispensables pour surveiller les performances du moteur. Les données collectées sont transmises en temps réel à un centre de contrôle pour analyse, permettant d'ajuster les paramètres de conception et d'optimiser les performances du moteur.

Tous nos moteurs devront passer par la case banc de test pour s'assurer de leur fiabilité, leur performances et leur sécurité.



Priorité : 2 | Défi : 2



# Ferme à ergols

Mécanique | Electronique | Logiciel | Pneumatique | Chimie | Composites

La "ferme à ergols" est une installation dédiée à la production partielle et surtout au stockage sécurisé des ergols, les carburants et comburants utilisés pour la propulsion des fusées. Cette infrastructure est cruciale pour garantir un approvisionnement constant en ergols de haute qualité, tout en assurant leur conservation dans des conditions optimales de sécurité et d'efficacité.

La conception d'une telle installation doit répondre à des normes strictes en matière de sécurité et de performance. Les réservoirs de stockage doivent être fabriqués avec des matériaux compatibles avec les propriétés chimiques des ergols, et être équipés de systèmes de contrôle des émissions pour prévenir toute fuite ou contamination. Bien que l'intérêt de produire ses propres ergols soit limité dans un premier temps, c'est l'aspect stockage qui est important. En utilisant des produits du commerce ou des réservoirs COPV faits maison, on réduira drastiquement les coûts de chaque test. L'expérience de ce projet sera reconduit sur la partie stockage des ergols en vol.

Priorité : 5 | Défi : 4



4



## Tuyère orientable

Mécanique | Electronique | Logiciel | FAO

Un système d'orientation de la tuyère est un dispositif essentiel dans les moteurs-fusées, permettant de contrôler la direction de la poussée et, par conséquent, la trajectoire de la fusée. En ajustant l'angle de la tuyère, ce système offre une maîtrise précise de l'orientation du véhicule pendant les différentes phases de vol.

Ce système doit être capable de modifier l'angle de la tuyère en temps réel pour répondre aux commandes de navigation. Plusieurs technologies sont employées pour atteindre cet objectif. Par exemple, le système de contrôle vectoriel de poussée (TVC) utilise des actionneurs pour orienter la tuyère, déviant ainsi le jet de gaz et ajustant la trajectoire du lanceur. Cette méthode est couramment utilisée dans les lanceurs modernes, où des actionneurs hydrauliques ou électriques pivotent la tuyère selon les besoins. Une autre approche implique l'utilisation d'un divergent mobile, où seule la partie terminale de la tuyère est orientable, permettant une déviation du jet de combustion au contact de la paroi interne du divergent. Cette configuration offre une capacité de déviation de poussée améliorée grâce à un champ de pression dissymétrique dans la zone mobile du divergent.

Pour une récupération «optimale» et sans parachute, une tuyère orientable est critique.

Priorité : 4 | Défi : 3

## Refroidissement régénératif

Mécanique | CAO | FAO | Pneumatique

Le refroidissement régénératif est une technique essentielle dans les moteurs-fusées, visant à prévenir la surchauffe des composants critiques tels que la chambre de combustion et la tuyère. Cette méthode utilise le carburant ou l'oxydant comme fluide caloporteur, circulant à travers un réseau de canaux entourant les zones à haute température avant d'être injecté dans la chambre de combustion. Ce processus permet d'absorber la chaleur excessive, protégeant ainsi les matériaux sensibles et améliorant l'efficacité thermique du moteur.

La mise en œuvre du refroidissement régénératif nécessite une conception précise des canaux de circulation pour maximiser le transfert de chaleur tout en minimisant les pertes de pression. Les matériaux utilisés doivent posséder une résistance thermique élevée et une compatibilité chimique avec les ergols employés. Par exemple, des alliages de cuivre ou des composites renforcés sont souvent privilégiés pour leur conductivité thermique et leur robustesse. Les données thermiques et de pression sont continuellement surveillées pour ajuster les paramètres opérationnels en temps réel, assurant une performance optimale du moteur.

C'est une technique qu'il nous faut maîtriser pour rendre nos moteurs performants et réutilisables.



Priorité : 4 | Défi : 3



A serene landscape photograph featuring a calm body of water reflecting a bright, low sun. The sun's reflection is a prominent, vertical, shimmering column of light on the water's surface. The sky is a soft gradient of orange and yellow near the horizon, fading into a pale blue. Silhouetted tree branches frame the top and left sides of the image, adding depth and a sense of being in a natural setting. The overall mood is peaceful and contemplative.

FUSÉE RÉUTILISABLE



1

# Tube transparent radiofréquences

Mécanique | Ondes

Les sections de tubes transparentes aux radiofréquences (RF) sont des composants essentiels dans nos applications, permettant le passage non entravé des ondes électromagnétiques tout en assurant l'intégrité structurelle des systèmes. Ces sections sont particulièrement cruciales pour les systèmes embarqués nécessitant une transmission RF efficace, tels que les antennes internes ou les capteurs de télémétrie.

C'est un prérequis important aux premiers vols testant le système de positionnement, il nécessitera cependant une enrouleuse filamentaire fonctionnelle.

Priorité :

1

Défi :

1

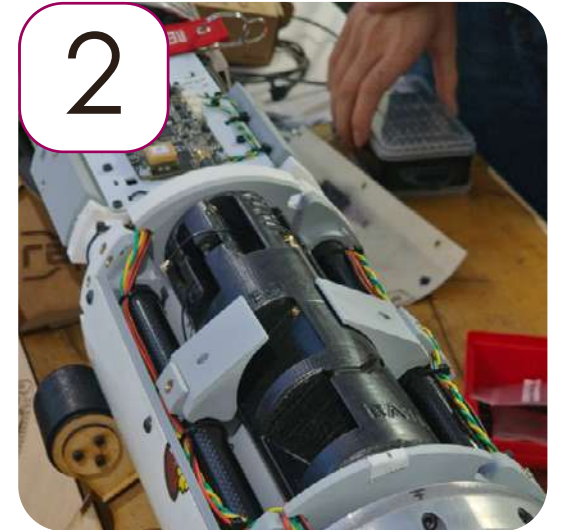
# Hybridation treillis/peau porteuse

Intégration | Mécanique | Electronique

L'hybridation entre une structure en treillis porteur et une peau porteuse dans la conception d'une fusée vise à combiner les avantages de ces deux approches pour optimiser la résistance, la légèreté et faciliter l'intégration des différents systèmes. Cette combinaison permet de créer une structure capable de supporter les charges mécaniques tout en offrant une enveloppe aérodynamique efficace.

La structure en treillis offre des points d'ancrage robustes pour les composants internes tels que les réservoirs de carburant, les systèmes de propulsion et les équipements électroniques. Parallèlement, la peau porteuse assure la protection de ces composants contre les contraintes environnementales externes, telles que les variations de pression et de température, tout en maintenant l'intégrité aérodynamique de l'engin.

2



Priorité :

3

Défi :

3

3

# Structure intelligente

Mécanique | Electronique | Pneumatique | Composites | CAO électronique

L'intégration de capteurs multiples au sein du corps en composite d'une fusée vise à créer une structure intelligente capable de surveiller en temps réel son état et ses performances. Cette approche permet de détecter précocement les anomalies, d'optimiser la maintenance et d'améliorer la sécurité globale des missions.

Capteurs à fibre optique : Ces capteurs sont sensibles aux variations de déformation, de température et de pression. Leur intégration dans les matériaux composites offre une surveillance continue sans ajouter de poids significatif.

Piézocéramiques : Utilisées pour la détection des vibrations et des contraintes, les piézocéramiques peuvent être intégrées dans les structures composites pour fournir des informations sur les charges dynamiques et les éventuelles défaillances.

Ce genre de structure nous permettra de mieux comprendre les efforts subis par nos fusées et de les adapter en conséquences. Afin d'éviter tout biais du survivant et d'estimer la durée de vie de nos systèmes.

Priorité :

4

Défi :

3