# Etagement

Nous avons choisis une architecture tri-étages, avec une propulsion solide pour les deux premiers étages, et une propulsion cryogénique pour le troisième étage. L’optimisation initiale pour l’étagement dans le cas bi-étages nous donnait en effet une masse totale plus de deux fois plus importante que dans le cas tri-étages.

Ensuite, comme nous avons besoin d’une poussée assez conséquente pour le décollage afin de vaincre la traînée, nous avons adopté une propulsion solide pour les étages 1 et 2. Enfin, le troisième étage a été choisi cryogénique pour sa bonne ISP, et parce qu’il est plus précis, ce qui est déterminant dans la dernière phase où l’on finalise l’injection sur l’orbite GTO.

Pour lancer l’optimisation, nous avons dans un premier temps renseigné la charge utile Mcu =«cu» kg, qui est la masse du satellite seul. Ensuite, nous avons rebouclé avec la masse des équipements, et de la coiffe, qui sont des surplus de masse que nous devons transporter. Après rebouclage, nous obtenons Memports =«cuequipements» kg. L’optimisation d’étagement nous donne les masses d’ergols et les masses de structure.

Nous allons maintenant voir en détails le dimensionnement des étages, avec notamment le choix des autres paramètres.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **EP1** | **EP2** | **EP3** |
| **Me (kg)** | «me1» | «me2» | «me3» |
| **Ms (kg)** | «ms1» | «ms2» | «ms3» |
| **Q (kg/s)** | «q11» | «q2» | «q3» |
| **Tc (s)** | «tc1» | «tc2» | «tc3» |
| **Isv (s)** | «isv1» | «isv2» | «isv3» |
| **Section sortie (m²)** | «As1» | «As2» | «As3» |

# Etage 1 : Propulsion

## Type de propulsion

Le premier étage doit permettre de nous arracher de l’attraction terrestre. De plus, la trainée atmosphérique impacte beaucoup les performances du moteur. Il doit donc être très performant. Mais il y a un compromis à trouver entre cette performance et la pression dynamique que l’on atteindra si l’on pousse trop.

Nous avons donc choisis un étage à propulsion solide. De plus, nous avons choisi une tuyère dont le rapport de section est de 10 pour satisfaire les contraintes géométriques. D’après les tables d’Isv en fonction de la section de sortie, nous obtenons un Isv de «isv1» s.

L’optimisation initiale nous donne une masse de structure Ms1=«ms1»kg et une masse d’ergols de Me1=«me1»kg.

Pour satisfaire aux exigences de pression dynamique maximale admissible, nous avons appliqué une loi en deux paliers pour le débit de l’étage 1. Le premier palier est dimensionné de façon à fournir une accélération de «a1» g au décollage, le second de façon à avoir une variation de poussée entre les deux paliers de 30%. Cette importante variation est nécessaire pour empêcher la pression dynamique d’atteindre des valeurs trop élevées. Voir ci-dessous l’illustration de cette loi.

# Aéro : Coeff

# Simulateur

1. **Conventions**

Pour coder le simulateur, nous avons choisi les conventions suivantes :

-les positions et les vitesses sont toujours données dans le référentiel géocentrique, galiléen

-

1. **Initialisation**

Le fichier init.m initialise toutes les données relatives à la fusée, à la Terre, et au modèle d’atmosphère. En interne :

* Un étage est une structure de données contenant :

Le numéro de l’étage

Le masse sèche

Le masse d’ergols

L’Isv

Les paliers de débit

Les durées après lesquelles on change de palier

La section de sortie tuyère

Le temps de fonctionnement total

* Une fusée est une structure de données contenant :

La liste des étages définis comme au dessus

La masse de la coiffe

Le numéro de l’étage en cours de fonctionnement

La surface de référence pour l’aérodynamique

En bleu sont les grandeurs vectorielles, en rouge les données tabulées en fonction du temps, en vert les grandeurs interpolées du modèle d’atmosphère et en gras les entrées lues dans le vecteur d’état.

1. **Principe de calcul**

-Tout d’abord, on simule avec ode45 la montée verticale et le basculement. On arrête la simulation à un temps arbitraire égal à la durée du premier palier de la loi de débit (Talph dans simulateur.m). A la fin de cette simulation, on détecte l’instant où l’incidence devient nulle (detecteIncidenceNulle.m).

-Puis on reprend la simulation à partir de cet instant jusqu’à la fin de l’étage 1, en imposant cette fois comme consigne de rester à incidence nulle.

-Une fois terminée, on largue l’étage 1.

-Ensuite, on simule le fonctionnement de l’étage 2 en entier. Sur cette phase, on recherche l’instant où le flux thermique devient inférieur à 1500W/m².

-Puis on refait une simulation depuis cet instant jusqu’à la fin de l’étage 2 sans la coiffe.

-Enfin, on simule l’étage 3.

1. **Post-traitement**

A la fin d’une simulation, un script (post\_traitement.m) permet, si besoin, de tracer la plupart des grandeurs physiques intéressantes, telles que l’incidence, l’altitude, ou la pression dynamique. Ce script n’est bien sûr pas appelé pendant l’optimisation de trajectoire, car celle-ci ne nécessite pas toutes les valeurs que ce script fournit.

# Optimisation de trajectoire

Le dimensionnement de la propulsion du lanceur étant juste assez pour amener la charge en orbite GTO, il faut optimiser la commande (et donc la trajectoire) de façon à utiliser la poussée disponible de la manière la plus efficace possible. Un calcul d’optimisation sous contraintes permet donc de trouver cette commande optimale. La fonction fmincon de Matlab réalise ce calcul, que nous organisons ainsi :

1. **Obtention du périgée voulu**

On minimise le carré de la différence entre le périgée atteint et le périgée visé. On atteint finalement une certaine trajectoire qui a le bon périgée.

1. **Maximisation de l’apogée**

En un deuxième temps, on cherche à maximiser l’apogée, pour voir si la propulsion n’est pas surdimensionnée. Si oui, c’est que les pertes dans le calcul préliminaire d’étagement ont été surestimées. On reboucle donc avec les pertes calculées par le simulateur, jusqu’à converger vers des pertes identiques entre le simulateur et le calcul de dimensionnement.

1. **Vérification**

Enfin, il convient de vérifier différentes grandeurs :

-la pression dynamique maximale atteinte, qui ne doit pas dépasser 40 000Pa d’après les spécifications de la coiffe

-la pression dynamique au moment de la séparation du largage de l’étage 1

-l’inclinaison effective de l’orbite. Atteindre la valeur souhaitée peut nécessiter un rebouclage.