

Vulcain et Vinci : deux moteurs européens, deux missions différentes

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Pourquoi Ariane 6 utilise-t-elle Vulcain 2.1 puis Vinci au lieu d'un moteur unique pour tout le vol ?

Repères : MESURÉ · CONVENTION · CALCULÉ · HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · DONNÉE DE MISSION · DONNÉE CONSTRUCTEUR · APPROXIMATION

Objectifs :

- comparer premier étage et étage supérieur
- comprendre LOX/LH₂
- lire les débits et puissances de turbopompe
- comprendre le rallumage Vinci
- comprendre le gimbal de Vulcain

Réponse essentielle

Vulcain et Vinci : deux moteurs européens, deux missions différentes. La question à résoudre est la suivante : Pourquoi Ariane 6 utilise-t-elle Vulcain 2.1 puis Vinci au lieu d'un moteur unique pour tout le vol ? Repères : MESURÉ · CONVENTION · CALCULÉ · HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · DONNÉE DE MISSION · DONNÉE CONSTRUCTEUR · APPROXIMATION Objectifs : comparer premier étage et étage supérieur comprendre LOX/LH₂ lire les débits et puissances de turbopompe comprendre le rallumage Vinci comprendre le gimbal de Vulcain ? Au décollage, le véhicule est lourd et traverse l'atmosphère. Plus tard, un étage supérieur travaille dans le vide avec une masse beaucoup plus faible et recherche précision d'injection, rallumage et efficacité. La suite du cours montre comment passer de cette idée à un raisonnement contrôlable : unités explicites, hypothèses annoncées, calculs reproductibles, ordre de grandeur et limites d'interprétation. Le résultat n'est utile que si l'on peut expliquer ce qu'il mesure, d'où viennent les nombres et quelle décision d'ingénierie il éclaire.

Synthèse de départ : les démonstrations, exemples, limites et sources sont développés dans le corps du cours.

Mots clés avant de commencer

poussée · tuyère · turbopompe · gimbal · unité

1 — Un moteur est optimisé pour une phase de mission

Au décollage, le véhicule est lourd et traverse l'atmosphère. Plus tard, un étage supérieur travaille dans le vide avec une masse beaucoup plus faible et recherche précision d'injection, rallumage et efficacité.

Le mot "meilleur" n'a donc pas de sens sans mission. Un moteur puissant au sol n'est pas automatiquement le meilleur étage supérieur.

2 — Vulcain 2.1 : alimenter une énorme chambre pendant plusieurs minutes

ESA indique plus de 327 kg d'ergols consommés chaque seconde par Vulcain 2.1 et environ 1 371 kN de poussée. La turbopompe hydrogène tourne à environ 33 000 tr/min et développe une puissance de l'ordre de 15 MW.

Ces nombres montrent pourquoi un moteur est une machine de débit : quelques secondes représentent déjà des tonnes de matière déplacées, accélérées et brûlées.

3 — Convertir un débit en masse consommée

DONNÉE CONSTRUCTEUR : 327 kg/s. Si nous gardons ce débit constant pendant 10 s pour un ordre de grandeur, la masse traversant le moteur vaut $327 \times 10 = 3\,270$ kg.

Ce calcul ne reproduit pas toute la séquence réelle ; il apprend à lire kg/s comme “kilogrammes chaque seconde”.

4 — Vinci : pourquoi rallumer change la mission

ESA décrit Vinci comme un moteur cryogénique d'étage supérieur pouvant être rallumé plusieurs fois. Cela permet de séparer plusieurs manœuvres au lieu d'exiger une seule combustion continue.

Dans l'espace, l'absence de pesanteur apparente complique l'alimentation des lignes. L'APU d'Ariane 6 aide notamment à pressuriser les réservoirs et conditionner les ergols pour les redémarrages.

5 — Orienter Vulcain : la poussée devient un gouvernail invisible

Sur Vulcain, les commandes électriques de l'avionique agissent sur un système hydraulique qui déplace des servo-actionneurs. Ceux-ci orientent le moteur en tangage et lacet.

La tuyère ne “se tord” pas : l'ensemble moteur pivote légèrement autour d'une articulation conçue pour transmettre de très grands efforts.

6 — Ce que l'Europe maîtrise déjà et ce qui diffère de SpaceX

Ariane maîtrise moteurs cryogéniques, guidage, TVC, rallumage d'étage supérieur, structures légères et qualification. La différence avec Falcon 9 n'est donc pas “Europe ne sait pas orienter un moteur”.

Le point distinctif de Falcon 9 est l'architecture complète de récupération du premier étage : marges d'ergols, séquences de retour, navigation, ailettes de grille, rallumages et jambes d'atterrissage intégrés dès la conception.

7 — Pourquoi un moteur de premier étage et un moteur d'étage supérieur ne veulent pas la même chose

Au décollage, le véhicule doit produire une forte poussée tout en supportant l'atmosphère, les vibrations et une longue phase d'accélération. Plus tard, un étage supérieur travaille dans un environnement beaucoup plus proche du vide et peut rechercher d'autres qualités : efficacité, capacité de rallumage, précision de mise en orbite ou fonctionnement après une longue phase balistique.

Comparer Vulcain et Vinci uniquement par leur poussée serait donc comme comparer un camion et un véhicule de précision en demandant lequel est « meilleur ». Ils sont optimisés pour des rôles différents. L'analyse correcte part toujours de la mission, puis remonte vers les exigences du moteur.

8 — Ce que la réutilisation change dans la hiérarchie des compromis

Un moteur consommable peut accepter certains choix qui seraient pénalisants pour un moteur destiné à revoler de nombreuses fois. La réutilisation ajoute des questions de fatigue, inspection, remise en état, facilité d'accès, répétabilité des démarrages et coût d'exploitation. Elle ne supprime pas les exigences de performance ; elle ajoute une nouvelle dimension au compromis.

C'est pourquoi comparer Ariane et SpaceX exige de distinguer les architectures, les objectifs économiques et les générations de programme. Une agence ou un industriel ne « manque » pas forcément une technologie parce qu'il utilise une autre solution : il peut avoir reçu un autre cahier des charges. La question intéressante est de savoir quelles exigences produisent quelles architectures.

Exercices et corrigés

Débit

À 327 kg/s pendant 20 s, quel ordre de grandeur de masse traverse le moteur ?

Mission

Pourquoi un moteur rallumable est-il utile ?

Comparaison

Pourquoi ne faut-il pas conclure que Vinci est “moins bon” parce qu’il pousse moins que Vulcain ?

Sources primaires et techniques

- ESA — The engines of Ariane 6
- ESA — Ariane 5 Vulcain engine
- ESA — Ariane 6: what is it made of?
- ESA — Low Liquid Thrust Vector Actuation System for Ariane 6