

Pourquoi une V-2 ne pouvait-elle pas revenir comme Falcon 9 ?

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Qu'est-ce qui manquait réellement dans les années 1930–1940 : les lois de la physique ou la capacité industrielle à les combiner ?

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

Objectifs :

- éviter l'anachronisme "ils ne savaient pas"
- comprendre l'importance des marges d'ergols
- comparer navigation analogique et numérique
- comprendre les exigences de rallumage/atterrissage
- voir l'effet système de la réutilisation

Réponse essentielle

Pourquoi une V-2 ne pouvait-elle pas revenir comme Falcon 9 ? La question à résoudre est la suivante : Qu'est-ce qui manquait réellement dans les années 1930–1940 : les lois de la physique ou la capacité industrielle à les combiner ? Repères : MESURÉ · CONVENTION · CALCULÉ · HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · DONNÉE DE MISSION · DONNÉE CONSTRUCTEUR · APPROXIMATION Objectifs : éviter l'anachronisme "ils ne savaient pas" comprendre l'importance des marges d'ergols comparer navigation analogique et numérique comprendre les exigences de rallumage/atterrissage voir l'effet système de la réutilisation ? Les lois permettant de comprendre forces, trajectoires et rétroaction existaient bien avant 1940. La difficulté n'était pas d'inventer la notion de couple ou de vitesse verticale. 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

propergol · unité · ordre de grandeur · hypothèse · approximation

1 — Newton n'attendait pas SpaceX

Les lois permettant de comprendre forces, trajectoires et rétroaction existaient bien avant 1940. La difficulté n'était pas d'inventer la notion de couple ou de vitesse verticale.

La difficulté était de réunir dans un véhicule léger, fiable et industriellement réalisable tous les capteurs, calculateurs, actionneurs, moteurs rallumables et marges nécessaires à un retour précis.

2 — La V-2 avait une mission balistique, pas une mission de récupération

Son architecture était conçue pour accélérer une charge vers une trajectoire de guerre, non pour conserver assez d'ergol, retourner l'étage, supporter une rentrée contrôlée et atterrir.

Ajouter une récupération aurait changé taille, masse, structure, guidance et performance. Ce n'est pas une fonction qu'on ajoute à la fin par logiciel.

3 — Navigation : savoir où l'on est avec assez de précision

Un retour vertical exige une estimation continue de position, vitesse, attitude et environnement. Les gyroscopes analogiques des années 1940 étaient remarquables pour leur époque mais n'offraient pas l'écosystème moderne de navigation, calcul numérique, fusion de capteurs et mise à jour rapide.

Les satellites de navigation n'existaient pas. Cela n'interdit pas toute navigation, mais augmente fortement la difficulté et les incertitudes.

4 — Moteur : rallumer, moduler et survivre

Un moteur de retour doit redémarrer après une phase balistique, fonctionner de manière prédictible et fournir une autorité de commande compatible avec l'approche finale. Les séquences de rallumage et les transitoires deviennent critiques.

L'architecture doit aussi protéger les moteurs pendant la rentrée et conserver alimentation, pression et température d'ergols compatibles avec le redémarrage.

5 — Actionneurs et calculateur : fermer la boucle très vite

La phase finale nécessite des corrections répétées. Les calculateurs modernes exécutent des modèles et filtres à haute cadence ; les actionneurs répondent rapidement et précisément.

Les systèmes des années 1940 pouvaient faire de la régulation analogique, mais la combinaison masse/fiabilité/précision/vitesse de calcul pour un booster récupérable était d'un autre ordre.

6 — Le véritable saut SpaceX est système + exploitation

La réutilisation ne vient pas d'une seule invention. Elle vient de la combinaison moteurs réallumables, guidage, TVC, grid fins, structure, protections, jambes, logiciels, télémétrie, essais et cadence opérationnelle.

C'est aussi une philosophie industrielle : accepter de perdre des prototypes, apprendre des vols, récupérer, inspecter, modifier, puis voler de nouveau.

7 — Ce qui était impossible, ce qui était seulement inutile, ce qui était immature

Dire « on ne pouvait pas faire revenir une V-2 parce qu'il n'y avait pas de microprocesseur » serait trop simple. Certaines briques de contrôle existaient déjà sous des formes analogiques ou électromécaniques. Mais l'objectif de mission, les capacités de calcul, la précision des capteurs, les moteurs réallumables, les marges de propergol, les matériaux, les actionneurs et l'écosystème d'essais n'étaient pas réunis pour une récupération propulsive moderne.

La distinction est importante : une technologie peut être physiquement possible mais économiquement inutile, industriellement immature ou étrangère au besoin militaire ou scientifique du programme. L'histoire technique devient plus intéressante lorsqu'on demande quelles fonctions étaient nécessaires et à quel moment chacune est devenue assez mature pour être intégrée.

8 — SpaceX : l'innovation visible cache une innovation d'exploitation

Voir un étage se poser concentre l'attention sur la phase spectaculaire. Pourtant, la valeur de la réutilisation dépend aussi de ce qui se passe après : inspection, remise en état, données de vol, planification, cadence, logistique de récupération et retour au manifeste de lancement. Une fusée réutilisable n'est rentable que si tout ce cycle fonctionne suffisamment vite et de manière reproductible.

C'est un bon exemple de pensée système : le véhicule, le logiciel, le pas de tir, les équipes et la chaîne industrielle forment un seul système économique. Une amélioration de l'atterrissage qui rendrait l'inspection beaucoup plus lourde pourrait déplacer le coût au lieu de le supprimer.

Exercices et corrigés

Anachronisme

Pourquoi “ils ne connaissaient pas la physique” est-il une mauvaise réponse ?

Architecture

Citez quatre fonctions à ajouter pour rendre un booster récupérable.

Système

Pourquoi un meilleur ordinateur seul ne suffit-il pas ?

Sources primaires et techniques

- NASA Glenn — Rocket History: 20th Century and Beyond
- NASA Glenn — Rocket Control
- NASA Glenn — Rocket Parts
- SpaceX — Falcon 9 launch, landing and deployment sequence
- SpaceX — Falcon 9