

Pourquoi 5 kg/s et pas 3 ou 10 ? Comment un moteur contrôle réellement son débit

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Comment passer d'une poussée souhaitée à un débit physique de carburant et de comburant ?

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

Objectifs :

- définir kg/s et débit massique
- expliquer la chaîne consigne actionneur débit capteur
- calculer un partage carburant/comburant
- comprendre étranglement au col
- distinguer commande, mesure et modèle

1 — 5 kg/s : cela veut dire quoi ?

kg/s se lit « kilogrammes par seconde ». Ce n'est pas « cinq kilogrammes une fois » : c'est un rythme de passage. Si 5 kg/s passent pendant 10 s, la masse totale vaut $5 \times 10 = 50$ kg .

Le symbole $\dot{m}$ désigne le débit massique. Il répond à la question : quelle masse traverse une section pendant une unité de temps ?

2 — La consigne n'est pas le débit

Le calculateur peut recevoir une consigne de poussée ou un point de fonctionnement. Il ne peut pas « écrire 5 kg/s dans le tuyau ». Il commande des actionneurs : vannes, moteurs électriques éventuels, turbomachines, régulateurs de pression.

Le moteur répond selon la physique du circuit. Les capteurs mesurent cette réponse ; le logiciel corrige l'écart. C'est une boucle de rétroaction .

3 — Pourquoi une vanne à 50 % ne donne pas forcément 50 % de débit

Le débit à travers une restriction dépend de l'aire de passage, mais aussi des pressions amont/aval, de la densité, de la température et du régime d'écoulement. Une même position de vanne peut donc produire des débits différents selon l'état du moteur.

Voilà pourquoi les moteurs utilisent des cartes, modèles et mesures plutôt qu'une règle « angle de vanne = kg/s » universelle.

4 — Le col de la tuyère peut étrangler l'écoulement

NASA Glenn explique qu'un écoulement compressible peut atteindre Mach 1 au col. Une fois l'écoulement étranglé , les conditions de chambre, les propriétés du gaz et l'aire du col imposent fortement le débit massique maximal.

5 — Du débit total aux deux ergols

Supposons HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE un débit total de 618 kg/s et un rapport de mélange O/F = 3,6 . O/F signifie masse d'oxydant divisée par masse de carburant.

Posons le débit carburant = x . Alors le débit oxydant = $3,6x$ et le total = $4,6x$.

Pourquoi 3,6 ? Ici c'est une hypothèse pédagogique. Une vraie valeur appartient à la conception et au point de fonctionnement d'un moteur donné.

6 — Throttling : diminuer la poussée sans éteindre

Throttling se traduit par modulation de poussée. Le moteur change son point de fonctionnement : débits, pressions et parfois rapport de mélange dans les limites autorisées.

Descendre trop bas peut introduire instabilité, mauvais refroidissement ou fonctionnement hors carte. « 50 % de poussée » ne signifie donc pas nécessairement que chaque variable interne vaut exactement 50 %.

7 — Pourquoi plusieurs capteurs ?

Un débitmètre seul peut mentir. La régulation compare souvent plusieurs grandeurs : pression de chambre, pressions d'alimentation, vitesse de turbopompe, températures, positions de vannes et parfois mesures directes de débit.

Si un capteur devient incohérent avec les autres, le système peut basculer vers une estimation, limiter le moteur ou l'arrêter selon le risque.

8 — Exemple dynamique : la pression chute

Imaginez que la consigne reste identique mais que la pression amont diminue. À position de vanne constante, le débit peut baisser. Le calculateur détecte alors une pression de chambre ou un débit inférieur à la cible et peut commander davantage l'actionneur — dans les limites disponibles.

Cette situation montre que le contrôle n'est pas un réglage unique mais une correction continue.

9 — Ce que le cours ne prétend pas faire

Les lois exactes de débit compressible, cavitation, turbomachines, combustion et contrôle non linéaire dépassent ce premier cours. Elles viendront séparément. Ici, nous voulons que le mot « 5 kg/s » cesse d'être magique : c'est une grandeur physique obtenue, mesurée et régulée.

Exercices et corrigés

Exercice A — masse totale

Un débit de 7 kg/s dure 12 s.

Exercice B — rapport O/F

Débit total 46 kg/s, O/F = 3,6.

Défi — capteur incohérent

Le débitmètre annonce 10 % de baisse mais pression chambre et vitesse turbopompe sont stables. Que faire ?

Sources primaires et techniques

- NASA Glenn — Mass Flow Rate Equations
- NASA Glenn — Liquid Rocket Engine
- NASA Glenn — Rocket Thrust Equation

Cours pédagogique Delta-Sierra — ne constitue ni une qualification professionnelle ni une procédure opérationnelle de vol.