

AM-04.33 — Turbopompes : pourquoi un moteur puissant a besoin d'une pompe entraînée par une turbine

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Pourquoi ne suffit-il pas de placer le réservoir au-dessus du moteur et de laisser le liquide descendre ?

Repères : MESURÉ · CONVENTION · CALCULÉ · HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · APPROXIMATION

- distinguer pompe et turbine
- relier pression débit puissance
- lire rpm sans surinterpréter
- identifier limites

Réponse essentielle

Turbopompes : pourquoi un moteur puissant a besoin d'une pompe entraînée par une turbine. La question à résoudre est la suivante : Pourquoi ne suffit-il pas de placer le réservoir au-dessus du moteur et de laisser le liquide descendre ? Repères : MESURÉ · CONVENTION · CALCULÉ · HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · APPROXIMATION distinguer pompe et turbine relier pression débit puissance lire rpm sans surinterpréter identifier limites ? Une chambre à haute pression exige une alimentation capable de dépasser les pertes et la pression en aval. Une pompe transmet de l'énergie mécanique au fluide. 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

turbopompe · cavitation · unité · ordre de grandeur · hypothèse

1 — La pompe augmente la pression du liquide

Une chambre à haute pression exige une alimentation capable de dépasser les pertes et la pression en aval. Une pompe transmet de l'énergie mécanique au fluide.

Plus le débit et l'augmentation de pression sont élevés, plus la puissance à fournir devient importante.

2 — La turbine fournit la puissance mécanique

Une turbine récupère de l'énergie d'un écoulement gazeux et la transforme en rotation d'arbre. Cet arbre peut entraîner une pompe.

Le mot turbopompe associe donc deux fonctions différentes : turbine motrice et pompe de fluide.

3 — Vitesse de rotation ne suffit pas à décrire la machine

Deux turbopompes au même nombre de tours par minute peuvent avoir des débits et pressions très différents selon géométrie et fluide.

Il faut distinguer vitesse de rotation, couple, puissance, débit et pression.

4 — Pourquoi c'est un organe critique

Température, vibrations, étanchéité, paliers, cavitation et transitoires de démarrage rendent la turbomachine exigeante.

Un schéma fonctionnel aide à comprendre la chaîne énergétique sans donner de géométrie de fabrication.

Trois exemples complets : changer une hypothèse pour comprendre

Avant chaque calcul : repérez l'origine de chaque nombre et son statut — mesuré, convention, hypothèse ou résultat.

Exemple A — puissance fluide conceptuelle

$\Delta p = 1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$ et $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$: $P_{\Delta p \times Q} = 10\,000 \text{ W} = 10 \text{ kW}$.

Modèle idéal sans rendement ni pertes.

Exemple B — pression double

Même Q , $\Delta p = 2 \text{ MPa}$: P idéale 20 kW .

Doubler l'augmentation de pression double la puissance fluide idéale.

Exemple C — débit double

$\Delta p = 1 \text{ MPa}$, $Q = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$: P 20 kW .

Doubler le débit double aussi cette puissance idéale.

Calcul inverse

Si la puissance fluide idéale visée est 20 kW avec $\Delta p = 2 \text{ MPa}$, $Q = P/\Delta p = 20\,000/2\,000\,000 = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$.

Piège fréquent et contrôle du résultat

Piège : confondre cette puissance idéale du fluide avec la puissance d'arbre réelle. Rendement, pertes et dynamique rendent la puissance réelle différente.

Dans un système moteur réel, un résultat conceptuel doit ensuite être confronté aux propriétés des fluides, aux marges, aux essais et à la qualification.

Exercices et corrigés

Fonction

Expliquez la fonction de chaque bloc sans jargon.

Sensibilité

Changez une hypothèse de moitié et prédissez la conséquence.

Limite

Citez une raison pour laquelle le modèle pédagogique ne suffit pas pour un moteur réel.

Sources primaires et pédagogiques

- NASA Glenn - Liquid Rocket Engine
- NASA Glenn - Mass Flow Rate Equations
- ESA - The engines of Ariane 6