

FICHE DE RÉVISION ULTIME

Propulsion aéronautique — version complétée

Généralités • Poussée • Taux de dilution • Conversions • GTR • Compresseur • Combustion • Turbines • Tuyère • Boîte à accessoires • Régulation/circuit carburant • Circuit de lubrification • Instruments moteur

CQPM 082 / AFMAé

Nouveau dans cette version :

Les sections 10 (Turbines HP/BP), 11 (Tuyère), 12 (Boîte à accessoires) et 16 (Paramètres de contrôle moteur et surveillance) ont été ajoutées à partir du support PowerPoint « Propulsion CQPM 082 » — elles ne figuraient pas dans la fiche PDF d'origine.

Sommaire

1. Généralités
2. Formule de la poussée
3. Taux de dilution (λ) et relations QA1 / QA2
4. Conversions d'unités indispensables
5. Évolution du flux d'air + convergent/divergent + Bernoulli
6. Structure du GTR
7. Entrée d'air
8. Le compresseur
9. La chambre de combustion
10. Les turbines (HP et BP) — ajout PPT
11. La tuyère — ajout PPT
12. La boîte à accessoires (AGB) — ajout PPT
13. La régulation carburant
14. Le circuit carburant
15. Le circuit de lubrification
16. Paramètres de contrôle moteur et surveillance — ajout PPT

1. Généralités

Les 4 forces en vol

Portance (vers le haut) — Poids (vers le bas) — Poussée (vers l'avant) — Traînée (vers l'arrière), toutes appliquées autour du centre de gravité.

3e loi de Newton — Principe d'action-réaction

« L'action est toujours égale à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraires. »

Exemple ballon de baudruche : l'air éjecté vers l'arrière (ACTION) génère une réaction qui propulse le ballon vers l'avant (RÉACTION). Application moteur : ACTION = poussée du moteur (gaz éjectés vers l'arrière) → RÉACTION = accélération de l'avion en sens opposé, proportionnelle à la poussée.

Système	Air/gaz expulsé	Résultat	Poussée
Ballon de baudruche	Air expulsé par l'arrière	Le ballon avance	Faible et lente
Turboréacteur	Gaz brûlés expulsés par la tuyère	L'avion est propulsé	Importante et continue

La turbine à gaz pour l'aviation

Le pétrole = énergie potentielle → transformée en énergie mécanique (usage indirect : turbopropulseur, entraîne une hélice) ou en énergie cinétique (usage direct : turboréacteur, gaz éjectés à grande vitesse).

Les turboréacteurs — 2 familles

- GTR simple corps simple flux (1ère génération) : tout l'air traverse le cœur du moteur. Bruyant, consommation spécifique élevée, forte pollution.
- GTR double corps double flux (turbofan) : une partie de l'air (flux secondaire) contourne le cœur. Masse d'air accélérée moins vite mais en bien plus grande quantité → idéal pour l'aviation civile (économique, moins bruyant).

Architecture double flux : arbre BP (relie soufflante/fan + booster + turbine BP) et arbre HP (relie compresseur HP + turbine HP).

2. Formule de la poussée (à connaître par cœur)

$$F = QA1 \cdot (VS1 - VE) + QA2 \cdot (VS2 - VE) + QC \cdot VS$$

Symbole	Signification
F	Poussée, en Newton (N)
QA1	Débit d'air du flux primaire (cœur moteur), en kg/s
QA2	Débit d'air du flux secondaire (fan / soufflante), en kg/s
QC	Débit massique de carburant, en kg/s
VE	Vitesse de l'air à l'entrée (= vitesse avion), en m/s
VS1	Vitesse de sortie du flux primaire, en m/s
VS2	Vitesse de sortie du flux secondaire, en m/s

Symbole	Signification
VS	Vitesse de sortie du gaz carburant injecté (= VS1 en général), en m/s

Astuce : pour un moteur simple flux (sans soufflante), $QA2 = 0 \rightarrow F = QA1(VS1 - VE) + QC(VS)$.

Exemple 1 — Turboréacteur simple flux, avion à l'arrêt

Données : $QA1 = 50 \text{ kg/s}$; $VE = 0 \text{ m/s}$; $VS1 = 500 \text{ m/s}$; $QC = 1 \text{ kg/s}$; $VS = 500 \text{ m/s}$.

$$F = 50 \times (500 - 0) + 1 \times 500 = 25\,000 + 500 = 25\,500 \text{ N} \approx 25,5 \text{ kN}$$

Exemple 2 — Turbofan en vol de croisière

Données : $QA1 = 20 \text{ kg/s}$; $VS1 = 450 \text{ m/s}$; $QA2 = 200 \text{ kg/s}$; $VS2 = 300 \text{ m/s}$; $VE = 100 \text{ m/s}$; $QC = 0,8 \text{ kg/s}$; $VS = 450 \text{ m/s}$.

$$F = 20 \times (450 - 100) + 200 \times (300 - 100) + 0,8 \times 450 = 7\,000 + 40\,000 + 360 = 47\,360 \text{ N} \approx 47,4 \text{ kN}$$

→ Le flux secondaire fournit ici la plus grande partie de la poussée : c'est le principe même du turbofan à fort taux de dilution.

Exemple 3 — Retrouver une vitesse de sortie inconnue

Données : $F = 30\,000 \text{ N}$; $QA1 = 40 \text{ kg/s}$; $VE = 50 \text{ m/s}$; QC négligé. On cherche $VS1$.

$$VS1 = (F / QA1) + VE = (30\,000 / 40) + 50 = 750 + 50 = 800 \text{ m/s}$$

Exemple 4 — Retrouver $QA1$ à partir du taux de dilution λ

Données : $\lambda = 8$; $QA2 = 90 \text{ kg/s}$; $QC = 8 \text{ kg/s}$; $VE = 900 \text{ km/h}$; $VS1 = 300 \text{ m/s}$; $VS2 = 400 \text{ m/s}$.

- 1) VE en m/s : $900 / 3,6 = 250 \text{ m/s}$
- 2) $\lambda = QA2 / QA1 \rightarrow QA1 = QA2 / \lambda = 90 / 8 = 11,25 \text{ kg/s}$
- 3) $F = 11,25 \times (300 - 250) + 90 \times (400 - 250) + 8 \times 300 = 562,5 + 13\,500 + 2\,400 = 16\,462,5 \text{ N} \approx 16,46 \text{ kN}$

Retenir : $\lambda = QA2/QA1$ est un simple rapport. Si $QA2$ est connu $\rightarrow QA1 = QA2 / \lambda$. Si $QA1$ est connu $\rightarrow QA2 = \lambda \times QA1$. Ne jamais confondre les deux sens du calcul !

3. Taux de dilution (λ) et relations $QA1 / QA2$

$$\lambda = QA2 / QA1 \text{ (débit secondaire / débit primaire)}$$

À ne pas confondre : λ (taux de dilution) $\neq \rho$ (rho, masse volumique de l'air en kg/m^3). Deux symboles différents pour deux grandeurs différentes.

Moteur	Taux de dilution λ
M88 (militaire, Rafale)	0,30 : 1
CFM56	5 : 1
LEAP 1A	11 : 1
LEAP 1B	9 : 1
PW 1500	12 : 1

→ Plus le taux de dilution est élevé, plus le moteur est économique et silencieux (réacteurs civils modernes). Les moteurs militaires (M88) ont un taux faible car ils privilégient la poussée pure sur la vitesse pour la performance.

Retrouver QA1 ou QA2 — tous les cas possibles

Donné dans l'énoncé	Formule à utiliser
λ et QA1	$QA2 = \lambda \times QA1$
λ et QA2	$QA1 = QA2 / \lambda$
λ et débit total $Qt = QA1 + QA2$	$QA1 = Qt / (1 + \lambda)$ puis $QA2 = Qt - QA1$
QA1 et QA2 connus, on veut λ	$\lambda = QA2 / QA1$

Moyen mnémotechnique : $\lambda = QA2/QA1 \rightarrow QA2$ est TOUJOURS le plus gros débit (numérateur) car le flux secondaire (fan) est plus important que le flux primaire (cœur). Si ton résultat donne QA1 supérieur à QA2 alors que λ est supérieur à 1, tu as inversé la formule.

4. Conversions d'unités indispensables

La formule de la poussée exige TOUJOURS des débits en kg/s et des vitesses en m/s. Convertis systématiquement AVANT de calculer.

Grandeur	Conversion	Exemple
Vitesse : km/h $\rightarrow$ m/s	diviser par 3,6	900 km/h / 3,6 = 250 m/s
Vitesse : m/s $\rightarrow$ km/h	multiplier par 3,6	250 m/s $\times$ 3,6 = 900 km/h
Vitesse : nœuds (kt) $\rightarrow$ m/s	multiplier par 0,514	500 kt $\times$ 0,514 $\approx$ 257 m/s
Vitesse : Mach $\rightarrow$ m/s	multiplier par $\approx$ 340 (niveau mer)	Mach 0,8 $\times$ 340 $\approx$ 272 m/s
Débit : t/h $\rightarrow$ kg/s	$\times$ 1000 puis /3600	18 t/h $\rightarrow$ 18000/3600 = 5 kg/s
Débit : kg/h $\rightarrow$ kg/s	diviser par 3600	3600 kg/h / 3600 = 1 kg/s
Débit : kg/min $\rightarrow$ kg/s	diviser par 60	60 kg/min / 60 = 1 kg/s
Masse : tonnes $\rightarrow$ kg	multiplier par 1000	2,4 t = 2400 kg
Pression : bar $\rightarrow$ Pa	multiplier par 100 000	1 bar = 100 000 Pa
Pression : psi $\rightarrow$ bar	diviser par 14,5	500 psi / 14,5 $\approx$ 34,5 bar
Dosage $\rightarrow$ QC	$QC = QA1 \times \text{dosage}$	QA1=50, dosage 1/50 $\rightarrow$ QC=1 kg/s
Force : kN $\rightarrow$ N	multiplier par 1000	25,5 kN = 25 500 N

Piège fréquent : si l'énoncé mélange les unités, il faut TOUT convertir dans la même unité (m/s, kg/s) avant de soustraire ou multiplier.

5. Évolution du flux d'air + convergent/divergent + Bernoulli

Zone	Température / Pression / Vitesse
Admission	T $\approx$ -54°C ; P $\approx$ 5 psi ; vitesse relativement stable
Compression	T et P augmentent : T $\approx$ 500-600°C, P $\approx$ 500 psi en sortie compresseur
Combustion	Pic T $\approx$ 1400°C (flamme locale jusqu'à $\approx$ 2200°C) ; la vitesse chute puis la pression reste quasi stable
Détente (turbine)	T et P diminuent en cédant leur énergie aux turbines BP/HP ; la vitesse augmente vers la tuyère

Convergent / Divergent

Profil	Section	Vitesse	Pression
Convergent (A→B)	Diminue	AUGMENTE	DIMINUE
Divergent (B→C)	Augmente	DIMINUE	AUGMENTE

Loi de Bernoulli

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 = \text{constante}$$

Le long d'une ligne de courant, la somme pression + énergie cinétique du fluide reste constante. C'est ce principe qui explique pourquoi, dans un profil convergent/divergent, quand la vitesse augmente la pression diminue, et inversement.

Application : le stator du compresseur a un profil divergent → il transforme la vitesse (communiquée par le rotor) en pression. L'entrée d'air d'un turboréacteur civil a également un profil divergent à géométrie fixe, adapté au régime et à l'altitude de croisière.

6. Structure du GTR (Générateur de Turbine à gaz Réacteur)

- FAN MODULE — Fan + booster, paliers n°1/n°2, carter de soufflante (fan case), fan frame, boîtier d'entraînement (IGB).
- CORE MODULE (cœur moteur) — Compresseur HP (rotor + stator), chambre de combustion, turbine HP (tuyères + rotor), turbine center frame.
- LOW PRESSURE TURBINE MODULE — Arbre BP, rotor + stator turbine BP, carter d'échappement (turbine rear frame).

Cette architecture modulaire permet une maintenance plus efficace et optimise le temps d'immobilisation moteur (TAT — Turn Around Time).

Nomenclature des pièces (ajout PPT) — exemples GE90 / PW1500G

Les constructeurs identifient chaque grand ensemble par un préfixe numérique (« X » = variable selon version) :

Code	Ensemble
01X / 21X	Fan Hub Module / Low Pressure Compressor
02X	Core Module
04X	Low Pressure Turbine
30X / 31X	High Pressure Compressor (HPC)
40X / 41X-42X	Diffuser and Combustor Module
50X / 51X-54X	High Pressure Turbine (HPT)
61X / 62X	Inlet Gearbox (IGB) / Angle-Accessory Gearbox (AGB)
71X	Engine Mount (FWD/AFT)

Retenir : chaque module majeur (Fan, Core, LPT) est décomposable en sous-ensembles numérotés — utile pour identifier une pièce sur un schéma éclaté (« Modular / Mechanical Breakdown »).

7. Entrée d'air

Rôle : alimenter le compresseur, fournir une pression du flux adaptée, éviter les turbulences (écoulement le plus laminaire possible).

Profil : divergent, à géométrie fixe sur les réacteurs civils modernes — adapté au régime et à l'altitude de vol de croisière. Certains avions militaires utilisent des entrées d'air à géométrie variable pour s'adapter aux vitesses supersoniques.

8. Le compresseur

4 fonctions du compresseur

- Il assure l'alimentation continue de l'air vers la chambre de combustion
- Il élève la pression statique de l'air avant la chambre de combustion
- Il établit le débit d'air qui traverse le réacteur (QA1)
- Il assure l'alimentation pneumatique de bord (ATA 36)

Deux types de compresseur

Compresseur AXIAL	Compresseur CENTRIFUGE
L'air progresse parallèlement à l'axe du moteur. Rendement élevé, idéal pour machines de forte puissance. Sensible aux perturbations d'écoulement.	L'air est aspiré axialement puis rejeté radialement (force centrifuge). Robuste, compact, mais rendement et taux de compression par étage plus faibles.

Principe de fonctionnement (1 étage = 1 grille ROTOR + 1 grille STATOR)

- ROTOR (pièce mobile) : transmet de l'énergie au flux d'air en tournant → la vitesse du flux d'air est accélérée.
- STATOR (intégré au carter, fixe) : profil divergent → transforme en pression la vitesse communiquée par le rotor.
- Résultat : flux entrant à faible vitesse/pression → flux sortant avec pression augmentée, étage après étage.

$$P \times S \times V = \text{constante}$$

Taux de compression — exemples

Moteur	Compresseur	Rapport de compression
Snecma M88 (Rafale)	3 étages BP + 6 étages HP	24,50 / 1
Jumo 008	Axial, 8 étages	3,14 / 1

Le vrillage des ailettes (aubes)

Les ailettes des rotors/stators ne sont pas droites : elles sont vrillées (hélicoïdales) le long de leur rayon, pour adapter l'angle d'incidence local à la vitesse de l'écoulement d'air à différentes positions → optimise la compression et l'écoulement de l'air. Angle de vrillage généralement compris entre 15° et 19°.

Le pompage compresseur

Définition : interruption pulsatoire de l'écoulement dans le compresseur (perturbation/inversion locale du flux d'air).

Condition	Cause
Régime de croisière / hauts régimes	Défaillance des étages HP
Régime ralenti	Débit des étages BP trop important

Conséquences : mauvaise alimentation en air de la chambre de combustion, vibrations, augmentation de la température turbine.

Solutions anti-pompage

- Bas régimes → Vannes de décharge (VBV — Variable Bleed Valve) : délestage/évacuation d'une partie du flux entre les compresseurs BP et HP.
- Hauts régimes → Stator à calage variable (VSV — Variable Stator Vane) : installé sur le compresseur HP, modifie l'angle de calage du stator selon le régime moteur. Peut être complété par des vannes de décharge (ex. V2500).

9. La chambre de combustion

Rôles : réalise le mélange air/carburant ; assure la combustion et dirige les gaz vers la turbine et le canal d'éjection ; point de rencontre des 3 circuits du réacteur (air sortant du compresseur, carburant, allumage).

Dosages

- Dosage stœchiométrique (combustion théorique complète) = 1/15
- Dosage global réellement utilisé (avec air de dilution/refroidissement) = 1/50 à 1/70

→ On injecte donc beaucoup plus d'air que nécessaire pour la combustion seule : l'excès d'air sert à refroidir la chambre et diluer les gaz avant la turbine.

Repères de température

Entrée chambre	Cœur de flamme	Sortie vers turbine
≈ 550°C	≈ 2200°C	≈ 1500°C

10. Les turbines (HP et BP) — [ajout PPT]

Section absente de la fiche PDF d'origine — reconstituée à partir du support PowerPoint.

Rôle général

- Elle entraîne le compresseur.
- Elle entraîne les accessoires grâce à l'arbre auquel elle est attelée.
- La turbine haute pression (HPT) fournit la puissance mécanique nécessaire à l'entraînement du compresseur haute pression.
- La turbine basse pression (LPT) assure la rotation du compresseur basse pression, dont fait partie le fan (1er étage du compresseur).

La turbine HP — contraintes subies par une aube de turbine

La turbine HP est la zone la plus sollicitée du réacteur : elle travaille juste en sortie de chambre de combustion.

Type de contrainte	Détail
Contraintes thermiques	Température extrême jusqu'à 1700°C ; oxydation / fluage ; nécessite un refroidissement interne
Contraintes mécaniques	Efforts centrifuges ; traction intense sur l'aube ; forts couples transmis
Contraintes aérodynamiques	Pression dynamique du gaz ; charges variables sur l'aube
Contraintes chimiques et environnementales	Corrosion à chaud ; érosion par particules (poussières, sable, cendres volcaniques...)
Contraintes vibratoires	Efforts variables ; amortissement ; résonance

Traitement céramique et refroidisseurs des NGV (Nozzle Guide Vanes) de la turbine HP : de l'air prélevé au compresseur circule à l'intérieur des aubes (« cooling air holes ») pour limiter la température métal malgré un gaz d'entrée bien plus chaud que la limite de tenue du matériau.

La turbine BP

- Entraîne la partie avant (FAN + compresseur BP)
- Récupère l'énergie calorifique des gaz pour la transformer en énergie mécanique
- Supporte les roulements arrière
- Le TRF (Turbine Rear Frame) redresse les filets d'air avant le cône d'éjection

Contrôle actif des jeux — ACC (Active Clearance Control)

Le contrôle actif des jeux de turbine est un système clé pour améliorer le rendement et sécuriser le fonctionnement d'un turboréacteur.

Principe : maîtriser la dilatation du carter grâce à de l'air prélevé sur le compresseur, piloté par le FADEC, afin de maintenir un jeu minimal entre les aubes de turbine et le carter, sans contact, quelles que soient les conditions de fonctionnement (moins de fuites = meilleur rendement).

Sigle	Signification
HPTACC	High Pressure Turbine Active Clearance Control — contrôle des jeux de la turbine HP
LPTACC	Low Pressure Turbine Active Clearance Control — contrôle des jeux de la turbine BP

Piège classique : un jeu trop large (« large clearance ») laisse fuir le flux autour des aubes → perte de rendement ; l'ACC réduit ce jeu (« reduced clearance ») en pilotant la température/dilatation du carter.

11. La tuyère — [ajout PPT]

Section absente de la fiche PDF d'origine — reconstituée à partir du support PowerPoint.

Rôle : augmenter les vitesses d'éjection.

- Flux chaud (primaire) : éjecté par la tuyère primaire, en sortie du cœur moteur (après la turbine).
- Flux froid (secondaire) : éjecté par la tuyère secondaire, autour du flux chaud (air du fan qui a contourné le cœur).
- Cône d'éjection (corps central d'éjection) : pièce centrale en sortie de tuyère primaire, qui participe à la forme de l'écoulement et à la réduction sonore.

Sur certains moteurs, le bord de la tuyère (ou du cône) est dentelé/festonné (« chevrons ») : cette géométrie favorise le mélange progressif entre flux chaud et flux froid en sortie, ce qui réduit le bruit du réacteur.

12. La boîte à accessoires (AGB) — [ajout PPT]

Section absente de la fiche PDF d'origine — reconstituée à partir du support PowerPoint.

Rôles de la boîte à accessoires

- Entraîner en rotation les accessoires essentiels pour l'avion et pour le moteur
- Récupérer la rotation du moteur au niveau de l'arbre HP (N2)
- Permettre le démarrage du réacteur (via le démarreur pneumatique)

Chaîne cinématique

Arbre HP (N2) → Inlet Gearbox (IGB, dans le fan frame) → Radial Drive Shaft (RDS) → Transfer Gearbox (TGB) → Accessory Gearbox (AGB), qui entraîne tous les accessoires en bout d'arbres.

Principaux équipements entraînés par l'AGB

Sigle	Équipement
MFP	Main Fuel Pump — pompe carburant principale
EDP	Engine Driven Pump — pompe hydraulique entraînée moteur
PAS	Pneumatic Air Starter — démarreur pneumatique
IDG	Integrated Drive Generator — génératrice électrique à vitesse constante
PMA	Permanent Magnet Alternator — alimente le FADEC
Lubrification Unit	Bloc de pompes du circuit de lubrification

Deux phases d'entrée de puissance mécanique : pendant la séquence de démarrage (le démarreur entraîne le N2 via l'AGB) et pendant le fonctionnement moteur (c'est l'inverse : le N2 entraîne les accessoires). Un couvercle de commande manuelle (« manual control cover ») permet, en maintenance, de faire tourner ou verrouiller manuellement le rotor HP (N2).

13. La régulation carburant

FADEC — Full Authority Digital Engine Control

Attention terminologie : certains supports écrivent « Drive » mais l'acronyme officiel est Full Authority DIGITAL Engine Control (calculateur numérique). Utilise « Digital » à l'examen.

- Utilisé sur les GTR double flux (turbofan). Principe identique au MEC (Mécanisme de Régulation, hydromécanique pur) MAIS avec l'ajout d'un calculateur (ECU), car ce n'est plus le flux chaud seul qui délivre la poussée principale : il faut prendre en compte la puissance délivrée par le FAN.
- Entrées calculateur : TLA/TRA (manette des gaz), N1, N2 (régimes), T12, T25, T3 (températures étages), P0, Ps12, Ps3 (pressions), infos avion, alimentation.
- Le calculateur (ECU / HMU) pilote : VSV, VBV, ACC (Active Clearance Control), le doseur, la vanne by-pass et le régulateur by-pass.
- Circuit HMU : Pompe HP → Doseur → Injecteurs, avec retour HP et retour pompe.

Les ECU — composants principaux

Composant	Fonction
EEC Channel A / B (x2, redondance)	Contrôle moteur selon commande de poussée, diagnostic système, transmet données poste pilotage + maintenance
PSS Box (Pressure Sub-System)	Transmet signaux à l'EEC pour mesure de pression d'air moteur
Data Entry Plug	Contient les données de configuration moteur pour le calculateur
Engine Wiring Harnesses	Transmettent les signaux électriques entre composants moteur
Fuel Temperature Transducer	Transmet la température carburant à l'EEC

14. Le circuit carburant

Le robinet coupe-feu

- Localisé sur le support moteur.
- Permet d'isoler le moteur en cas d'urgence.
- En cas de feu moteur, le pilote ferme le robinet depuis le poste de pilotage.

Composants principaux (acronymes clés)

Sigle	Nom / rôle
MFP	Main Fuel Pump — pressurise le carburant venant de l'avion et l'envoie vers la distribution/régulation
MFF	Main Fuel Filter (+cartouche) — filtre et retient les contaminants du carburant
FMU	Fuel Metering Unit — dose le débit carburant nécessaire à la combustion
MHX	Main Heat Exchanger — échangeur carburant / huile IDG
HPSOV	High Pressure Shut-Off Valve — vanne d'arrêt haute pression
FRV	Fuel Return Valve — renvoie le carburant chaud excédentaire vers les réservoirs avion
SFH	Servo Fuel Heater — réchauffe le carburant servo avec l'huile moteur
SCU/SVA	Split Control Unit / Servo Valve Assy — répartit le carburant dosé vers les injecteurs, alimente actionneurs et vannes
PMV	Pressurizing and Metering Valve — répartit vers Enrich Fuel Nozzles (x4,

Sigle	Nom / rôle
	démarrage) et Fuel Nozzles (x15, normal)
Fuel Flow Transmitter	Mesure et transmet le débit carburant vers les EEC
Jet Pump / Strainer / Wash Screen	Pompage auxiliaire, filtration grossière avant le doseur

15. Le circuit de lubrification

- Réservoir d'huile (Oil Tank) — Permet de vidanger la ligne entre le régulateur et les injecteurs. Équipé d'un capteur de température et de niveau. Pressurisé par de l'air. Couvert d'une couche de protection anti-feu.
- Bloc de lubrification (Lubrication Unit) — Entraîné par le boîtier accessoire (AGB). Contient toutes les pompes d'alimentation et de retour. Équipé de filtres alimentation et retour.
- Pompe d'alimentation — Pompe à engrenages haute pression. 1er élément traversé par l'huile en entrant dans le boîtier. Alimente en huile toutes les zones à lubrifier.
- Clapet de surpression — Situé juste après la pompe d'alimentation. Renvoie le débit excédentaire de la pompe vers le réservoir.
- Filtre d'alimentation — Situé après la pompe. Protège le circuit des corps étrangers. Équipé d'un bypass en cas de colmatage + d'un second filtre de secours si le bypass s'ouvre.
- Échangeur Oil/Fuel — Toujours en amont des éléments à lubrifier. Refroidit l'huile avant envoi aux points à lubrifier. Intégré au bloc de lubrification ou proche de l'AGB. 2 bypass : 1) huile trop froide, 2) échangeur colmaté.
- Distribution — L'unité de lubrification alimente : le boîtier de transfert de puissance et le boîtier d'entraînement accessoires (AGB) ; les roulements, enfermés dans une cage étanche avec joints labyrinthe, huile amenée par un gicleur, cage pressurisée à l'air, huile aspirée en retour vers le séparateur air/huile.
- Le retour — Chaque élément lubrifié (boîtier accessoires, boîtier de transfert, roulements) possède sa propre pompe d'aspiration de retour. Chaque pompe est précédée d'une crépine de pré-filtrage.
- Le déshuileur — Le fluide aspiré par les pompes de retour est un mélange air + huile. Le déshuileur, entraîné par l'AGB, sépare l'air de l'huile ; l'huile séparée repart via le filtre retour vers le réservoir.
- Le filtre retour — Supprime les impuretés avant retour au réservoir. Bypass en cas de colmatage, avec indicateur « pop-up ». Le capteur de température d'huile est en général monté en sortie de ce filtre.

Code couleur schéma constructeur détaillé : rouge = Supply Oil (huile fournie), beige/pointillé = Scavenged Oil (huile de retour), cyan = Vent Air, bleu = 7th stage HPC air (air prélevé compresseur pour pressurisation). SUMP A/B/C = paliers de roulements avant/central/arrière ; ODMS/OLS = jauge/niveau réservoir ; OPT/OPV = capteurs pression/température huile ; OFDP = pression différentielle filtre ; NRV = clapet anti-retour (Non Return Valve).

16. Paramètres de contrôle moteur et surveillance — [ajout PPT]

Section absente de la fiche PDF d'origine — reconstituée à partir du support PowerPoint.

Les commandes en cockpit

- Throttle Control Assembly (TCA) — les manettes des gaz, utilisées pour gérer la poussée du réacteur.
- Sélecteur ENG START (CRANK / NORM / IGN START) — contrôle la séquence de démarrage et l'allumage.
- Panneaux ENG (FADEC GND PWR, MAN START) et interrupteurs FIRE/FAULT par moteur — alimentation du FADEC au sol, démarrage manuel, et coupe-feu.

N1 / N2 — les régimes de rotation

Paramètre	Signification	Capteur
N1	Attelage BP (vitesse de rotation de l'ensemble basse pression : fan + compresseur BP + turbine BP)	Situé sur le fan case
N2	Attelage HP (vitesse de rotation de l'ensemble haute pression : compresseur HP + turbine HP)	Générateur placé sur la boîte d'accessoires (gearbox)

N1 et N2 sont généralement exprimés en % du régime nominal.

EGT — Exhaust Gas Temperature

Température des gaz d'échappement, mesurée par un capteur situé en sortie de turbine. C'est le paramètre clé de surveillance thermique du moteur : une EGT excessive traduit un moteur en limite de tenue (usure, dérive de régulation, etc.).

Fuel Flow (FF)

Débit carburant instantané. Capteur situé sur la ligne d'alimentation carburant, entre le régulateur (FMU/HMU) et les injecteurs.

EPR — Engine Pressure Ratio

Rapport de pression moteur : capteurs de pression statique en entrée et en sortie du réacteur ; l'EPR résulte de la comparaison entre ces deux valeurs. C'est un indicateur de poussée utilisé notamment sur les moteurs à taux de dilution modéré/faible (en alternative ou en complément du N1).

Indications de lubrification

Paramètre	Détail
Pression huile (OIL P)	Capteur sur le circuit de lubrification
Température huile (OIL T)	Capteur sur la ligne, généralement en sortie du filtre retour
Quantité huile (OIL QT)	Capteur placé dans le réservoir d'huile

Retenir le sens des lignes : alimentation (huile propre, vers les points à lubrifier) / retour (mélange air+huile, vers le déshuileur puis le réservoir).

Fiche construite à partir de deux supports : « ANTI-SÈCHE Propulsion CQPM 082 » (fiche PDF d'origine — sections 1 à 9 et 13 à 15) et « Propulsion CQPM 082 » (support PowerPoint AFMAé — compléments des sections 6, 10, 11, 12 et 16). Bon courage pour le contrôle !