

ARRIEL 1

▶ TURBOMOTEUR

Cours maintenance
1^{er} échelon



GROUPE TURBOMOTEUR

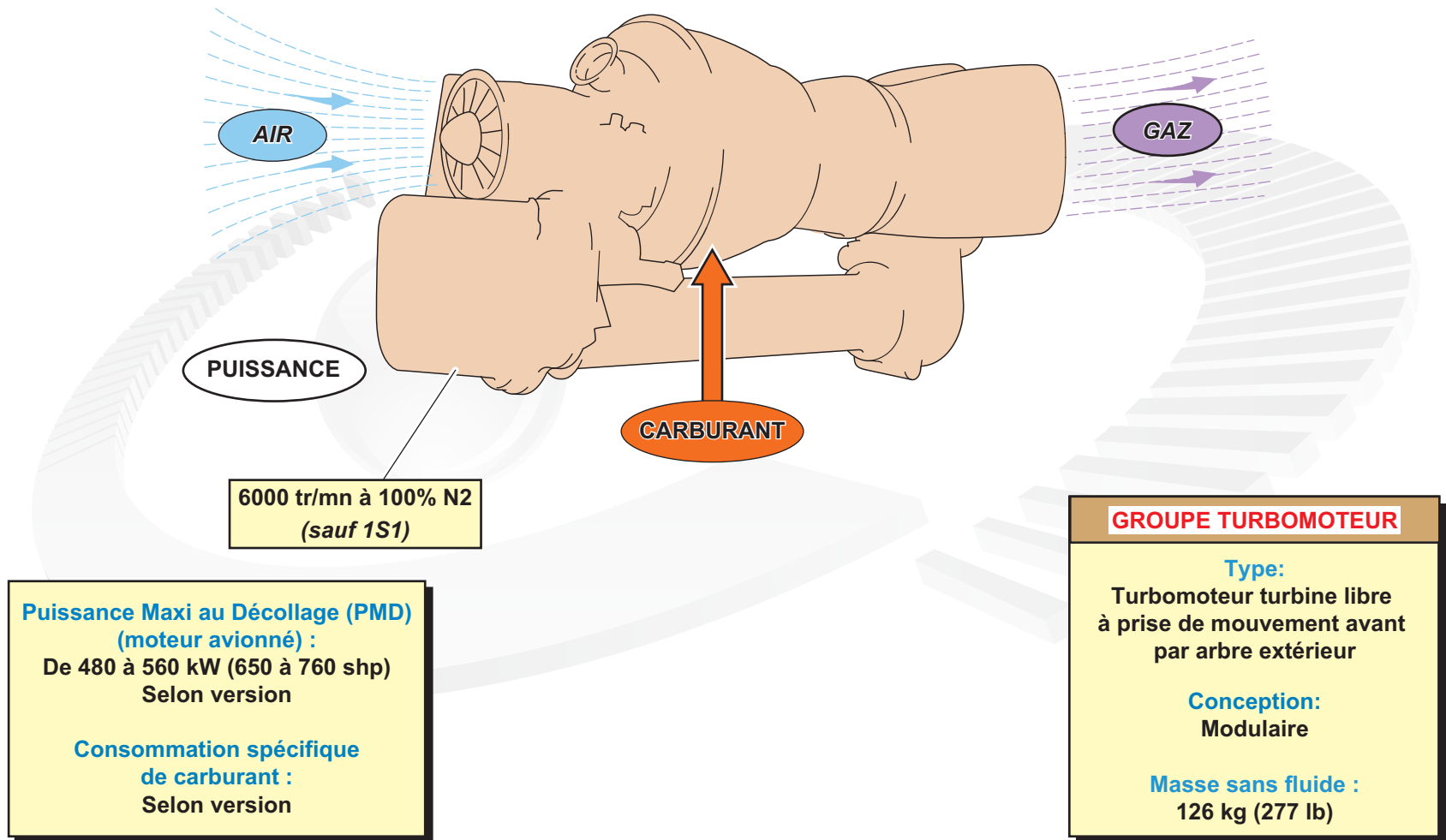
GÉNÉRALITÉS

Fonction

Le Groupe Turbomoteur (GTM) fournit la puissance en transformant l'énergie contenue dans l'air et dans le carburant en puissance mécanique sur un arbre.

Caractéristiques principales

- Type : turbomoteur turbine libre à prise de mouvement avant par arbre extérieur
- Conception : modulaire
- Puissance Maxi au Décollage (PMD) (moteur avionné) : de 480 à 560 kW (650 à 760 shp) : selon version
- Consommation spécifique de carburant : selon version
- Vitesse arbre de sortie : 6000 tr/mn (à 100% N2) (*sauf 1S1*)
- Dimensions et masse approximatives du moteur (peuvent varier selon version) :
 - Longueur : 1166 mm (45.5 inches)
 - Largeur : 465,5 mm (18.2 inches)
 - Hauteur : 609 mm (23.8 inches)
 - Masse sans fluide : 126 kg (277 lb)



GÉNÉRALITÉS GRUPE TURBOMOTEUR

GRUPE TURBOMOTEUR

DESCRIPTION

Cette partie présente les principaux éléments fonctionnels du moteur.

Générateur de gaz

- Compresseur axial mono-étage
- Compresseur centrifuge mono-étage
- Chambre de combustion annulaire à injection centrifuge de carburant
- Turbine axiale à deux étages.

Turbine libre

- Turbine axiale mono-étage.

Tuyère d'échappement

- Tuyère elliptique à échappement axial.

Réducteur

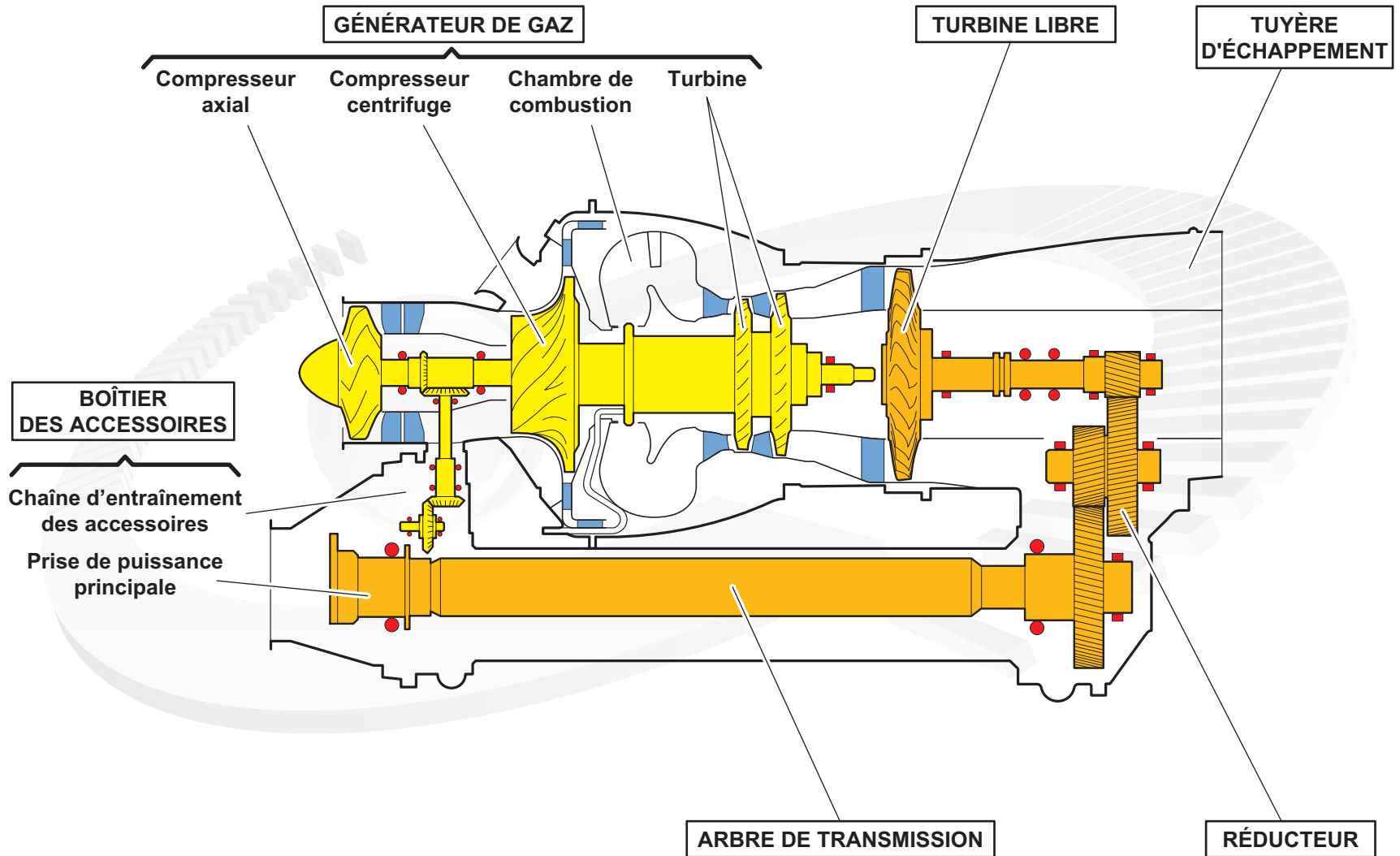
- Réducteur de vitesse comprenant trois étages de pignons hélicoïdaux.

Arbre de transmission

- Arbre extérieur logé dans un tube de protection, reliant le réducteur au boîtier des accessoires.

Boîtier des accessoires

- Boîtier renfermant la chaîne d'entraînement des accessoires (entraînée par le générateur de gaz) et la prise de puissance principale.



DESCRIPTION GROUPE TURBOMOTEUR

GROUPE TURBOMOTEUR

FONCTIONNEMENT

Cette partie présente les paramètres et l'adaptation des ensembles fonctionnels du générateur de gaz et de la turbine libre.

Adaptation des éléments

Pour le fonctionnement du moteur, on considère deux ensembles fonctionnels :

- Le générateur de gaz, qui fournit de l'énergie cinétique
- La turbine libre, qui transforme cette énergie cinétique en puissance mécanique sur un arbre.

Les deux ensembles tournent à des vitesses différentes.

Générateur de gaz

Le fonctionnement du générateur de gaz est défini par :

- Le débit d'air massique (G) (débit d'air qui pénètre dans le moteur)
- La pression d'air et la température d'air à la sortie du compresseur centrifuge (P2 et T2)
- Le débit carburant (WF) injecté dans la chambre de combustion
- La température des gaz à l'entrée de la turbine générateur de gaz (TET)
- La vitesse de rotation du générateur de gaz (N1)
- L'énergie cinétique (Ec) fournie à la turbine libre.

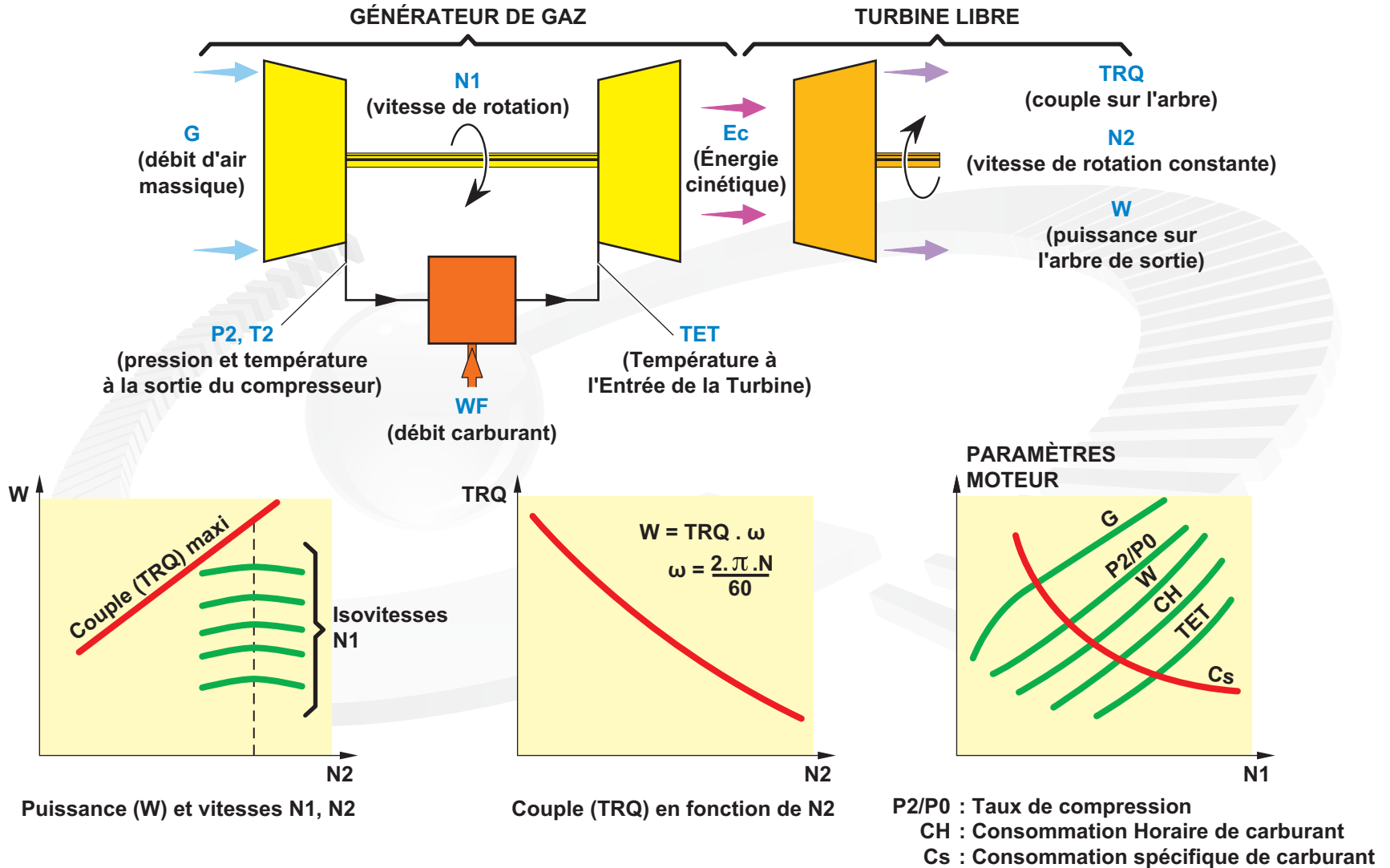
Turbine libre

Le fonctionnement de la turbine libre est défini par l'équilibre entre la puissance fournie par le générateur de gaz sous forme d'énergie cinétique, et le couple appliqué sur l'arbre, c'est-à-dire la vitesse de rotation N2 et le couple (TRQ).

Fonctionnement

Le fonctionnement est représenté par le diagramme montrant la puissance (W), les vitesses (N1 et N2) et la limite de couple TRQ maxi imposée par la transmission mécanique :

- Le couple (TRQ) est fonction de la vitesse de rotation N2
- La puissance (W) est le produit du couple (TRQ) et de la vitesse angulaire (ω)
- À vitesse N2 constante, la puissance est uniquement fonction du couple
- Les paramètres du groupe turbomoteur peuvent être représentés en fonction d'un paramètre de référence ; par exemple N1.



FONCTIONNEMENT GROUPE TURBOMOTEUR

PRINCIPE D'UTILISATION SUR HÉLICOPTÈRE

Transmission de puissance

La puissance mécanique, fournie par le moteur, est utilisée pour entraîner les rotors de l'hélicoptère à travers une transmission mécanique.

Cette puissance est absorbée par :

- Le rotor principal (environ 82%)
- Le rotor arrière (environ 10%)
- La boîte de transmission principale (environ 8%).

Configuration bi-moteur

Dans une configuration bi-moteur, les moteurs sont montés à l'arrière de la boîte de transmission principale.

Les turbines libres des deux moteurs sont liées à la boîte de transmission principale, qui transmet le mouvement aux rotors (rotor principal et rotor arrière).

Exigences de l'installation

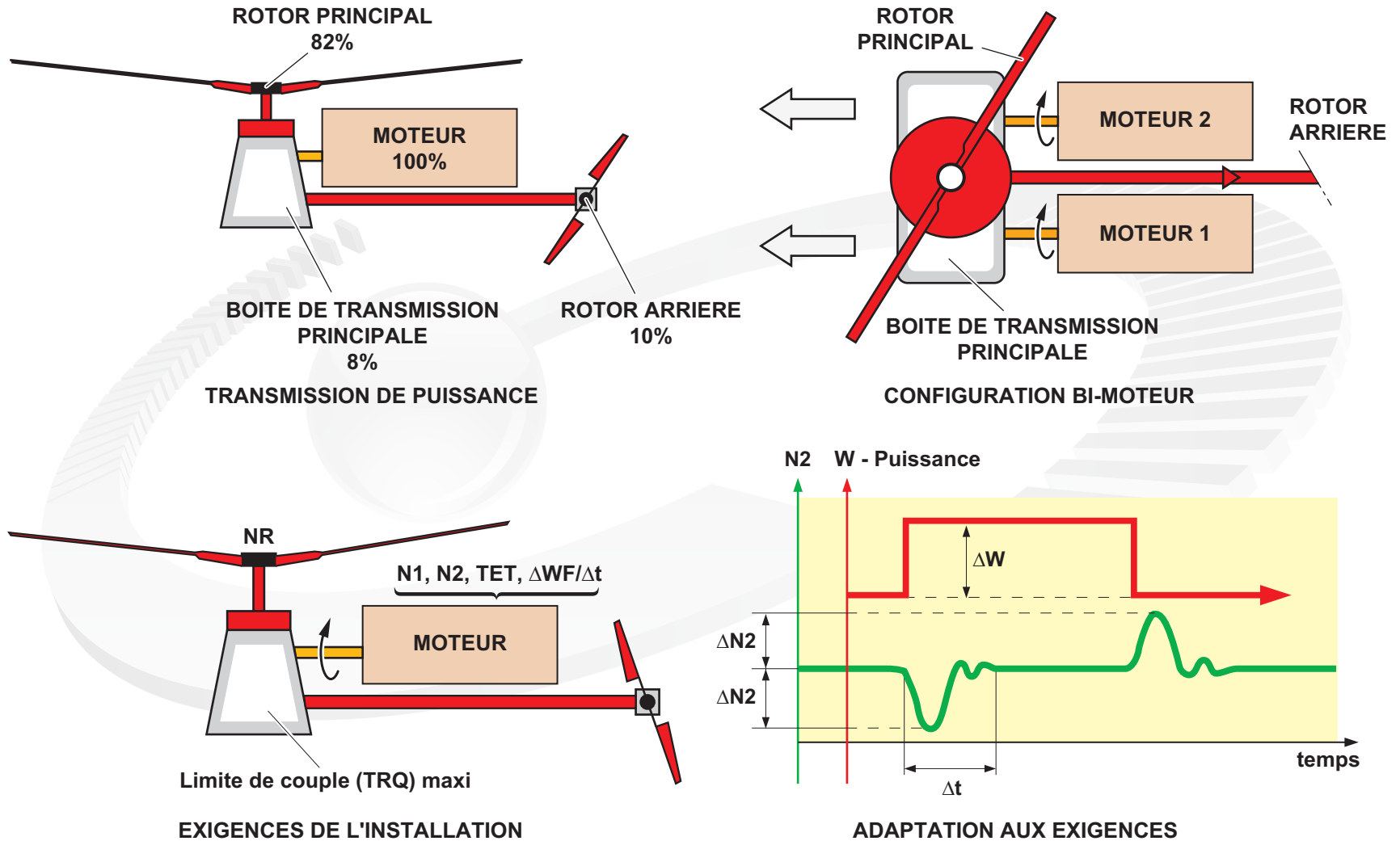
Les principales exigences fonctionnelles de l'installation sont :

- Vitesse de rotation du rotor (NR) quasi constante dans toutes les conditions de vol
- Limite de couple (TRQ) maxi (limite généralement imposée par la transmission mécanique)
- Protection complète du moteur (vitesses N1 et N2, TET, pompage du compresseur ($\Delta WF/\Delta t$), ...)
- Bonne répartition des charges en configuration bi-moteur.

Adaptation aux exigences

Pour obtenir une vitesse de rotation constante de la turbine libre (N2), la puissance fournie par le moteur s'adapte automatiquement aux demandes.

Cette adaptation est assurée par la régulation du débit de carburant injecté dans la chambre de combustion afin d'obtenir la puissance désirée (variation de la vitesse de rotation du générateur de gaz (N1)) tout en maintenant le moteur dans ses limites de fonctionnement.



PRINCIPE D'UTILISATION SUR HÉLICOPTÈRE

3 - MOTEUR

- Moteur - Présentation	3.2
- Compresseur axial	3.6
- Compresseur centrifuge	3.8
- Chambre de combustion	3.10
- Turbine générateur de gaz	3.12
- Turbine libre	3.14
- Système d'échappement	3.16
- Réducteur	3.18
- Arbre de transmission et boîtier d'accessoires	3.20
- Moteur - Fonctionnement	3.32
- Moteur - Maintenance 1 ^{er} échelon	3.34 - 3.39

MOTEUR - PRÉSENTATION

GÉNÉRALITÉS

Fonction

Le moteur transforme l'énergie contenue dans l'air et dans le carburant en puissance mécanique sur un arbre.

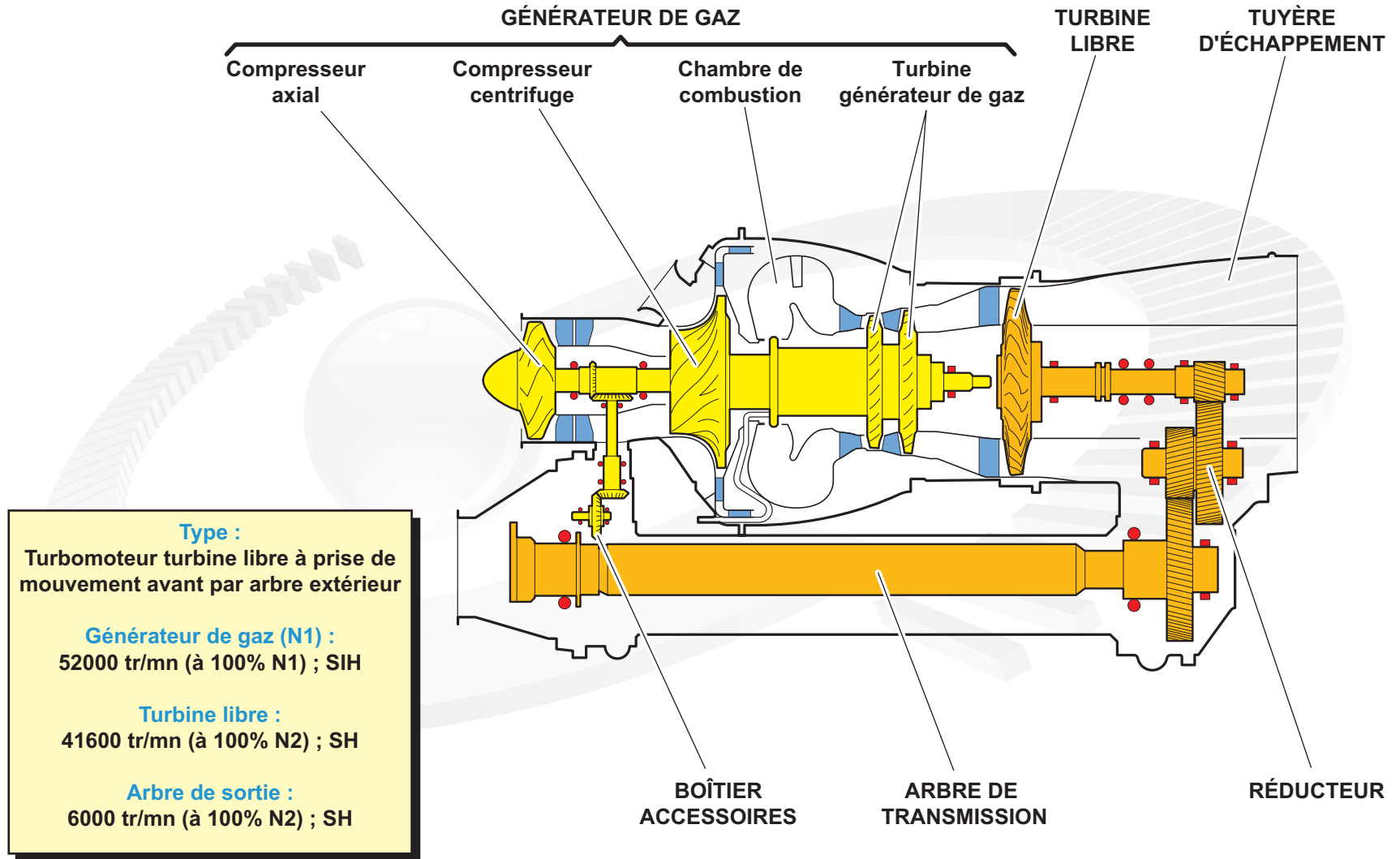
Caractéristiques principales

- Type : Turbomoteur turbine libre à prise de mouvement avant par arbre extérieur
- Générateur de gaz :
 - Vitesse : 52000 tr/mn (à 100% N1)
 - Sens de rotation : Sens inverse horaire (SIH)
- Turbine libre :
 - Vitesse : 41600 tr/mn (à 100% N2)
 - Sens de rotation : Sens horaire (SH)
- Arbre de sortie :
 - Vitesse : 6000 tr/mn (à 100% N2)
 - Sens de rotation : Sens horaire (SH).

Éléments principaux

- Générateur de gaz
 - Compresseur axial
 - Compresseur centrifuge
 - Chambre de combustion
 - Turbine générateur de gaz
- Turbine libre
- Tuyère d'échappement
- Réducteur
- Arbre de transmission
- Boîtier accessoires.

Note : Sens de rotation indiqué vu de l'arrière.



GÉNÉRALITÉS MOTEUR - PRÉSENTATION

MOTEUR - PRÉSENTATION

DESCRIPTION

Conception modulaire

Le moteur est composé de 5 modules :

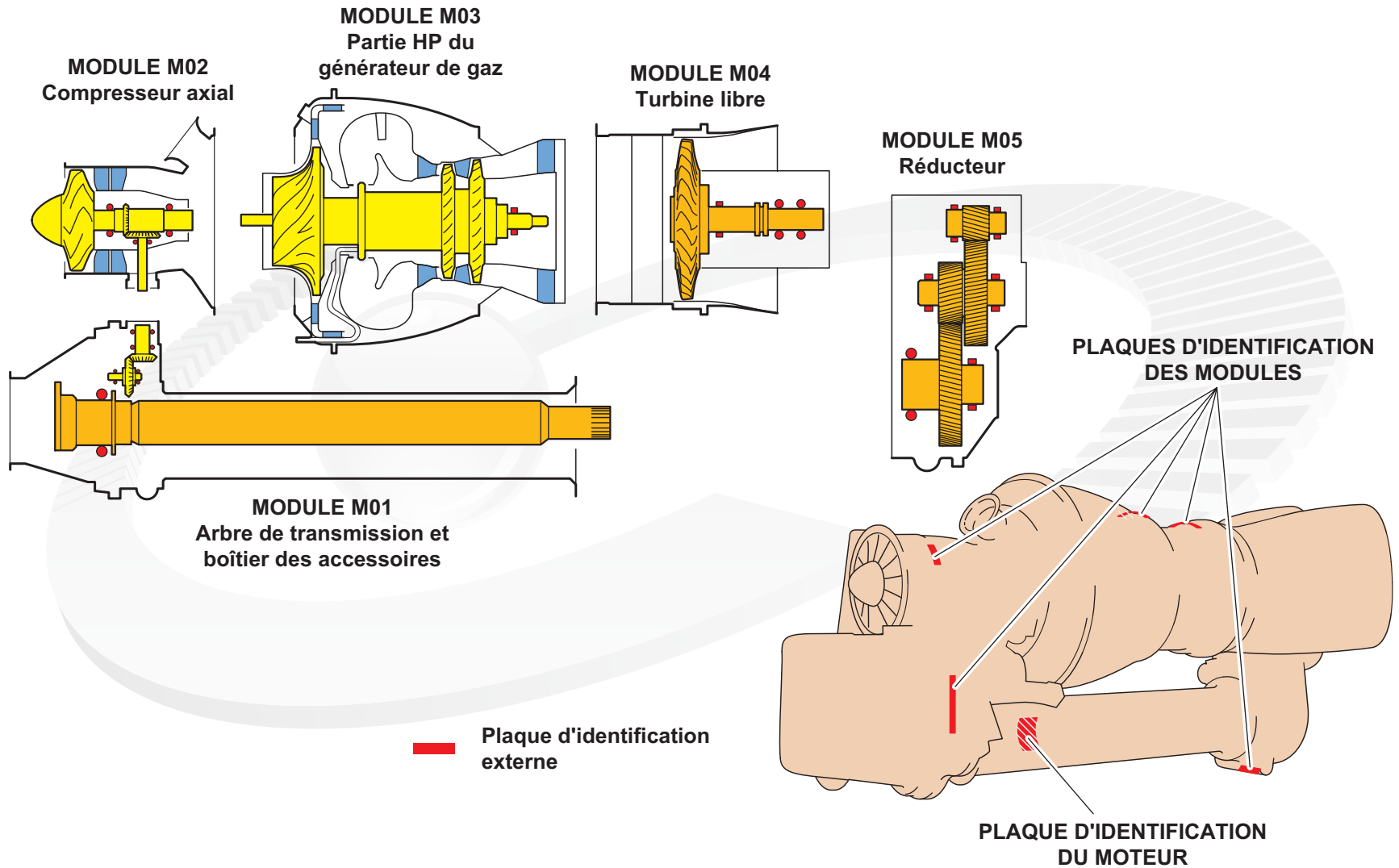
- Module M01 : Arbre de transmission et boîtier des accessoires
- Module M02 : Compresseur axial
- Module M03 : Partie HP du générateur de gaz
- Module M04 : Turbine libre
- Module M05 : Réducteur.

Note 1 : *Un module est un sous-ensemble interchangeable sur site (maintenance 2^{ème} échelon) sans nécessiter de travail d'adaptation ni d'outillages complexes.*

Chaque module comporte une plaque d'identification. La plaque d'identification du moteur est fixée sur la droite du tube de protection du module M01.

Note 2 : *Un certain nombre d'accessoires sont liés à chaque module.*

Dans ces notes de cours, ces éléments sont traités dans les chapitres correspondant aux fonctions.



DESCRIPTION MOTEUR - PRÉSENTATION

COMPRESSEUR AXIAL

PRÉSENTATION

Fonction

Le compresseur axial assure un premier étage de compression pour suralimenter le compresseur centrifuge.

Position

- À l'avant du moteur (l'ensemble compresseur axial constitue le module M02).

Caractéristiques principales

- Type : compresseur axial de suralimentation
- Débit d'air : 2,5 kg/sec (5.5 lb/sec.)
- Vitesse de rotation : N1 ; SIH
- Roue fabriquée en titane et taillée dans la masse.

Éléments principaux

- Éléments rotatifs :
 - Cône d'entrée d'air,
 - Roue axiale,
 - Arbre,
 - Palier,
 - Arbre d'entraînement des accessoires,

- Éléments statiques :

- Diffuseur,
- Carter.

Description fonctionnelle

Le compresseur axial assure un premier étage de compression qui permet de suralimenter le compresseur centrifuge.

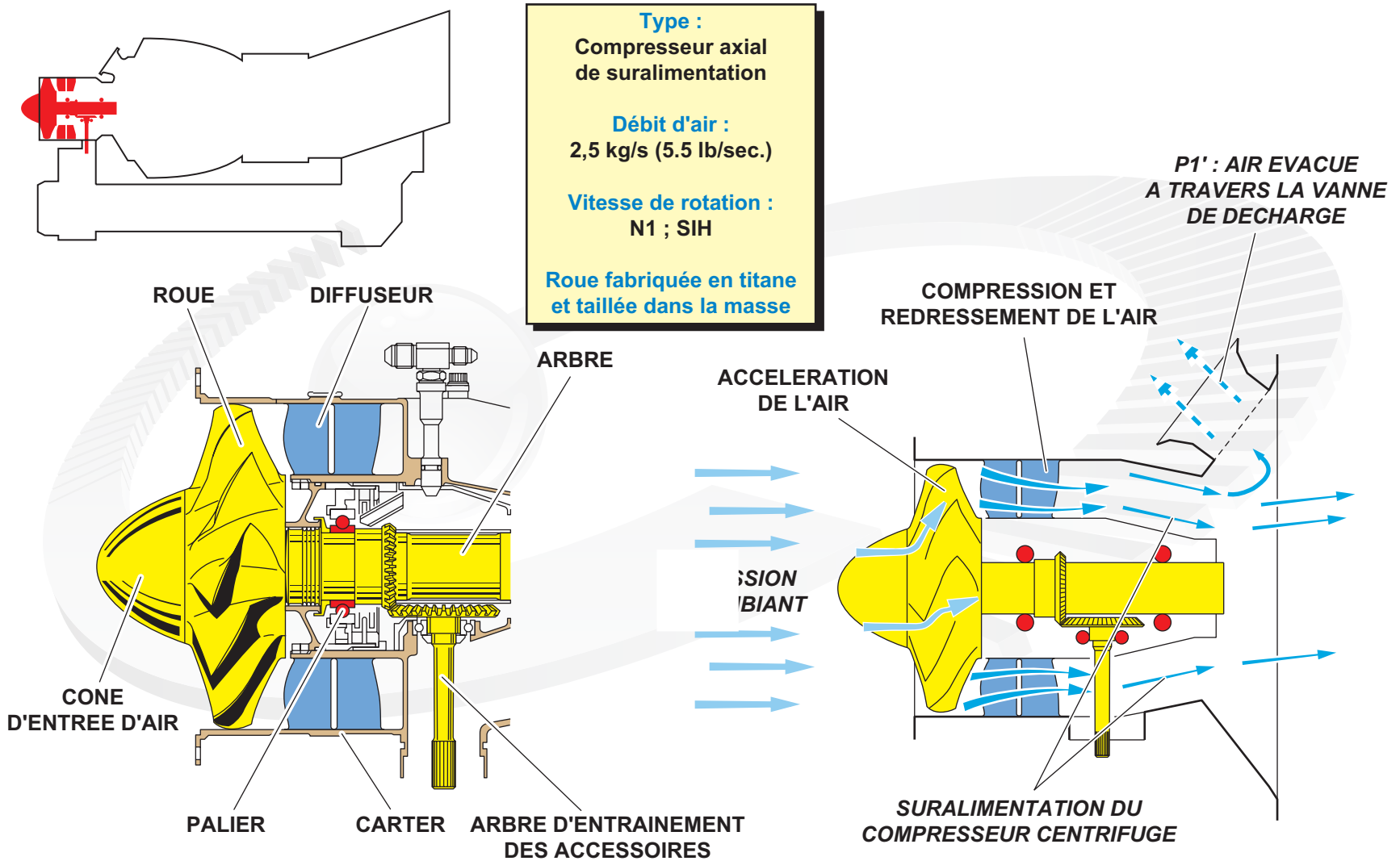
Écoulement de l'air

L'air ambiant, admis au travers du conduit d'entrée d'air et guidé par le cône d'entrée, s'écoule entre les pales de la roue du compresseur axial. L'air est refoulé vers l'arrière en subissant une augmentation de vitesse axiale.

L'air s'écoule ensuite au travers des aubes du diffuseur. Du fait de la section de passage divergente, la vitesse de l'air diminue et la pression augmente.

En outre, l'écoulement est redressé et l'air admis, par le conduit annulaire, à l'entrée du compresseur centrifuge.

Note : Afin d'éviter le phénomène de pompage, une vanne décharge à l'extérieur de l'air sortie compresseur dans certaines conditions de fonctionnement.



PRÉSENTATION COMPRESSEUR AXIAL

COMPRESSEUR CENTRIFUGE

PRÉSENTATION

Fonction

Le compresseur fournit l'air comprimé nécessaire à la combustion.

Suralimenté par le compresseur axial, il assure la deuxième étape de compression.

Position

- À l'avant du module M03.

Caractéristiques principales

- Type : centrifuge, rendement élevé
- Débit d'air : 2,5 kg/s (5.5 lb/sec.)
- Taux de compression : 5,4/1 (global : 8,2/1)
- Vitesse de rotation : N1 ; SIH
- Roue fabriquée en titane et taillée dans la masse.

Éléments principaux

- Éléments rotatifs :
 - Roue,
 - Arbre,
 - Palier,

- Éléments statiques :
 - Diffuseurs,
 - Carters.

Description fonctionnelle

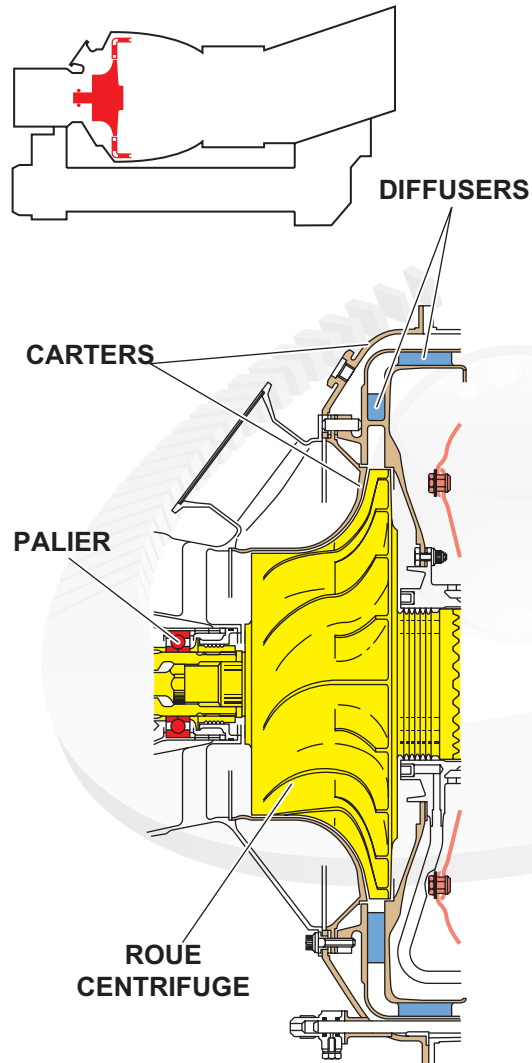
Le compresseur centrifuge assure l'étage de compression principale.

Écoulement dans le compresseur

L'air provenant du compresseur axial s'écoule entre les pales de la roue du compresseur centrifuge. La pression de l'air augmente du fait de la section de passage divergente et la vitesse augmente progressivement du fait de l'écoulement centrifuge.

L'air quitte l'extrémité des pales à très grande vitesse et passe au travers des aubes du diffuseur 1^{er} étage où la vitesse est transformée en pression.

L'air passe ensuite dans un coude et l'écoulement devient axial. Dans le diffuseur 2^{ème} étage, la vitesse est une nouvelle fois transformée en pression et l'air est admis dans la chambre de combustion.



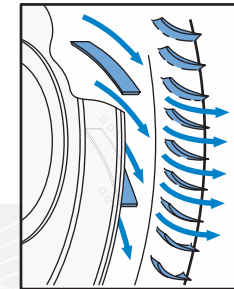
Type :
Centrifuge, rendement élevé

Débit d'air :
2,5 kg/s (5.5 lb/sec.)

Taux de compression :
5,4/1 (global : 8,2/1)

Vitesse de rotation :
N1 ; SIH

Roue fabriquée en titane
et taillée dans la masse



COMPRESSION DE L'AIR
DANS LES ÉTAGES DU
DIFFUSEUR

SURALIMENTATION
PAR COMPRESSEUR
AXIAL

AIR ADMIS DANS
LA CHAMBRE
DE COMBUSTION

ACCELERATION ET
COMPRESSION
DE L'AIR

PRÉSENTATION COMPRESSEUR CENTRIFUGE

CHAMBRE DE COMBUSTION

PRÉSENTATION

Fonction

La chambre de combustion forme une enceinte dans laquelle le mélange air/carburant est brûlé.

Position

- Partie centrale du générateur de gaz.

Caractéristiques principales

- Type : annulaire à injection centrifuge de carburant
- Fabriqué en alliage spécial.

Éléments principaux

- Partie extérieure :
 - Tôle de turbulence avant,
 - Mélangeur,
- Partie intérieure :
 - Tôle de turbulence arrière,
 - Virole,
- Système d'injection de carburant,
- Carter turbine,
- Clapet de drainage chambre de combustion.

Description fonctionnelle

La chambre de combustion est une enceinte dans laquelle le mélange air/carburant est brûlé de façon permanente.

Écoulement dans la chambre

Dans la chambre, l'air comprimé est divisé en deux flux principaux : un flux d'air primaire mélangé au carburant pour la combustion, un flux d'air secondaire ou de dilution pour le refroidissement des gaz.

- **Air primaire** : une partie s'écoule par les orifices de la tôle de turbulence avant.

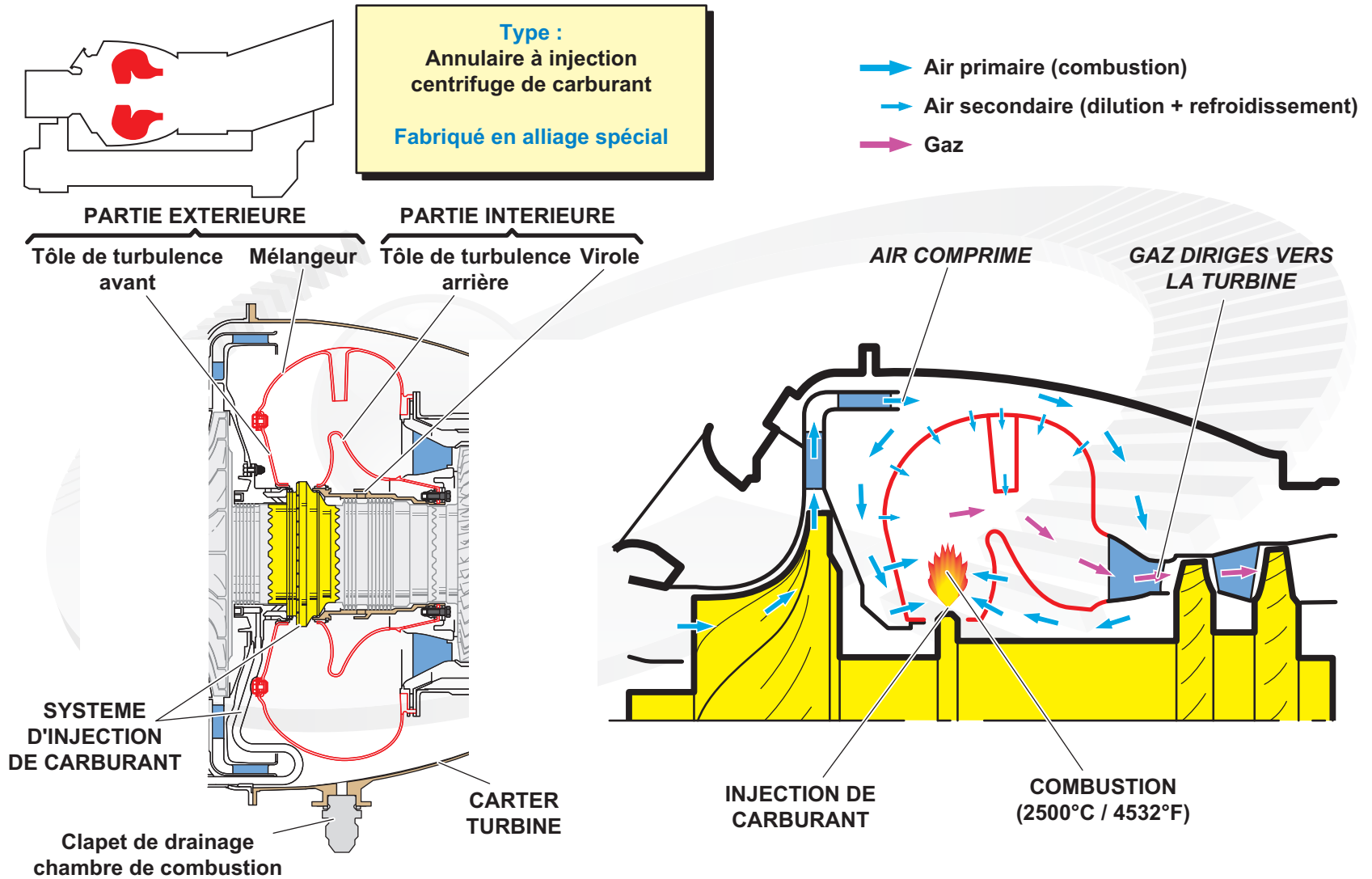
Une deuxième partie passe par les aubes creuses du distributeur turbine (refroidissement des aubes) et par les orifices de la tôle de turbulence arrière.

L'air primaire est mélangé au carburant pulvérisé par la roue d'injection centrifuge. La combustion se produit entre les deux tôles de turbulence ; la température de la flamme atteint environ 2500°C (4532°F).

- **Air secondaire** : l'air secondaire (ou air de dilution) s'écoule par les orifices du mélangeur et les tubes de dilution. Il est calibré pour obtenir la stabilité de la flamme, refroidir les gaz et obtenir une bonne répartition de température sur la turbine.
- **Gaz** : les gaz issus de la combustion sont dirigés vers le distributeur turbine.
- **Purge** : un clapet de drainage chambre de combustion fixé sur un bossage de la partie inférieure du carter turbine évacue à l'extérieur le carburant non brûlé.

Paramètres de fonctionnement

Le rapport carburant/air de combustion est de l'ordre de 1/15 ; le rapport global carburant/air de l'ordre de 1/45. La perte de charge (chute de pression) est d'environ 4%.



PRÉSENTATION CHAMBRE DE COMBUSTION

TURBINE GÉNÉRATEUR DE GAZ

PRÉSENTATION

Fonction

La turbine extrait l'énergie des gaz nécessaire pour entraîner les compresseurs et les accessoires.

Position

- À l'arrière du générateur de gaz.

Caractéristiques principales

- Type : axial, deux étages
- Vitesse de rotation : N1 ; SIH
- Température entrée turbine : environ 1100°C (2012°F) selon version moteur
- Fabriquée en alliage spécial.

Éléments principaux

- Éléments rotatifs :
 - Roues,
 - Arbres,
 - Palier,
- Éléments statiques :
 - Distributeurs,
 - Blindage,
 - Carter.

Description fonctionnelle

La turbine du générateur de gaz transforme l'énergie cinétique contenue dans les gaz brûlés en puissance mécanique pour entraîner les compresseurs et les accessoires.

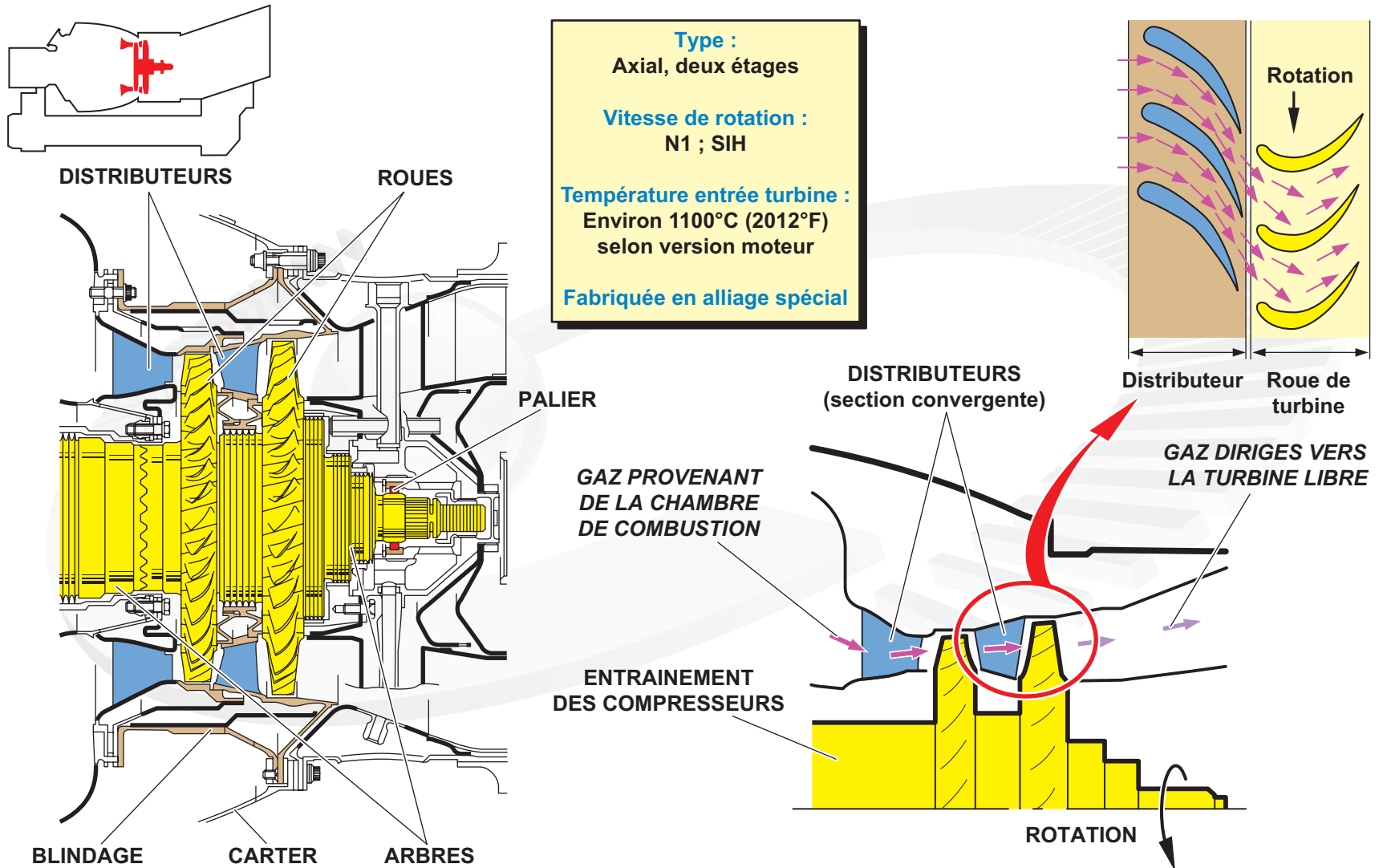
Le fonctionnement est caractérisé par la phase de première détente des gaz.

Écoulement des gaz dans la turbine

Les gaz issus de la combustion s'écoulent d'abord au travers des aubes du distributeur. La vitesse des gaz augmente du fait de la section de passage convergente.

L'écoulement des gaz sur les pales donne naissance à des forces aérodynamiques dont la résultante provoque la rotation des roues.

Les gaz possédant encore de l'énergie sont ensuite dirigés vers la turbine libre.



PRÉSENTATION TURBINE GÉNÉRATEUR DE GAZ

TURBINE LIBRE

PRÉSENTATION

Fonction

La turbine extrait l'énergie des gaz pour entraîner la prise de puissance à travers le réducteur.

Position

- Entre le générateur de gaz et le réducteur

Elle constitue le module M04.

Caractéristiques principales

- Type : axial, mono-étage
- Vitesse de rotation : N2 ; SH
- Fabriquée en alliage spécial

Éléments principaux

- Éléments rotatifs :
 - Roue,
 - Arbre,
 - Paliers,
- Éléments statiques :
 - Distributeur,
 - Blindage,
 - Carter.

Description fonctionnelle

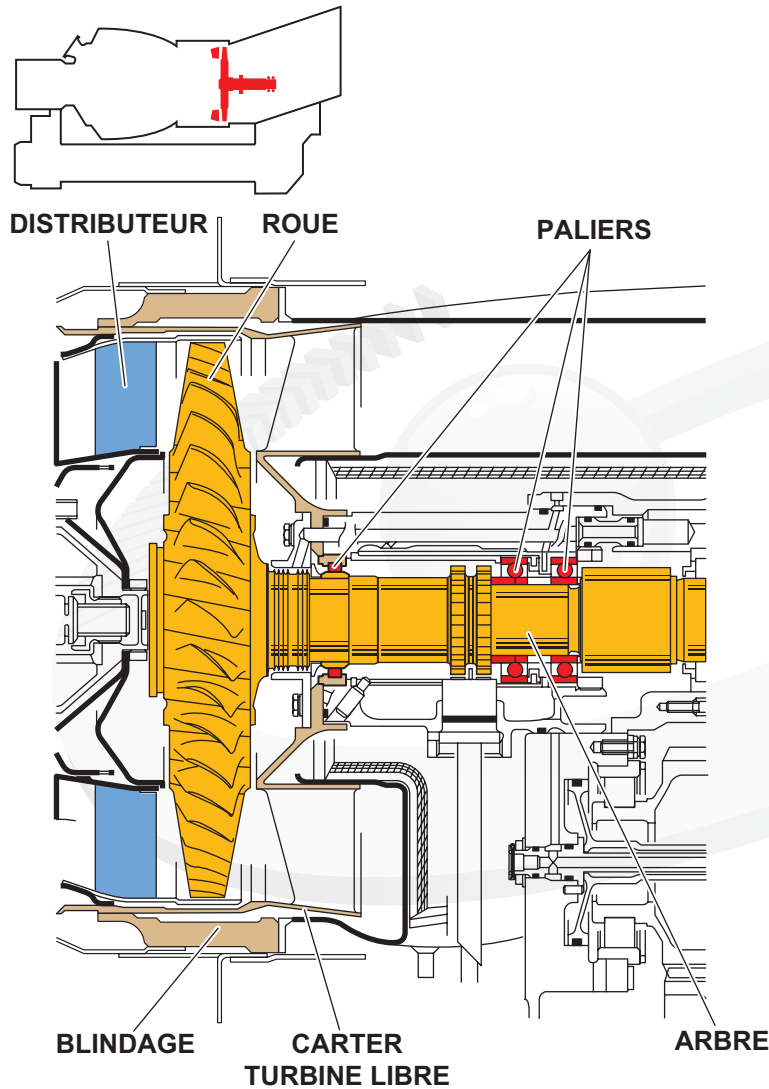
La turbine libre transforme l'énergie des gaz fournie par le générateur de gaz en puissance mécanique pour l'entraînement du réducteur.

Le fonctionnement est caractérisé par la deuxième phase de détente.

Écoulement dans la turbine

Les gaz issus du générateur de gaz s'écoulent au travers du distributeur. Dans le distributeur, la vitesse augmente en raison de la section de passage convergente.

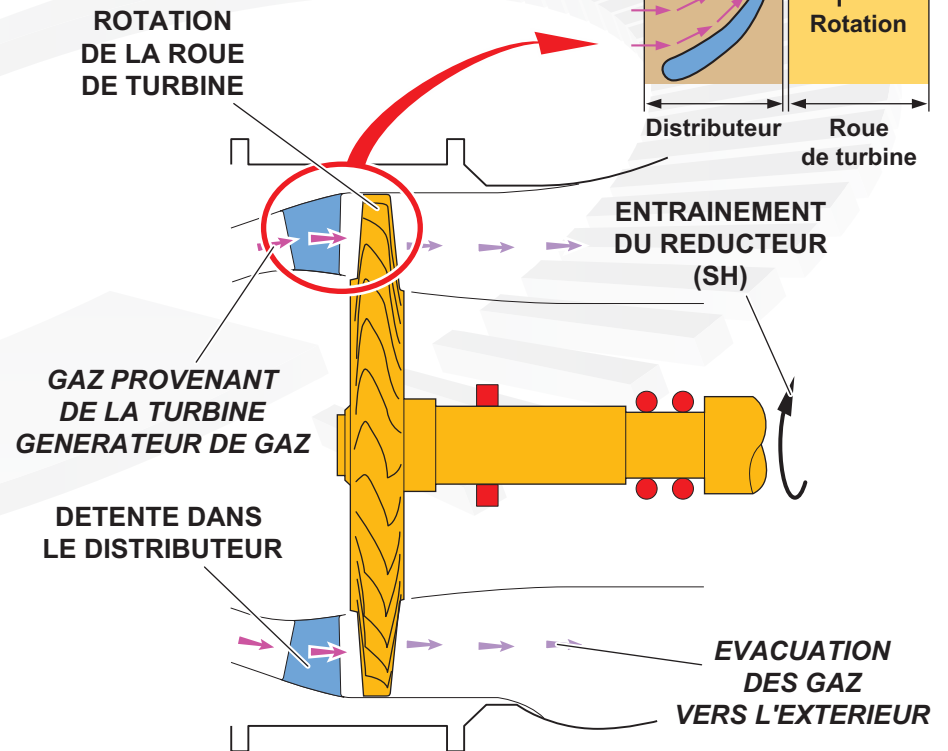
Les gaz sont dirigés sur les pales de turbine et la résultante des forces aérodynamiques dues à l'écoulement provoque la rotation de la roue. Les gaz sont ensuite évacués à l'extérieur par la tuyère.



Type :
Axial, mono-étage

Vitesse de rotation :
N2 ; SH

Fabriquée en alliage spécial



PRÉSENTATION TURBINE LIBRE

SYSTÈME D'ÉCHAPPEMENT

Fonction

Le système d'échappement poursuit la phase de détente et évacue les gaz à l'extérieur.

Position

- A l'arrière de la turbine libre, autour du réducteur.

Caractéristiques principales

- Type : elliptique
- Ensemble non modulaire
- Température des gaz : 600°C (1080°F)
- Fabriquée en acier inoxydable.

Éléments principaux

- Tuyère d'échappement
- Bouclier thermique.

Note : La tuyère est un SRU (Shop Replaceable Unit = élément remplaçable en atelier).

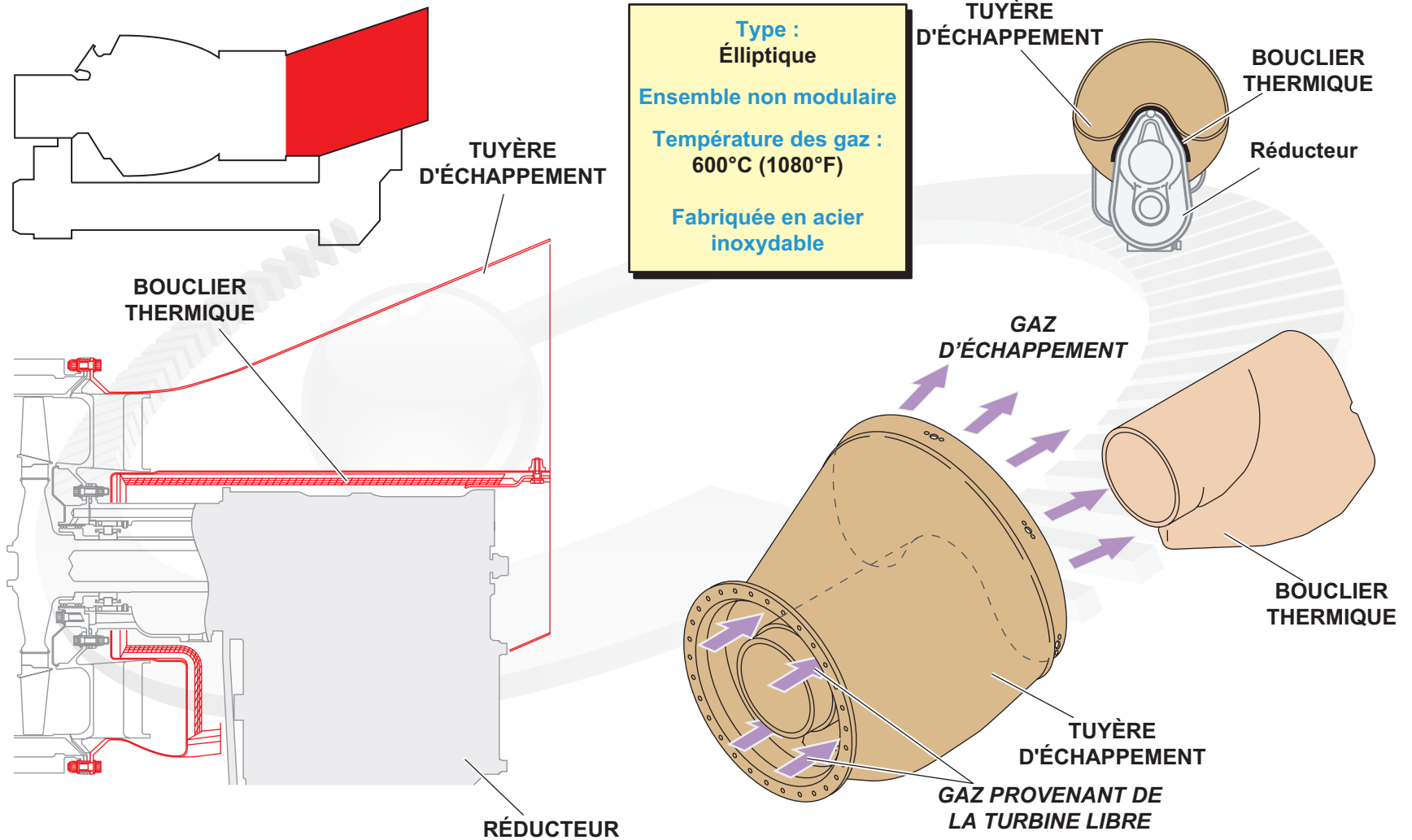
Description fonctionnelle

La tuyère de forme elliptique est un ensemble chaudronné en acier inoxydable. Elle est montée par vis, avec le carter turbine libre, sur la bride arrière de l'anneau de blindage de la turbine libre.

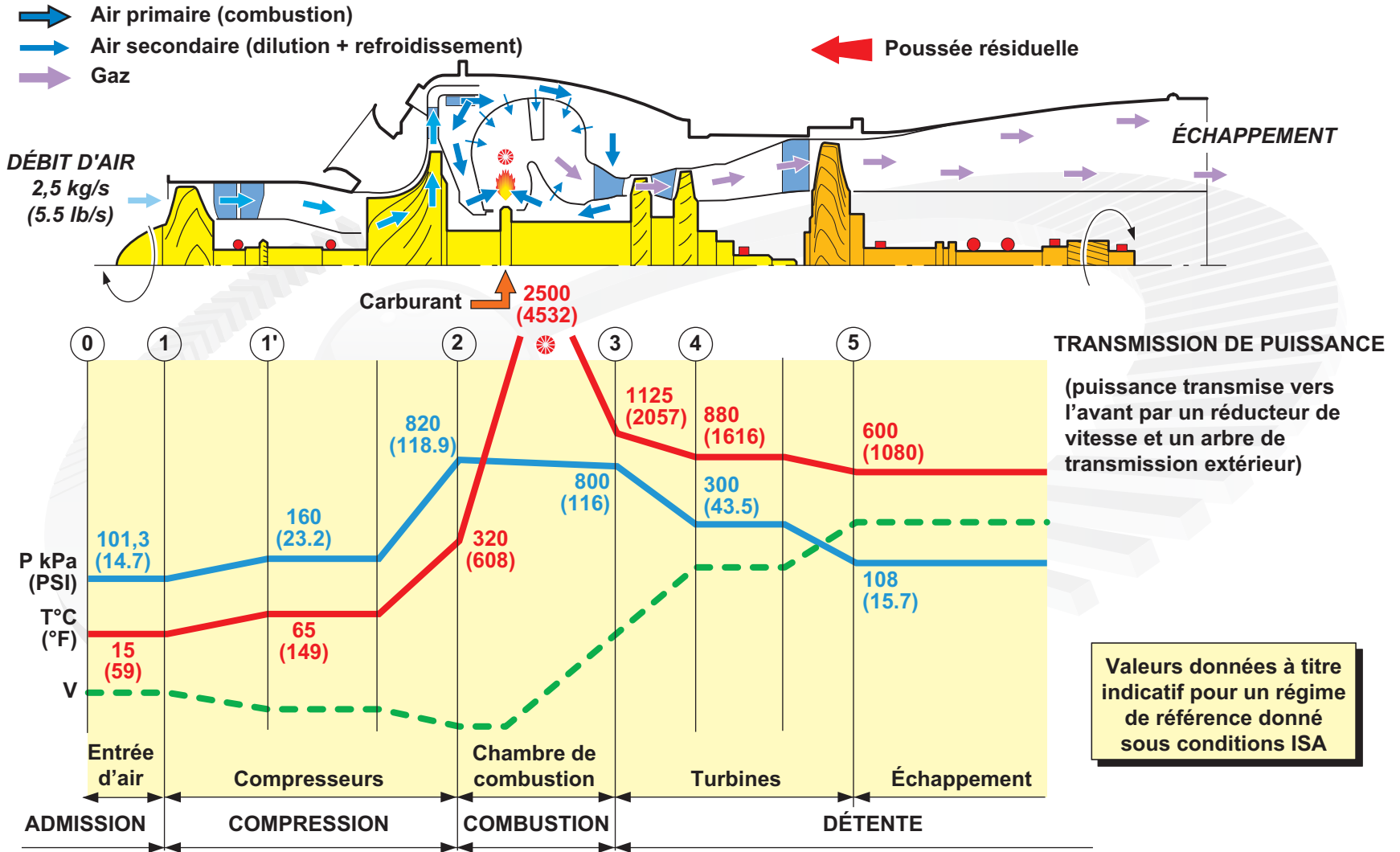
Un bouclier thermique est interposé entre la tuyère et le réducteur afin de protéger le réducteur contre le rayonnement thermique.

La tuyère possède également un drain situé à sa partie inférieure.

Du point de vue fonctionnel, il faut simplement noter que les gaz évacués à l'extérieur possèdent encore une certaine énergie donnant naissance à une légère poussée résiduelle.



SYSTÈME D'ÉCHAPPEMENT



MOTEUR - FONCTIONNEMENT