

Différents types de chaudières industrielles

par **Alain RIOU**

*Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique
Chef de Projets dans la Division Chaudières Industrielles de la Société Babcock Entreprise*

et **Jean-Pierre DEPAUW**

Ingénieur de l'École Centrale des Arts et Manufactures

1. Tentative de classification	B 1 480 - 2
2. Chaudières à tubes de fumées	— 3
2.1 Chaudières à tube foyer traversant et boîte de fumées extérieure	— 4
2.2 Chaudières à boîte de fumées immergée.....	— 5
2.3 Chaudières à boîte de fumées refroidie, constituée de tubes d'eau	— 6
2.4 Chaudières ambitubulaires.....	— 6
3. Chaudières à tubes d'eau	— 8
3.1 Petites chaudières à vaporisation instantanée.....	— 8
3.2 Chaudières Field et dérivées.....	— 10
3.3 Chaudières à tubes inclinés ou verticaux.....	— 11
4. Chaudières à combustion sous pression	— 25
4.1 Généralités	— 25
4.2 But de la combustion sous pression.....	— 26
4.3 Exemples de réalisations de chaudières marines sous pression	— 26
5. Chaudières à eau chaude	— 28
5.1 Généralités	— 28
5.2 Schémas de principe des installations	— 29
5.3 Conception des chaudières.....	— 30
6. Chaudières à fluide caloporteur	— 33
6.1 Fluides caloporteurs	— 33
6.2 Problèmes techniques et principes de conception des chaudières	— 34
6.3 Mise en œuvre de ces principes.....	— 35
Pour en savoir plus	Doc. B 1 480

Les pressions données dans cet article sont des **pressions effectives** (en bar).
Par ailleurs, comme il est d'usage dans la profession, le terme de **vaporisation** est utilisé comme synonyme de **production de vapeur**.

Turbines à gaz aéronautiques et terrestres

par **Max GIRAUD**

*Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace
Ancien Chef du Département Études et Recherches aérothermodynamiques
de la Société Turboméca*

et **Joël SILET**

*Ingénieur de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs en Constructions Aéronautiques
Chef du Service Avant-Projet et Performances de la Société Turboméca*

1. Rappels théoriques	B 4 410 - 4
1.1 Formules générales	— 4
1.2 Nombres de Mach et grandeurs d'arrêt ou totales dans un gaz parfait	— 4
1.3 Fonction de débit	— 5
1.4 Travaux et rendements de compression	— 5
1.5 Travaux et rendements de détente	— 6
1.6 Efficacités diverses	— 6
1.7 Propriétés thermodynamiques de l'air et des gaz de combustion	— 7
1.8 Variables réduites	— 8
1.9 Lois d'échelle	— 8
2. Configurations de base	— 8
3. Turbomoteurs	— 9
3.1 Différents types de turbomoteurs	— 9
3.1.1 Architectures	— 9
3.1.2 Utilisations	— 11
3.2 Comparaison entre les turbomoteurs et les moteurs alternatifs	— 12
3.3 Principaux types de cycles thermodynamiques	— 12
3.4 Caractérisation des organes	— 13
3.4.1 Entrée d'air	— 14
3.4.2 Compresseurs	— 14
3.4.3 Chambre de combustion	— 17
3.4.4 Turbines	— 19
3.4.5 Échangeur de chaleur	— 22
3.4.6 Tuyère d'échappement	— 23
3.5 Caractérisation des performances d'un turbomoteur	— 23
3.5.1 Turbine liée	— 24
3.5.2 Turbine libre	— 26
3.5.3 Turbine à échangeur de chaleur	— 28
3.5.4 Turbomoteur à cycle fermé	— 29
3.6 Fonctionnement hors adaptation	— 31
3.6.1 Diagrammes du compresseur et de la turbine	— 31
3.6.2 Fonctionnement d'une turbine liée	— 32
3.6.3 Fonctionnement d'une turbine libre	— 34
3.6.4 Fonctionnement d'un turbomoteur à cycle fermé	— 35
3.6.5 Dossier performances	— 37
3.7 Éléments de choix d'un turbomoteur	— 37
3.7.1 Applications aéronautiques	— 37
3.7.2 Applications terrestres	— 39
3.7.3 Groupes Auxiliaires de puissance (GAP)	— 39

Les **turbines à gaz** font partie de la catégorie des **TURBOMACHINES** définies par **Rateau** comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un rotor tournant autour d'un axe à vitesse constante et un fluide en écoulement permanent.

Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a affaire à une **turbine hydraulique**, une **turbine à vapeur** ou une **turbine à gaz**. Dans ce dernier cas, le fluide moteur le plus fréquemment utilisé provient des gaz de combustion d'un combustible solide, liquide ou gazeux.

Selon le type d'énergie délivrée, les **turbines à gaz** se répartissent en deux classes : d'une part, les **turbomoteurs** fournissant de l'énergie mécanique disponible sur un arbre et, d'autre part, les **turboréacteurs** fournissant de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion.

Dans cet article, on se limitera aux **machines de faibles et moyennes puissances unitaires (de l'ordre de 200 à 20 000 kW)**, puissances qui constituent le domaine privilégié de la turbine à gaz. On n'étudiera donc pas les cycles combinés entre turbine à gaz et cycles à vapeur réservés aux grandes installations de production d'énergie électrique. Il en sera de même pour les machines mixtes essayant de combiner moteurs à piston et turbines à gaz (générateurs Pescara, dits à pistons libres, procédé Hyperbar concernant la haute suralimentation des moteurs diesel, etc.) et pour le turbocompresseur de suralimentation des moteurs alternatifs. Pour tous ces sujets, on se reportera utilement aux articles spécialisés dans ce traité. On abordera toutefois l'étude des turbines à cycle fermé, mais sans s'étendre sur les applications qui relèvent principalement des domaines très spécifiques de l'énergie nucléaire et de l'industrie de l'espace.

C'est dans l'**aéronautique** que la turbine à gaz s'est imposée en priorité. Les turboréacteurs sont utilisés de façon quasi universelle pour la propulsion des appareils à voilure fixe : avions et missiles. Seule l'aviation générale (tourisme, affaires) utilise encore les moteurs alternatifs mais leur domaine est sans cesse grignoté par la turbine à gaz. Pour les voilures tournantes, de façon similaire, les turbomoteurs équipent aussi la quasi-totalité des différents types d'hélicoptères.

Parmi les **utilisations non aéronautiques**, très diversifiées, on peut citer :

— les **turboalternateurs**, destinés aux centrales de pointe et aux groupes de secours, bénéficient au mieux des qualités fondamentales de la turbine à gaz que sont la rapidité de démarrage, la facilité de mise en œuvre, la fiabilité élevée ;

— les **turbopompes**, utilisées dans les stations de pompage et de recompression des gazoducs et oléoducs ainsi que sur les plates-formes pétrolières off-shore, bénéficient des mêmes avantages avec en plus l'emploi d'un carburant local bon marché ;

— la **traction terrestre**, qu'elle soit ferroviaire avec les turbo trains ou d'application militaire pour les véhicules blindés, utilise en outre la grande puissance volumique de la turbine à gaz comparée à celles des moteurs Diesel ;

— les **installations industrielles dites à énergie totale** où le turbomoteur peut fournir simultanément trois formes d'énergie : électrique (alternateur), pneumatique (par prélèvement d'air sur le compresseur), calorifique (récupérateur de chaleur des gaz d'échappement). Le rendement d'ensemble de telles installations est ainsi fortement revalorisé et peut atteindre 50 à 60 % ;

— les **groupes auxiliaires de puissance ou GAP** (APU pour les Anglo-Saxons) constituent enfin une classe de machines bien adaptée à la turbine à gaz : les groupes de conditionnement d'air sont utilisés tant sur les aéronefs que sur les turbo trains ; d'autres types de GAP sont employés à des fins militaires (génération d'électricité) ou civiles (groupes de mise en œuvre et de maintenance au sol des avions).