

fractionner sa combustion en plusieurs phases, par exemple à volume constant, puis pression constante, puis température constante (cf. exemple sur les moteurs à essence).

4.6.7 ASPECTS TECHNOLOGIQUES

Sur le plan technologique, les dispositifs dans lesquels sont réalisées des combustions à des fins énergétiques comportent deux grandes classes : les chambres de combustion des moteurs (alternatifs ou à flux continu), et les chaudières. Les premières servent à produire des gaz de combustion à pression et température élevées qui sont ensuite détendus, par exemple dans une turbine. Les secondes réalisent simultanément dans une même enceinte la combustion et le transfert à un fluide technique de la chaleur des gaz brûlés. Nous nous limiterons dans ce qui suit à un bref aperçu de ces technologies, qui seront étudiées plus en détail dans le tome 2.

4.6.7.1 Chambres de combustion

A titre d'exemple, la chambre de combustion d'une turbine à gaz doit satisfaire des contraintes sévères : assurer une combustion complète du combustible, minimiser la perte de charge (qui représente un surcroît de compression), assurer une bonne stabilité de la température d'entrée turbine, et occuper un volume aussi réduit que possible tout en permettant un bon refroidissement des parois.

Le schéma de la figure 4.6.6 représente la coupe d'une chambre de combustion du type tube de flamme, très communément rencontrée en pratique.

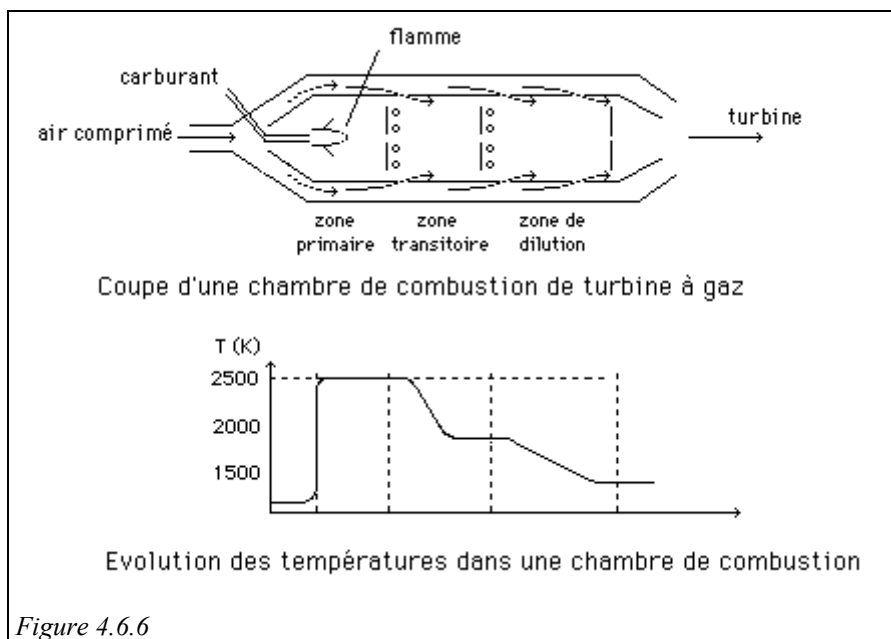


Figure 4.6.6

Dans la partie gauche, arrive l'air comprimé qui sort du compresseur. Il se scinde en deux courants, l'un qui assure le refroidissement des parois, l'autre qui pénètre directement dans la chambre de combustion, où il sert de comburant au combustible injecté en partie centrale. Compte tenu du faible excès d'air local, la flamme atteint une haute température (jusqu'à 2500 K) dans la zone primaire. Par des trous disposés à la périphérie des tubes de flamme, l'air extérieur revient se mélanger aux gaz

brûlés dans la zone transitoire, où la température redescend autour de 2000 K, puis dans la zone de dilution, où l'on cherche à réaliser un flux de gaz de température aussi stable que possible pour éviter les risques de surchauffe locale ou momentanée.

Dans les chambres à barillet de tubes de flammes, six à douze tubes de ce type sont montés en parallèle autour de l'axe de la turbine à gaz. Ils sont interconnectés de manière à équilibrer les pressions et permettre la propagation de l'allumage.

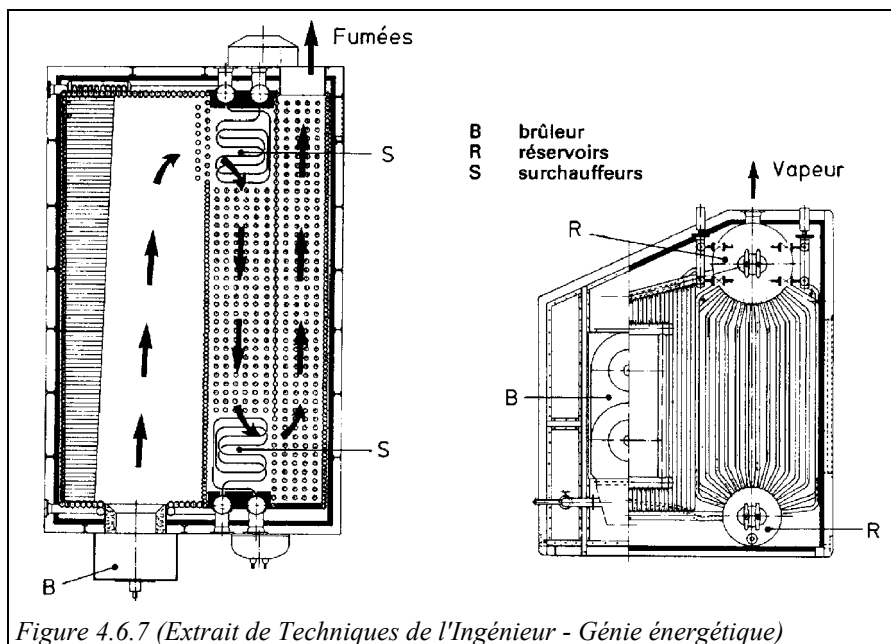
Ces tubes de flammes sont très compacts, leurs dimensions se chiffrant en quelques dizaines de centimètres au plus. Soumis à des flux de chaleur intenses et à de très hautes températures, les matériaux qui les composent sont des tôles d'acier réfractaires éventuellement recouvertes de céramiques.

4.6.7.2 Chaudières

Les chaudières sont beaucoup plus volumineuses que les chambres de combustion, de par la nécessité de transférer la chaleur des fumées à un autre fluide, qui exige des surfaces d'échange importantes. Dans de nombreuses applications, ce fluide est de l'eau pressurisée, qui se vaporise à l'intérieur de la chaudière, laquelle se comporte alors comme un triple échangeur selon que l'eau est à l'état liquide (on parle alors d'économiseur), se vaporise (vaporiseur), ou est à l'état de vapeur (surchauffeur).

On distingue deux grandes catégories de chaudières, dénommées d'après le fluide qui circule à l'intérieur des tubes : les chaudières à tubes de fumée, et les chaudières à tubes d'eau.

Dans les premières, la flamme se développe dans un tube foyer ondulé, puis les fumées parcourent des tubes, en une ou plusieurs passes, l'eau se trouvant à l'extérieur.



Dans les secondes, l'eau circule, par convection naturelle ou forcée, entre deux ballons placés l'un au dessus de l'autre, à travers un réseau de tubes. La flamme se développe dans un foyer tapissé de tubes qui absorbent le rayonnement. Un second faisceau de tubes reçoit sa chaleur des fumées par convection. L'eau monte dans les tubes soumis au rayonnement, et descend par le faisceau de convection.

Les chaudières à tubes de fumées permettent d'obtenir des températures de rejet des fumées plus basses (220 à 250 °C) que les chaudières à tubes d'eau (300 °C) sans économiseur, ce qui leur confère un rendement légèrement supérieur.

En revanche, les premières sont limitées à des puissances plus faibles que les secondes, pour des raisons de tenue mécanique et de sécurité (très grand volume d'eau sous pression). Leur domaine d'utilisation principal est la fourniture de vapeur saturée sous faible pression (<15 bars), et elles représentent plus de 60 % du parc français de chaudières, contre 20 à 25 % pour les chaudières à tube d'eau, bien adaptées à la fourniture de vapeur surchauffée à moyenne et forte pression.

Une chaudière à tube d'eau est composée d'un foyer où prend place la combustion conduisant à des températures de flamme de 1200 à 1500 °C, et dont les parois sont garnies de tubes d'acier lisses ou ailetés, parcourus par l'eau sous pression (50 à 180 bars). La chaleur est transmise essentiellement par rayonnement, et aussi par convection. Pour que la chaleur soit transférée, il est nécessaire que la surface totale des tubes soit très grande, ce qui interdit d'utiliser des aciers nobles : leur température de surface est limitée à environ 650 °C.

La figure 4.6.7 représente deux vues en coupe d'une chaudière à vapeur à tubes d'eau Carosso. La circulation de l'eau entre les deux grands réservoirs R est assurée par thermosiphon, la vaporisation prenant place dans le faisceau de tubes qui les relie.

4.7 LAMINAGES

The screenshot shows a software interface for calculating laminar flow. The main window is titled 'transfo' and contains the following elements:

- transfo:** laminage
- type:** laminage
- type énergie:** autre
- liens:** A button labeled 'liens'.
- Supprimer:** A red button labeled 'Supprimer'.
- Fermer:** A button labeled 'Fermer'.
- débit imposé:** A checkbox that is unchecked.
- débit:** A text input field containing the value '1'.
- point amont:** A text input field containing the value '3'.
- afficher:** A red button labeled 'afficher' next to the 'point amont' field.
- Delta_H:** A text input field containing the value '0'.
- calculer:** A button labeled 'Calculer'.
- systeme fermé:** A checkbox that is unchecked.
- systeme ouvert:** A checkbox that is checked.
- observée:** A checkbox that is unchecked.
- point aval:** A text input field containing the value '4'.
- afficher:** A red button labeled 'afficher' next to the 'point aval' field.
- Properties for point amont:**
 - T (K): 303,44
 - p (bar): 12
 - h (kJ/kg): 236,9
 - titre: 0
- Properties for point aval:**
 - T (K): 263,15
 - p (bar): 3,5486
 - h (kJ/kg): 236,9
 - titre: 0,22762

Figure 4.7.1