

Modéliser et simuler les technologies énergétiques (extraits résumés)

### 2.1 Compléments sur le fonctionnement des compresseurs et turbines

On appelle rapport de compression le rapport de la pression de refoulement à la pression d'aspiration, et rapport de détente le rapport inverse.

#### 2.1.1 Etude de la compression

Quand on comprime un gaz, il s'échauffe, comme chacun peut le constater en gonflant un pneu de vélo. La compression d'un gaz s'accompagne donc d'une augmentation simultanée de sa température et de sa pression. Cet échauffement du gaz, inéluctable, se traduit malheureusement par un surcroît de travail de compression, plus ou moins important selon la qualité du compresseur.

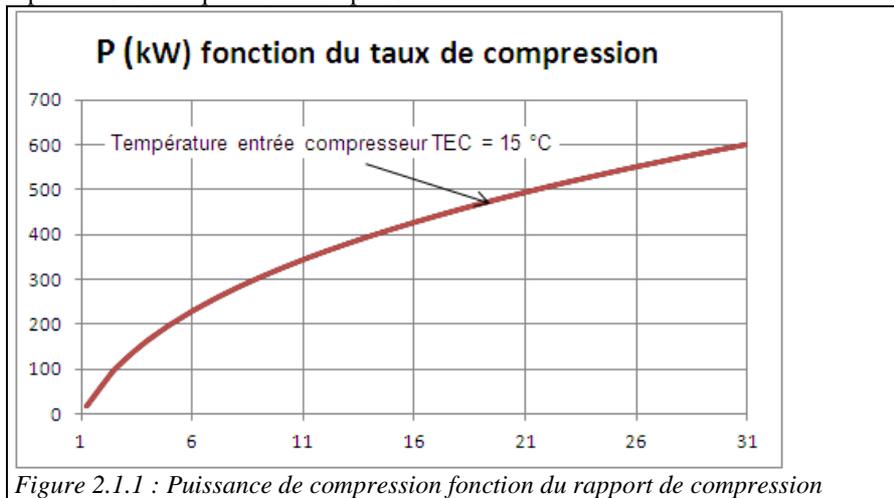


Figure 2.1.1 : Puissance de compression fonction du rapport de compression

Pour fixer les idées, regardons quel est le travail mis en jeu dans le compresseur d'une turbine à gaz. La figure 2.1.1 présente, pour une turbine à gaz de caractéristiques courantes traversée par un débit de 1 kg/s, la variation de la puissance de compression en fonction du rapport de compression, pour une température d'entrée compresseur TEC de 15 °C.

Par exemple, pour un rapport de compression de 6, la puissance requise est de près de 220 kW, et pour un rapport de compression de 21, elle vaut 500 kW.

Comme on le voit, plus le taux de compression est élevé, plus le travail à fournir au compresseur est important.

Les performances d'un compresseur de turbine à gaz sont très sensibles à la valeur de la **température d'aspiration du fluide**, ici la température extérieure. Cette dernière évoluant entre l'hiver et l'été de - 5 °C à 35 °C environ, elle fait varier la puissance de compression de plus ou moins 7 % autour de sa valeur moyenne, pour un taux de compression de 16, le minimum de puissance à fournir correspondant à l'hiver, comme le montre la figure 2.1.2.

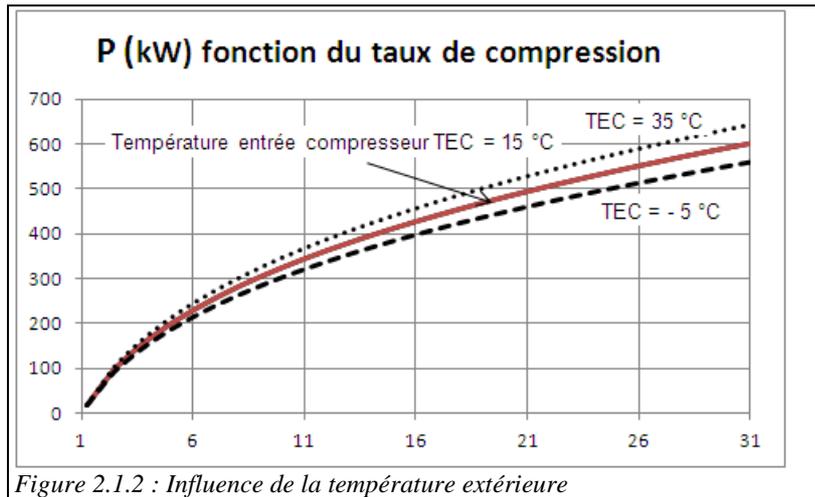


Figure 2.1.2 : Influence de la température extérieure

L'influence de la température d'aspiration sur la puissance de compression explique pourquoi il est toujours préférable de comprimer un gaz à la température la plus basse possible, ce qui conduit à le refroidir si c'est techniquement possible.

On peut démontrer que le travail de compression d'un gaz idéal est d'une part proportionnel à la température du fluide à l'aspiration (exprimée en Kelvin), et d'autre part une fonction croissante du rapport de compression. Si  $P_a$  et  $P_r$  désignent les pressions à l'aspiration et au refoulement du compresseur, et si TEC est la température d'entrée compresseur, en °C :

$$\tau = (TEC + 273,15) f_c(P_r/P_a).$$

Lorsque le fluide ne peut pas être assimilé à un gaz idéal, cette relation reste cependant valable en première approximation.

### 2.1.2 Etude de la détente

Le travail produit par un gaz comprimé est d'autant plus important que sa température est élevée : il est donné en première approximation par une relation analogue à celle d'un compresseur, si TET est la température d'entrée turbine, en °C :

$$\tau = (TET + 273,15) f_d(P_r/P_a).$$

Modéliser et simuler les technologies énergétiques (extraits résumés)

Illustrons ce point en étudiant la détente qui prend place dans la turbine d'une turbine à gaz. Plus la température d'entrée turbine TET (égale à la température en sortie de chambre de combustion) est élevée, plus le travail fourni est important. L'influence de cette grandeur est significative : pour un taux de détente de 16, une variation de 100 °C de la température atteinte en sortie de chambre de combustion fait varier la puissance de la turbine de plus ou moins 8 % autour de sa valeur moyenne (figure 2.1.3).

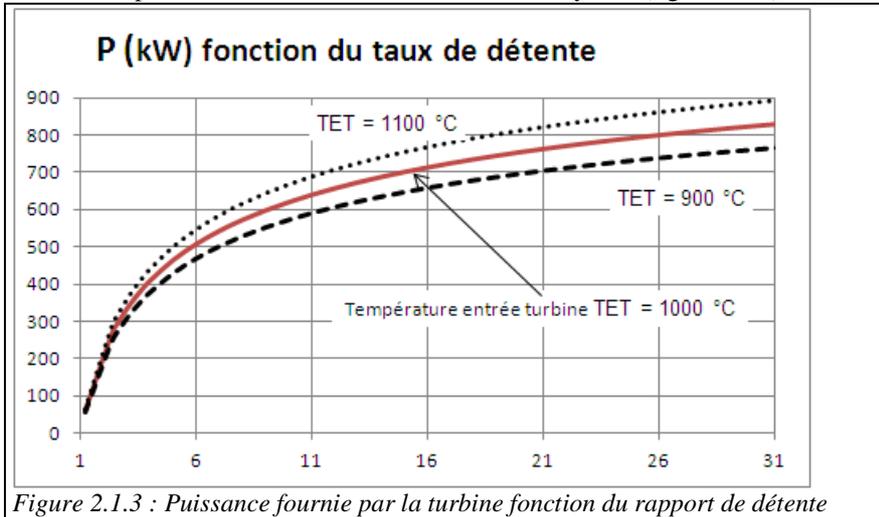


Figure 2.1.3 : Puissance fournie par la turbine fonction du rapport de détente

### 2.1.3 Etude de la turbine à gaz complète

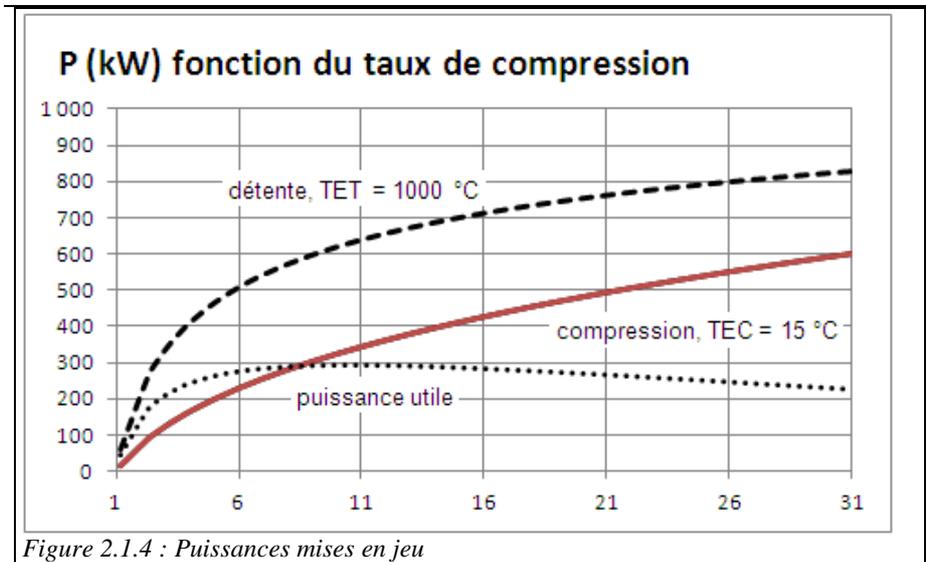
Intéressons-nous maintenant à ce qui se passe dans la machine complète, assemblage d'un compresseur, d'une chambre de combustion et d'une turbine.

Dans la chambre de combustion, l'énergie chimique apportée au cycle sous forme de combustible est convertie en énergie thermique qui sert à porter les gaz chauds à la haute température TET.

La chambre de combustion étant à peu près isobare, les pressions en amont et en aval sont les mêmes. Etant donné que la pression atmosphérique règne à l'aspiration du compresseur et à l'échappement de la turbine, les rapports de compression et de détente sont égaux. Nous ne considérerons donc plus dans ce qui suit que le premier de ces paramètres.

La figure 2.1.4 présente, pour une turbine à gaz de caractéristiques courantes (températures d'entrée compresseur TEC de 15 °C et d'entrée turbine TET de 1000 °C), traversée par un débit de 1 kg/s, la variation de la puissance de compression (trait plein), de la puissance délivrée par la détente (en tiretés), et de la puissance nette produite par la machine (en pointillés), en fonction du rapport de compression.

Par exemple, pour un taux de compression de 6, la puissance de compression est de l'ordre de 220 kW, et la puissance utile de 270 kW.



Si l'on détendait l'air comprimé à la température atteinte en fin compression, sans apport de chaleur complémentaire, le bilan serait négatif à cause des pertes qui prennent place dans le compresseur et la turbine.

Ce n'est que parce que l'on réalise la réaction de combustion à pression constante, qui porte les gaz à haute température, que le travail fourni par la turbine est supérieur à celui qui est absorbé par le compresseur.

Le maximum de puissance nette est ici obtenu pour un taux de compression de l'ordre de 10, mais l'optimum est assez plat.

L'influence des températures d'entrée dans le compresseur et dans la turbine est encore plus sensible sur les performances globales de la machine que sur les composants seuls, car la puissance utile est égale à la différence entre les puissances mises en jeu. A titre d'exemple, la puissance utile baisse de 31,5 % lorsque la température extérieure passe de  $-20\text{ °C}$  à  $+20\text{ °C}$ .