

Le troisième point des « Dix commandements » conseille de considérer la nature logarithmique de la température. Je propose d'élargir ce propos en vous donnant quelques explications utiles.

La créativité est souvent liée à l'intuition c'est notre vision inconsciente d'un sujet donné. La thermodynamique n'est pas vraiment intuitive pour au moins deux raisons: La première est que nous percevons la température dans une échelle très étroite. Ce que nous ressentons comme « chaud » ou « froid » est faible entre combustion et cryogénie. La seconde est que nous n'avons aucun sens pour percevoir la « Qualité de chaleur » nous n'en ressentons que la « Quantité ». Admettez que c'est un handicap sérieux.

Alors notre vocabulaire, notre perception et notre intuition deviennent confuses. Nous utilisons chaleur et température comme s'il s'agissait du même monde, alors que cela décrit deux phénomènes très différents. Pour éclairer notre esprit et développer notre créativité, mettons à plat tout cela.

L'énergie thermique nous intéresse car elle peut faire quelque chose d'utile. Faire en sorte qu'un moteur Stirling fonctionne par exemple. Cette énergie possède deux dimensions « Chaleur » et « Température ». Elles existent ensemble mais chacune ont des propriétés distinctes. Aucune prise séparément ne peut accomplir quoi que ce soit. Ce serait comme un voltage sans courant ou l'inverse. Pour obtenir un travail, il faut les deux :

**La quantité**, la chaleur, est un concept linéaire. 100 calories accomplissent deux fois plus que 50 calories.

**La qualité**, la température, n'est pas linéaire du tout ! C'est ce qui bloque notre manière intuitive de voir la thermodynamique. Cette chaleur, nous la mesurons traditionnellement en degrés. Pourquoi utilisons nous des unités linéaires pour décrire des phénomènes qui ne le sont pas du tout ? Sortons un peu de nos traditions et voyons cela autrement.

Les degrés en thermodynamique sont analogues aux volts en électronique. Comprenez que pour formaliser le gain d'un amplificateur ou une perte en ligne il n'est pas commode d'utiliser des mesures en volts absolus. Ces rapports exprimés en décibels montrent mieux ce qui se passe dans nos circuits. Il est grand temps de tirer les bénéfices d'une autre vision de la température.

Sur la figure 1, chacune des flèches représente une différence de température absolue dans un rapport de  $\frac{1}{2}$ . Ont-elles la même longueur alors qu'elles expriment la même chose ? Nous voyons bien que non. Penser la température en degrés est une source de distorsion qui altère notre intuition.

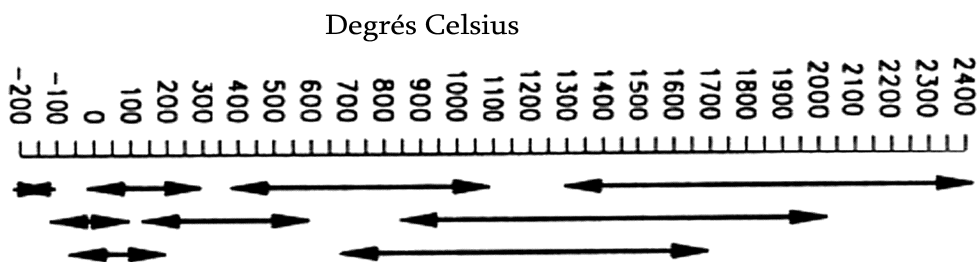


Figure 1

Sur la figure 2, nous avons distordu l'échelle de température en faisant en sorte que les flèches aient la même longueur. Elles représentent toujours un rapport de température absolue de  $\frac{1}{2}$ . C'est un premier pas, vers l'amélioration de notre sens intuitif.

Sur la figure 3 est ajoutée une échelle représentant des décibels de température. Chacune des flèche représente un écart de 6 dB, ce qui chacun sait représente un rapport de  $\frac{1}{2}$  en valeur absolue.

Ces relations entre les températures restent exactes à température ambiante, à la surface du soleil ou dans les espaces cryogéniques. Ce facteur, exprimé en décibels peut maintenant être calculé mentalement en un éclair. Peu d'humains sont capable d'en faire autant avec des degrés Celsius. Ce pont entre thermodynamique et compréhension humaine va nous permettre d'y voir un peu plus clair. Le point correspondant à 0 dBt est placé arbitrairement en face du point 0° C.

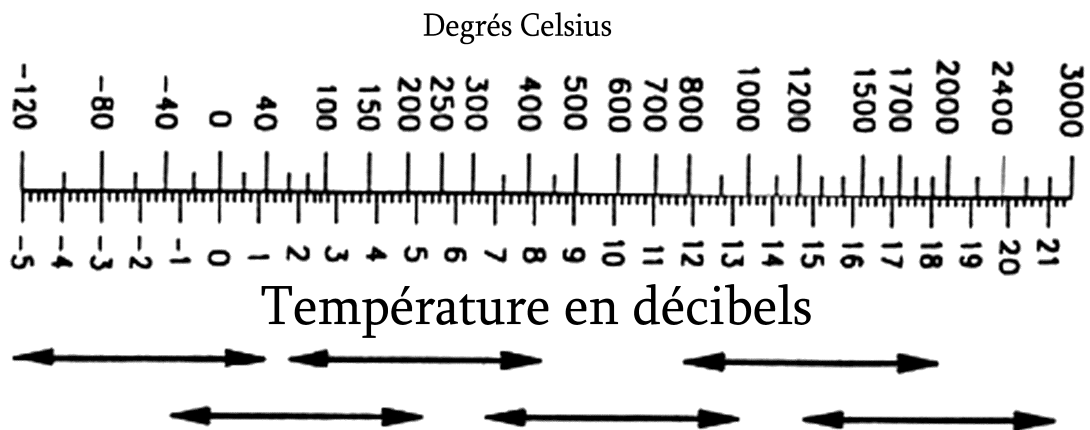


Figure 3

Dire qu'un moteur Stirling fonctionne avec une différence de température de 10° ne signifie rien tant que nous ne connaissons pas la température de référence. Par contre en affirmant qu'un moteur tourne avec un delta de 0,1 dBt (t pour température), on sait que cela fonctionne sur toute la plage des températures dans la limite de ce que peuvent supporter les matériaux qui le composent.

A la question : Est il acceptable de réaliser un moteur ayant une perte de 200 ° dans le réchauffeur ou un autre avec une perte de 40 degrés dans le refroidisseur ? Quel est le meilleur compromis ? Il n'y a aucun moyen de répondre sans se référer aux températures de référence puis à faire des maths.

Dans le monde des dBt, disons que comparons une perte à un endroit de 0,4 dBt à une autre de 1,3 dBt perdu ailleurs. Le choix final est vite fait. En utilisant les décibels, nous utilisons un outils qui nous permet de raisonner plus facilement de manière intuitive ou alors en s'aidant de la figure 4.

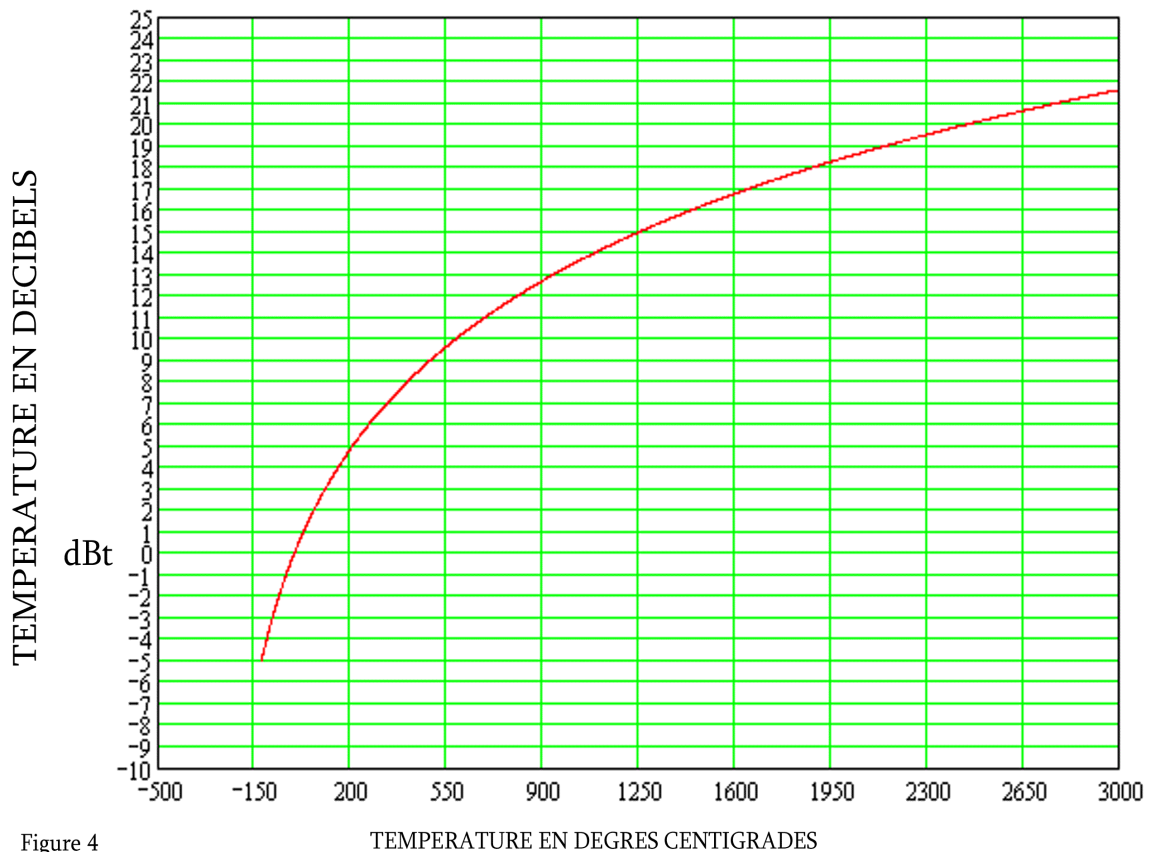


Figure 4

Maintenant que nous avons « linéarisé » la température il est temps de la mettre en relation avec la « Chaleur » qui est, comme il est dit plus haut, une valeur quantitative linéaire. Nous avons fait l'analogie avec les valeurs électrique Voltage et Courant. Avec ces valeurs, on peut calculer la puissance en les multipliant ( $P = U I$ ) nous pouvons maintenant faire pareil avec chaleur et température afin de trouver une surface d'énergie enfin observable simplement.

Chacune des surfaces comprises entre les graduations de la figure 5 ci-dessous possède la même valeur énergétique quelque soit sa position. Nous pouvons voir la relation graphique entre la Quantité, représentée sur l'axe des X, et la Qualité (température) représentée sur l'axe Y. Nous comprenons mieux maintenant que chaleur et température sont indissociable pour produire un travail. Notons de suite que les unités sur l'axe des X représente ce que vous voulez. Par exemple un transfert de 10000 calories en une seconde. Un même nombre de surfaces élémentaires fera le même travail que ce soit un faible gradient de température accompagné d' un fort transfert de chaleur ou l'inverse. Passons maintenant à la pratique.

Supposons que nous souhaitons réaliser un moteur Stirling fonctionnant à une température ambiante de 33°C ce qui représente environ 1 dBt et exactement 0,991 dBt qui est représenté par le point A. Le carburant que nous avons choisis est capable de brûler à une température de 2457 °C , ce qui nous fait exactement 20 dBt que nous représentons par le point B. Donnons pour ces deux valeurs un pouvoir quantitatif de 15 unités soit 150 000 calories seconde (c'est un exemple), représentés par les points C et D. Les points A, B, C et D définissent une surface de 285 unités (les petits carrés). Il est bon de rappeler ici que chacun d'entre eux représente le même potentiel de gain ou de perte.

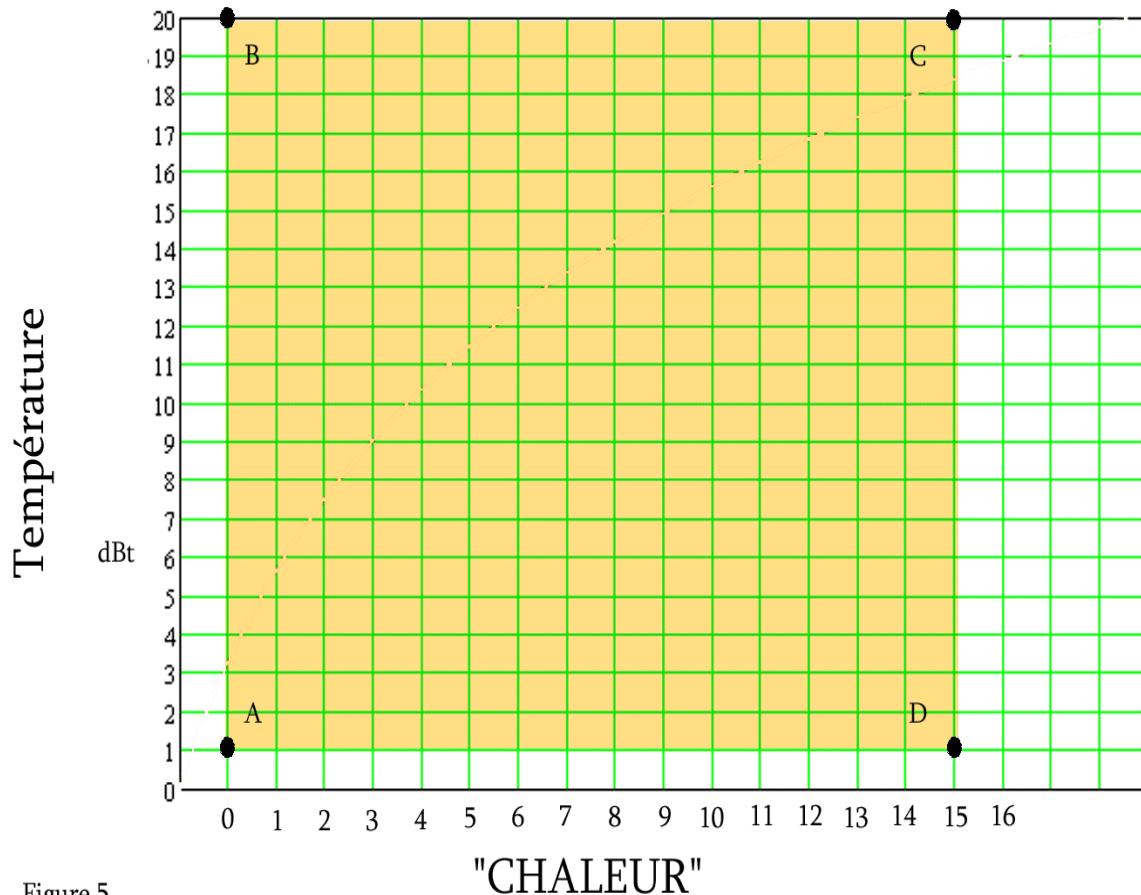


Figure 5

Maintenant voyons où passe notre énergie dans cet hypothétique moteur. Pour cela considérons ses pertes, représentées graphiquement dans la figure 6. Les textes horizontaux expriment des pertes de température et les textes verticaux expriment des pertes de chaleur.

**Perte 1 :**

Cela représente le carburant si cher payé qui ne brûle pas complètement. Mauvais injecteurs, ou carburation mal réglée. Apport d'air insuffisant que sais je ? Toujours est il que dans notre exemple cela représente 10 % de carburant convertis en fumées nauséabondes soit 28,5 « carrés »

**Perte 2 :**

Cette perte représente la différence de température entre ce que le carburant pouvait produire dans des conditions optimales et la température réellement mesurée. Cela est probablement dû à la perte précédente. 37,8 carrés qui représentent 13,2%.

**Perte 3 :**

Cette zone totalise les pertes thermiques dues à la conduction directe entre partie chaude et froide, les pertes dues au rayonnement, à un échappement dont la température dépasse la température ambiante etc etc. cela nous fait 40,5 carrés ou 14,2 %.

Nous avons déjà perdu un peu plus de 37 %. Il nous reste néanmoins 62% pour nourrir notre moteur Stirling. Malheureusement nous ne sommes pas au bout de nos pertes.

#### Perte 4:

C'est la différence de température entre celle que nous avons fini par obtenir et celle mesurée sur la surface interne du réchauffeur. Un mauvais transfert de chaleur entre le brûleur et le réchauffeur ajouté à une mauvaise conduction de celui-ci. Cela nous fait tout de même 28,6 carrés soit pas tout à fait 10%.

#### Perte 5:

Une perte similaire existe aussi du côté du refroidisseur. Entre la température ambiante que nous voulons obtenir à l'intérieur du refroidisseur et celle réellement obtenue. Supprimons encore 30,8 carrés sur les 285 achetés à la pompe. Encore 10% de moins.

Enfin nous sommes dans le moteur !

#### Perte 6 :

C'est la différence entre la température interne du réchauffeur et la température moyenne du gaz de travail au point le plus chaud du cycle. Température moyenne veut dire température du gaz dans l'enceinte chaude ET la température du gaz contenu dans l'ensemble des volumes morts. (régénérateur, refroidisseur, réchauffeur et tubulures). Voyez vous pourquoi il faut chasser les volumes morts ? C'est aussi un mauvais transfert de chaleur entre réchauffeur et gaz de travail dû à des surfaces d'échanges trop modestes ou des diamètres de tubes trop importants, à un mauvais aérodynamisme dans le réchauffeur etc. De ce côté c'est douloureux, nous perdons 48,4 carrés ou 17%.

#### Perte 7 :

C'est l'image de la perte précédente au point le plus froid du cycle. Encore une fois c'est de la faute aux volumes morts. La totalité du gaz n'est pas refroidi et la température moyenne du gaz excède celle de la surface interne du refroidisseur. La perte est toutefois moins lourde de ce côté. Si vous avez suivi, vous savez pourquoi. Cela nous enlève 26,4 carrés soit 9,3%.

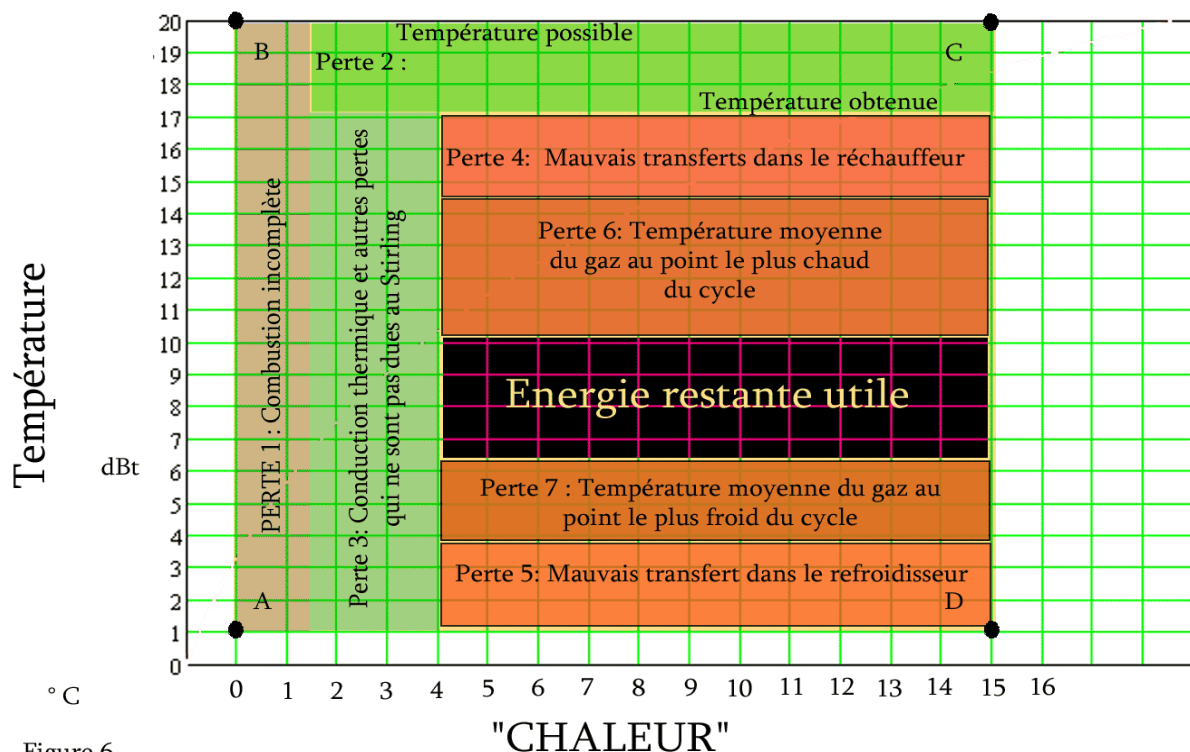


Figure 6

Sur les 285 carrés du départ, nous nous sommes arrangé pour en perdre 241 tout au long du chemin. Les 44 carrés d'énergie restante soit 15,4 % représentent l'énergie qui fera augmenter et diminuer la pression du gaz transformable en énergie mécanique.

Cette énergie mécanique devra vaincre les résistances due aux pertes de charge, au frottements divers etc. Si il en reste, le moteur enfin s'animera.

Ne soyez pas découragé après avoir lu ceci. Cette explication n'a que pour but de vous encourager à localiser chaque perte et à la combattre pied à pied. Vous gagnerez cette bataille et votre moteur servira à produire l'énergie de demain.

Il est entendu que les chiffres exposées si dessus ne sont donnés qu'à titre d'exemple. Chacune de vos réalisations auront des caractéristiques différentes. Les pertes seront cependant réelles, j'espère que cet article vous donnera des armes supplémentaires pour les chasser avec plus de finesse.

Pour parfaire cette explication , je vous livre l'unique formule mathématique utilisée dans ce document:

x = température en degrés centigrades à convertir.

K = 273 ; c'est la valeur absolue de la température 0° Centigrade, exprimée en Kelvin.

$$dBt = 20 * \log \frac{(x + K)}{K}$$

Serge Klutchenko.