

1.1. Genèse de la Thermodynamique.

Dans la publication pour l'année 1775 de l'*Académie Royale des Sciences*, l'illustre institution française annonce sa résolution de ne plus examiner les travaux portant sur le mouvement perpétuel. Cette décision s'appuie sur la conviction de l'impossibilité d'un tel principe¹.

En fait, la mesure ne rejette pas la possibilité théorique d'un mouvement perpétuel en tant que fonctionnement limite d'un dispositif où auraient été supprimée toute cause de déperdition de mouvement comme le frottement ou la résistance du milieu: dans une telle situation idéale, jamais offerte à l'observation par la nature, le dispositif conserverait bien indéfiniment le mouvement qu'on lui a imprimé au départ, mais serait parfaitement incapable d'avoir le moindre effet moteur sur d'autres corps.

La décision de l'Académie ne concernait nullement l'invention de dispositifs ingénieux donnant l'impression d'un mouvement perpétuel. On connaît la fameuse horloge construite par James Cox en 1765 et qu'on n'avait pas besoin de remonter: elle fonctionnait grâce aux variations de la pression atmosphérique. Ce n'est pas cela que visait l'interdit de l'Académie, mais l'idée qu'un système pouvait fonctionner perpétuellement sans le moindre phénomène d'entretien.

La charrette des condamnés comportait trois autres sujets de géométrie ayant en commun la recherche d'une solution jugée impossible avec la règle et le compas (la duplication du cube, la trisection de l'angle et la quadrature du cercle). Ces trois problèmes avaient généré durant deux mille ans des tas de recherches infructueuses de solution². On le voit, l'Académie des Sciences ne voulait plus perdre du temps inutile avec des recherches jugées vaines.

La proscription du mouvement perpétuel décidée par l'Académie en 1775 n'est pas un acte anodin. Moins d'un demi-siècle plus tard (1824), Sadi Carnot publie son célèbre opuscule *Réflexions sur la puissance motrice du feu* où, en s'appuyant sur une formulation du principe d'impossibilité du mouvement perpétuel, il montre que le rendement d'une machine à vapeur ne saurait dépasser une valeur limite. Plus précisément, il établit que le rendement maximum d'une machine thermique fonctionnant entre une source chaude et une source froide est une fonction universelle dépendant de la "chute thermique" entre les deux sources. Ce rendement maximum ne saurait être obtenu que dans des conditions parfaitement irréalisables où la machine est constamment en équilibre et son fonctionnement infiniment lent.

Cette vision novatrice de Carnot vient à point nommé dans un contexte où on cherche à produire plus de travail mécanique sans en augmenter le coût. De tout temps, le travail a été produit à partir du ... travail: le travail des animaux domestiques ou des esclaves, la force des cours d'eau ou du vent, mais aussi la conversion d'un travail facile en un travail utile plus difficile en appliquant les trouvailles de l'ingéniosité humaine comme les bras de levier ou la roue. Puis dans les années 1760, les premières machines à vapeur opérationnelles ont été construites par James Watt. Le principe est d'utiliser la force d'expansion d'un fluide caloporteur chauffé par une chaudière à vapeur d'eau. Un système de refroidissement assure une phase de compression. Un jeu de pistons permet d'entretenir un fonctionnement cyclique. Et il se trouve que le travail produit dans les phases d'expansion est fortement supérieur au travail perdu dans les phases de compression. On sait que les applications immenses de cette invention ont révolutionné la vie industrielle et sociale de l'humanité et que l'argent perdu dans l'achat du charbon fut largement compensé par les gains obtenus grâce à ces machines.

Avec le recul, le raisonnement de Carnot nous apparaît avec évidence comme le travail fondateur d'une science nouvelle traitant des rapports entre la chaleur et la mécanique, la bien nommée *Thermodynamique*. Le terme n'apparaîtra qu'une vingtaine d'années plus tard, inventé par William Thomson: en 1849 (réf. p.118), le futur Lord Kelvin présentait devant la *Royal Society of Edinburgh* une analyse de l'ouvrage de Carnot où il emploie l'expression *perfect thermo-dynamic engine* pour qualifier une machine thermique idéale fonctionnant en rendement maximum.

A vrai dire, l'oeuvre de Carnot n'a sans doute pas généré immédiatement beaucoup de progrès technologiques. Il s'agissait avant tout d'un travail théorique qui n'eut pas à ce moment-là l'écho qu'il aurait mérité. C'est seulement en 1834 qu'Emile Clapeyron le fit sortir brillamment de l'oubli dans une contribution au *Journal de Polytechnique*.

Une chronologie minimaliste de la genèse de la Thermodynamique tiendrait en trois dates, ou plutôt trois actes.

Le premier est bien entendu celui de Carnot en 1824: le rapport du travail fourni par une machine thermique à la chaleur qu'elle a reçue a une limite supérieure qui est une fonction universelle dépendante de la chute thermique.

Le deuxième acte débute en 1843 lorsque James Prescott Joule dévoile devant un public peu convaincu les résultats qu'il a obtenus avec son fameux dispositif: lors d'un cycle: le bilan du travail est dans un rapport constant avec le bilan de la chaleur. C'est l'équivalent mécanique de la chaleur dont la réalité finira par s'imposer. Julius Robert von Mayer, qui avait eu lui aussi l'idée de cet équivalent, énonça un principe de conservation de l'énergie. On finit par considérer que chaleur et travail constituaient deux formes de transfert d'énergie, ce qui nécessitait bien entendu l'homogénéisation des unités de ces deux grandeurs.

Le troisième acte, vers 1865, a pour acteur principal Rudolph Clausius, mais aussi William Thomson. Issu quasiment logiquement à la fois du principe de Carnot et du principe d'équivalence, il aboutit à l'identification d'une grandeur, l'entropie, qui ne peut qu'augmenter dans un système fermé en déséquilibre. Une conséquence en est l'établissement de l'échelle de température thermodynamique.

Ces trois actes constituent les trois premiers chapitres naturels de la Thermodynamique Classique. Avec l'axiomatique adéquate autorisant la manipulation mathématique nécessaire, on est alors en mesure de résoudre les multiples problèmes qui caractérisent les diverses branches de cette Thermodynamique Classique: la physique des corps purs, les transitions de phase, la thermochimie, l'électro-chimie, les phénomènes de surface, et bien d'autres sujets. Puis de nouvelles formulations de la Thermodynamique basées sur le comportement statistique des particules sont apparues dès le XIXème siècle avec Maxwell, Gibbs et Boltzmann. Ces nouvelles branches appartiennent à la Thermodynamique Statistique, la Thermodynamique Classique pouvant désormais s'appeler la Thermodynamique Macroscopique. Enfin, la Physique Moderne née au XXème siècle (relativité, physique quantique) ouvre à son tour la voie de nouvelles Thermodynamiques (conversion masse / énergie, entropie des trous noirs, etc).

Un Traité de Thermodynamique complet doit donc aborder tous ces sujets. Mais il serait grandement dommage de ne pas commencer par le début, situé bien avant les actes fondateurs de la Thermodynamique Classique. En effet, tous les concepts préliminaires ont été acceptés après de nombreux échecs et de nombreuses hésitations, qui ont été le lot des savants des XVIème, XVIIème et XVIIIème siècles. Pour mieux comprendre la Thermodynamique, nous devons reprendre le chemin de ceux qui ont élaboré la mécanique et dégagé les notions de chaleur et de température. Le concept de pression s'est heurté à bien des difficultés puisqu'il a fallu découvrir la nature pesante puis élastique de l'air, rangé durant tout le Moyen-Age parmi les éléments soi-disant primordiaux de la pensée des philosophes de l'Antiquité grecque.

La période dite de la Renaissance voit le renouvellement de la pensée scientifique notamment avec Copernic (mort en 1543) et Galilée (mort en 1642). L'observation et l'expérimentation vont être de plus en plus la règle qui guide la science pour valider ou non l'intuition. L'histoire de la pensée scientifique au Moyen-Âge, pour passionnant qu'elle soit, nous sortirait de notre sujet actuel, la gestation des concepts préliminaires de la thermodynamique. Nous nous contentons ici de partir de la situation au XVIème siècle: la science est alors cadenassée par les dogmes aristotéliens devenus ceux de l'Eglise par l'entremise de Thomas d'Aquin. Et rendons justice à Aristote qui, malgré le rendu péjoratif de l'usage négatif qu'on a fait de son oeuvre au Moyen-Âge, n'en n'était pas moins un des esprits les plus fins de l'Antiquité. Ce n'est pas lui qui doit porter la responsabilité des mauvais traitements qu'ont subi les promoteurs de l'héliocentrisme ou bien ceux qui remettaient en question l'horreur du vide qu'était censée avoir la nature.

Lorsque l'Académie a prononcé son ukase de 1775, la nouvelle démarche scientifique avait déjà une maturité deux fois séculaire et s'était enrichi des travaux de Copernic, Képler, Galilée, Descartes, Newton et bien d'autres.

L'essor scientifique avait été favorisé par des mesures très politiques: la création des Académies des Sciences. Dans le même mouvement, des initiatives privées ont donné naissance aux premières sociétés savantes. Voici les principales de celles qui sont apparues au XVIIème siècle:

Accademia dei Lincei (Rome) 1603.

Accademia degli Investiganti (Naples) 1650.

Academia Naturae Curiosum (devenue plus tard l'Académie Leopoldine (Allemagne) 1652.

Accademia del Cimento (Florence) 1657.

Royal Society of London (Angleterre) 1660.

Académie Royale des Sciences (France) 1666.

Brandenburgische Societät der Wissenschaften (Prusse) 1700.

Chacune de ces institutions rayonnait autour d'un périodique généralement annuel qui rassemblait des mémoires et des contributions souvent de qualité qui leur a assuré une grande autorité scientifique. Chacune s'entourait de correspondants étrangers avec lesquels des échanges épistolaires assuraient la diffusion des connaissances les plus récentes. Ce ne fut pas toujours sans difficulté: la prestigieuse *Accademia dei Cimento* fondée par le grand-duc de Toscane Ferdinand II lui-même passionné de science et rassemblant des anciens disciples de Galilée fut dissoute par ordre de l'Eglise en 1667...

C'est aussi dans ces échanges qu'on mesure l'immense apport de l'invention de l'imprimerie. Une découverte ou même un simple compte-rendu d'une expérience effectuée ici ou là était rapidement connue des savants du monde entier, c'est-à-dire, en ces siècles, l'Europe. Les livres et les opuscules divers étaient désormais multipliables, victoire des lumières sur l'obscurantisme, même si les forces liées à celui-ci parvinrent à faire jeter des ouvrages au bûcher quand ce ne fut l'auteur lui-même ...

Commençons donc par quelques chapitres de revue des principaux travaux qui ont préparé les grands principes de la Thermodynamique, en y relevant surtout les sauts conceptuels successifs que ces savants précurseurs ont dû accomplir.

Bibliographie.

*) **Sadi Carnot** *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (Paris 1824).

*) **Emile Clapeyron** *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur* Journal de l'Ecole Royale Polytechnique (1834 [p.153-190]).

*) **William Thomson** *A Account of Carnit's Theory of the Motive Power of Heat, withe Numerical Results* Mathematical and Physical Papers (Cambridge University Press 1849 [p.113-164]).

Notes.

(1) *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* année 1775 p.61-66.

(2) Il fallut attendre 1837 pour que soit établie par le mathématicien Pierre-Laurent Wantzel, la démonstration de l'impossibilité des deux premiers problèmes par la règle et le compas (*Journal des mathématiques pures et appliquées* année 1837 1ère série vol.2 p.366-372). Pour démontrer l'impossibilité de la quadrature du cercle, il manquait la démonstration de la transcendance du nombre π , ce qui fut fait par Ferdinand von Lindermann en 1882.