



**Histoire de la  
thermodynamique classique**

De Sadi Carnot à Gibbs

Robert Locqueneux

**BELIN**



# Table des matières

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Préface .....                                                                                                         | 7  |
| Avant-propos.....                                                                                                     | 10 |
| Préambule.....                                                                                                        | 12 |
| CHAPITRE 1. De la puissance motrice du feu au second principe.....                                                    | 21 |
| 1. Brève histoire de la machine à vapeur avant 1824 .....                                                             | 21 |
| 1.1. L'invention des machines atmosphériques .....                                                                    | 21 |
| 1.2. Des machines atmosphériques à la machine à double effet<br>de Watt (Extrait 2) .....                             | 26 |
| 2. Les <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu</i> de Carnot (Extrait 3).....                                   | 28 |
| 2.1. La constitution d'une expérience de pensée .....                                                                 | 29 |
| 2.2. La mathématisation des phénomènes thermiques<br>dans les <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu</i> ..... | 39 |
| 3. Le <i>Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur</i> de Clapeyron<br>(Extrait 4).....                          | 45 |
| 3.1. La description des cycles réalisant l'effet maximum .....                                                        | 45 |
| 3.2. La recherche d'une théorie des effets de la chaleur<br>sur les substances .....                                  | 47 |
| 4. W. Thomson : terminer le mémoire de Clapeyron.....                                                                 | 53 |
| EXTRAIT 1 : DENIS PAPIN. <i>Recueil des machines</i> .....                                                            | 59 |
| EXTRAIT 2 : FRANÇOIS ARAGO. <i>Notice historique sur les machines<br/>à vapeur</i> .....                              | 62 |
| EXTRAIT 3 : SADI CARNOT. <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu..</i>                                          | 65 |
| EXTRAIT 4 : ÉMILE CLAPEYRON. <i>Mémoire sur la puissance motrice<br/>de la chaleur</i> .....                          | 85 |

# Table des matières

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Préface .....                                                                                                         | 7         |
| Avant-propos.....                                                                                                     | 10        |
| Préambule.....                                                                                                        | 12        |
| <b>CHAPITRE 1. De la puissance motrice du feu au second principe.....</b>                                             | <b>21</b> |
| 1. Brève histoire de la machine à vapeur avant 1824 .....                                                             | 21        |
| 1.1. L'invention des machines atmosphériques .....                                                                    | 21        |
| 1.2. Des machines atmosphériques à la machine à double effet<br>de Watt (Extrait 2) .....                             | 26        |
| 2. Les <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu</i> de Carnot (Extrait 3).....                                   | 28        |
| 2.1. La constitution d'une expérience de pensée .....                                                                 | 29        |
| 2.2. La mathématisation des phénomènes thermiques<br>dans les <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu</i> ..... | 39        |
| 3. Le <i>Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur</i> de Clapeyron<br>(Extrait 4).....                          | 45        |
| 3.1. La description des cycles réalisant l'effet maximum .....                                                        | 45        |
| 3.2. La recherche d'une théorie des effets de la chaleur<br>sur les substances .....                                  | 47        |
| 4. W. Thomson : terminer le mémoire de Clapeyron.....                                                                 | 53        |
| EXTRAIT 1 : DENIS PAPIN. <i>Recueil des machines</i> .....                                                            | 59        |
| EXTRAIT 2 : FRANÇOIS ARAGO. <i>Notice historique sur les machines<br/>à vapeur</i> .....                              | 62        |
| EXTRAIT 3 : SADI CARNOT. <i>Réflexions sur la puissance motrice du feu..</i>                                          | 65        |
| EXTRAIT 4 : ÉMILE CLAPEYRON. <i>Mémoire sur la puissance motrice<br/>de la chaleur</i> .....                          | 85        |

|                                                                                                                                                                  |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>CHAPITRE 2. De la conversion des forces à la conservation de l'énergie .....</b>                                                                              | <b>104</b>     |
| 1. Leibniz, Kant, la <i>Naturphilosophie</i> et le dynamisme.....                                                                                                | 104            |
| 1.1. Leibniz.....                                                                                                                                                | 104            |
| 1.2. Kant .....                                                                                                                                                  | 107            |
| 1.3. La « <i>Naturphilosophie</i> ».....                                                                                                                         | 109            |
| 2. Robert Mayer et la <i>Naturphilosophie</i> .....                                                                                                              | 113            |
| 3. Les recherches expérimentales de Joule .....                                                                                                                  | 114            |
| 4. Helmholtz et la « Conservation de la force ».....                                                                                                             | 122            |
| EXTRAIT 5 : JULIUS ROBERT MAYER. <i>Remarques sur les forces de la nature inanimée</i> .....                                                                     | 129            |
| EXTRAIT 6 : JAMES PRESCOTT JOULE. <i>Mémoire sur les effets calorifiques des courants magneto-électriques, et sur l'équivalent mécanique de la chaleur</i> ..... | 131            |
| EXTRAIT 7 : JAMES PRESCOTT JOULE. <i>Mémoire sur les changements de température produits par la condensation et la raréfaction de l'air</i> .....                | 135            |
| EXTRAIT 8 : HERMANN HELMHOLTZ. <i>Mémoire sur la conservation de la force</i> .....                                                                              | 138            |
| EXTRAIT 9 : HERMANN HELMHOLTZ. <i>Revue générale du développement des sciences dans les temps modernes</i> .....                                                 | 150            |
| EXTRAIT 10 : WILLIAM THOMSON. <i>Sur les antécédents mécaniques du mouvement, de la chaleur et de la lumière</i> .....                                           | 152            |
| <br><b>CHAPITRE 3. Le second principe des théories mécanique ou dynamique de la chaleur .....</b>                                                                | <br><b>161</b> |
| 1. Le Mémoire de Clausius, « Sur la force motrice de la chaleur », 1850                                                                                          | 161            |
| 1.1. La théorie de Carnot et l'équivalence de la chaleur et du travail..                                                                                         | 162            |
| 1.2. La formalisation mathématique du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail .....                                                                | 163            |
| 1.3. Revisiter le principe de Carnot : le second principe .....                                                                                                  | 168            |
| 1.4. Déterminer la fonction de Carnot .....                                                                                                                      | 169            |
| 1.5. Dernières remarques .....                                                                                                                                   | 173            |
| 2. La théorie dynamique de la chaleur selon W. Thomson.....                                                                                                      | 175            |
| 2.1. Le contexte.....                                                                                                                                            | 175            |
| 2.2. La théorie .....                                                                                                                                            | 176            |
| 3. Le Mémoire de Clausius, « Sur une autre forme du second principe », 1854.....                                                                                 | 182            |
| 3.1. Principe de l'équivalence de la chaleur et du travail.....                                                                                                  | 182            |
| 3.2. Principe de l'équivalence des transformations.....                                                                                                          | 184            |
| 4. Le cheminement de Clausius : des « valeurs d'équivalence des transformations » à l'entropie.....                                                              | 189            |
| 4.1. Des « valeurs d'équivalence des transformations » à l'entropie en passant par le concept de « disrégation » .....                                           | 189            |



|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. Des « Valeurs d'équivalence des transformations » à l'entropie,<br>un chemin sans détour.....                                                  | 193 |
| 5. Dernières remarques sur les travaux de Carnot, Clapeyron et Clausius                                                                             | 196 |
| EXTRAIT 11 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Sur la force motrice de la chaleur<br/>et les lois qui s'en déduisent pour la théorie même de la chaleur</i> ..... | 197 |
| EXTRAIT 12 : WILLIAM THOMSON. <i>Deux mémoires sur la théorie<br/>dynamique de la Chaleur</i> .....                                                 | 216 |
| EXTRAIT 13 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Sur une autre forme du second<br/>principe de la théorie mécanique de la chaleur</i> .....                         | 220 |
| EXTRAIT 14 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Le second principe de la théorie<br/>mécanique de la chaleur</i> .....                                             | 236 |
| EXTRAIT 15 : CAMILLE FLAMMARION. <i>La fin du monde</i> .....                                                                                       | 250 |

## CHAPITRE 4. Interpréter les grandeurs et les principes de la thermodynamique 254

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. La contribution de Rankine à la théorie de la chaleur.....                                                                                  | 255 |
| 1.1. L'élaboration d'une science de l'énergie.....                                                                                             | 255 |
| 1.2. Les réflexions de Rankine sur les méthodes en physique.....                                                                               | 259 |
| 2. « Une espèce de mouvement qu'on nomme chaleur ».....                                                                                        | 262 |
| 2.1. Le modèle de Krönig.....                                                                                                                  | 262 |
| 2.2. La schématisation d'un gaz idéal par Clausius.....                                                                                        | 263 |
| 2.3. Des états de la matière selon Clausius.....                                                                                               | 264 |
| 2.4. Quelques difficultés à rendre compte du comportement d'un gaz<br>idéal.....                                                               | 266 |
| 2.5. Introduction des probabilités dans le modèle du gaz idéal<br>par Clausius.....                                                            | 271 |
| 3. De la distribution des vitesses dans un état de chaos moléculaire<br>aux lois des gaz parfaits dans la théorie dynamique des gaz de Maxwell | 274 |
| 3.1. L'analogie mécanique du gaz parfait chez Maxwell.....                                                                                     | 274 |
| 3.2. L'analogie mécanique de Maxwell rend-t-elle compte<br>du comportement du gaz réel ?.....                                                  | 278 |
| 3.3. La conversion de Maxwell à la réalité des analogies mécaniques                                                                            | 279 |
| 4. Boltzmann et la naissance de la physique statistique.....                                                                                   | 281 |
| 4.1. Un essai d'interprétation mécanique du second principe.....                                                                               | 281 |
| 4.2. L'interprétation statistique du second principe.....                                                                                      | 283 |
| 5. Du dénombrement statistique de Boltzmann et de la quantification<br>de l'énergie.....                                                       | 285 |
| 5.1. Un pari risqué : la quantification de l'énergie.....                                                                                      | 285 |
| 5.2. Le dénombrement statistique de Planck peut-il être justifié ?.....                                                                        | 290 |
| 5.3. Le modèle de Jeans (1910).....                                                                                                            | 291 |
| 5.4. Une dernière tentative de justification par Ehrenfest.....                                                                                | 292 |
| 5.5. Épilogue.....                                                                                                                             | 294 |
| 6. L'énergétisme contre les constructions mécaniques de l'Univers.....                                                                         | 294 |
| EXTRAIT 16 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Sur la nature du mouvement<br/>auquel nous donnons le nom de chaleur</i> .....                                | 299 |
| EXTRAIT 17 : JAMES CLERK MAXWELL. <i>La chaleur</i> .....                                                                                      | 308 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| EXTRAIT 18 : MAX PLANCK. <i>Autobiographie scientifique</i> .....                                                                                                | 318 |
| EXTRAIT 19 : WILHELM OSTWALD. <i>La déroute de l'atomisme<br/>contemporain</i> .....                                                                             | 326 |
| EXTRAIT 20 : MARCEL BRILLOUIN. <i>Pour la matière</i> .....                                                                                                      | 333 |
| EXTRAIT 21 : WILHELM OSTWALD. <i>Lettre sur l'énergétique</i> .....                                                                                              | 338 |
| <b>CHAPITRE 5. L'accomplissement de la thermodynamique</b> .....                                                                                                 | 345 |
| 1. Duhem : réflexions sur la physique .....                                                                                                                      | 346 |
| 1.1. Pierre Duhem : de la critique de la philosophie mécaniste<br>à la recherche d'une intelligibilité aristotélicienne du monde.....                            | 346 |
| 1.2. La physique des principes .....                                                                                                                             | 348 |
| 2. La thermodynamique phénoménologique .....                                                                                                                     | 351 |
| 3. La mécanique statistique selon Gibbs .....                                                                                                                    | 357 |
| EXTRAIT 22 : PIERRE DUHEM. <i>Évolution des théories physiques</i> .....                                                                                         | 361 |
| EXTRAIT 23 : PIERRE DUHEM. <i>Introduction à la mécanique chimique</i> .....                                                                                     | 363 |
| EXTRAIT 24 : PIERRE DUHEM. <i>Commentaire aux principes<br/>de la thermodynamique</i> .....                                                                      | 365 |
| EXTRAIT 25 : PIERRE DUHEM. <i>Traité d'énergétique,<br/>ou Thermodynamique générale</i> .....                                                                    | 367 |
| EXTRAIT 26 : PIERRE DUHEM. <i>Le potentiel thermodynamique<br/>et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude<br/>des phénomènes électriques</i> ..... | 371 |
| EXTRAIT 27 : J.-WILLARD GIBBS. <i>Comptes rendus et analyses<br/>par Pierre Duhem</i> .....                                                                      | 383 |
| <b>CHAPITRE 6. Mécanistes et énergétistes sur les ailes du rêve</b> .....                                                                                        | 388 |
| 1. Ludwig Boltzmann .....                                                                                                                                        | 389 |
| 2. Wilhelm Ostwald .....                                                                                                                                         | 390 |
| 3. Pierre Duhem ou l'art de couper les ailes du rêve .....                                                                                                       | 392 |
| 4. Épilogue : le triomphe de l'atomisme .....                                                                                                                    | 393 |
| EXTRAIT 28 : LUDWIG BOLTZMANN. <i>Leçon inaugurale tenue<br/>à Leipzig en novembre 1900</i> .....                                                                | 395 |
| EXTRAIT 29 : WILHELM OSTWALD. <i>L'énergie</i> .....                                                                                                             | 399 |
| EXTRAIT 30 : PIERRE DUHEM. <i>Physique de croyant</i> .....                                                                                                      | 406 |
| <b>Bibliographie</b> .....                                                                                                                                       | 409 |
| <b>Index des noms</b> .....                                                                                                                                      | 415 |