

| | |
|---|-----------|
| 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 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 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 (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 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 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 de la chaleur</i> | 85 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 2. De la conversion des forces à la conservation de l'énergie | 104 |
| 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 |

| | |
|---|-----|
| CHAPITRE 3. Le second principe des théories mécanique ou dynamique de la chaleur | 161 |
| 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 « disgrégation » | 189 |

| | |
|--|------------|
| 4.2. Des « Valeurs d'équivalence des transformations » à l'entropie, 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 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 dynamique de la Chaleur</i> | 216 |
| EXTRAIT 13 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Sur une autre forme du second principe de la théorie mécanique de la chaleur</i> | 220 |
| EXTRAIT 14 : RUDOLF CLAUSIUS. <i>Le second principe de la théorie 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 idéal..... | 266 |
| 2.5. Introduction des probabilités dans le modèle du gaz idéal par Clausius..... | 271 |
| 3. De la distribution des vitesses dans un état de chaos moléculaire 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 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 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 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 contemporain</i> | 326 |
| EXTRAIT 20 : MARCEL BRILLOUIN. <i>Pour la matière</i> | 333 |
| EXTRAIT 21 : WILHELM OSTWALD. <i>Lettre sur l'énergétique</i> | 338 |

CHAPITRE 5. L'accomplissement de la thermodynamique

| | |
|--|-----|
| 1. Duhem : réflexions sur la physique | 346 |
| 1.1. Pierre Duhem : de la critique de la philosophie mécaniste 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 de la thermodynamique</i> | 365 |
| EXTRAIT 25 : PIERRE DUHEM. <i>Traité d'énergétique, ou Thermodynamique générale</i> | 367 |
| EXTRAIT 26 : PIERRE DUHEM. <i>Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques</i> | 371 |
| EXTRAIT 27 : J.-WILLARD GIBBS. <i>Comptes rendus et analyses par Pierre Duhem</i> | 383 |

CHAPITRE 6. Mécanistes et énergétistes sur les ailes du rêve

| | |
|---|-----|
| 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 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 |

Bibliographie

Index des noms