

# Préface

**Michel FEIDT**

*LEMETA, Université de Lorraine, Vandoeuvre-les-Nancy, France*

L'ouvrage que vous avez entre les mains fait partie du thème « Physique de l'énergie et efficacité énergétique » de la collection Ingénierie et systèmes.

Ce thème, bien que récent, n'est pas nouveau. Il est tout particulièrement soutenu par l'outil thermodynamique et ce quelle que soit l'échelle.

L'aspect retenu sera phénoménologique et surtout décliné en vue de préciser le concept-clé d'« efficacité », essentiel pour tout système ou procédé.

La déclinaison retenue pour le développement du thème se fait autour de quatre ouvrages successifs, corrélés entre eux de façon forte, mais aussi avec d'autres thèmes de la collection :

- *Physique de l'énergie fondamentaux ;*
- *Thermodynamique des moteurs thermiques ;*
- *Les machines thermiques à cycles inverses ;*
- *L'efficacité en pratique.*

En remerciant ISTE, les divers coordinateurs, les auteurs pour leurs contributions et actions efficaces malgré les conditions très particulières du moment. Nous restons dans l'attente des remarques, suggestions et questions de lecteurs.

# Avant-propos

**Bernard DESMET**

*INSA – HdF, Université Polytechnique Hauts-de-France, Valenciennes, France*

Le présent ouvrage a pour ambition de présenter une synthèse des bases de thermodynamique permettant de comprendre et d'analyser la conversion de chaleur en travail dans les moteurs thermiques. Il s'adresse plus particulièrement aux étudiants des licences et masters scientifiques et aux élèves-ingénieurs, mais il pourra aussi être utile aux ingénieurs et techniciens en activité dans les domaines concernés.

La conversion de chaleur en travail mécanique, dans le domaine des transports et pour les applications industrielles, est confrontée à deux enjeux majeurs : la préservation des ressources naturelles, ce qui implique une haute efficacité énergétique et la limitation des rejets de dioxyde de carbone et des émissions polluantes. Pour mesurer l'impact global des systèmes de production d'énergie mécanique, il est nécessaire de distinguer les sources d'énergie primaire (charbon, pétrole, gaz naturel, nucléaire, etc.) ou renouvelable (hydraulique, biomasse, géothermie, solaire, éolien, etc.) des vecteurs d'énergie, c'est-à-dire de ressources énergétiques qui ne sont pas (ou peu) disponibles à l'état naturel et qui doivent être produites (énergie électrique, hydrogène, gaz s'il est fabriqué, etc.). L'utilité des vecteurs d'énergie, qui sont des intermédiaires entre les sources d'énergie primaire et l'utilisation, réside dans leur capacité de stockage d'énergie, leur aptitude à être distribués, la résolution de problèmes d'émissions polluantes locales comme dans le cas des villes, et probablement d'autres. Leur impact sur les émissions de CO<sub>2</sub> globales, et donc sur le climat, est lié à leur processus de production. Du point de vue de la consommation des ressources, c'est l'ensemble de la chaîne, de la source à l'utilisation, qui doit être examiné.

Il est très probable que, pour de nombreuses années encore, la conversion de chaleur, issue de la combustion ou d'autres sources, en travail mécanique restera nécessaire. L'optimisation de ce processus de conversion doit donc être menée pour préserver les ressources d'énergie primaire et maîtriser son impact environnemental. Les systèmes de conversion d'énergie performants basés sur des cycles combinés ou les installations de cogénération utilisent pour la plupart des moteurs à combustion interne ou des turbines à gaz dont les performances doivent également être optimisées. L'analyse thermodynamique développée dans cet ouvrage est l'une des réponses à ces objectifs.

Les chapitres sont les suivants :

– le chapitre 1, « Conversion d'énergie : bases thermodynamiques », présente succinctement les principales notions thermodynamiques utiles dans la suite de l'ouvrage ;

– le chapitre 2, « Thermodynamique des moteurs à combustion interne », compare les différents cycles de fonctionnement théoriques. Une attention particulière est portée à l'influence des propriétés thermodynamiques du fluide de travail. L'approche zéro-dimensionnelle, plus réaliste, est ensuite présentée ;

– le chapitre 3, « Propulsion aéronautique et spatiale », est consacré à l'analyse thermodynamique des turbines à gaz et leurs applications en propulsion aéronautique. Les auteurs présentent les différentes étapes du processus industriel de développement de turboréacteurs ;

– le chapitre 4, « Combustion et conversion d'énergie », s'intéresse essentiellement aux aspects énergétiques de la combustion, source principale de chaleur des machines thermiques ;

– les chapitres 5 et 6, « Moteurs à apport de chaleur externe », et « Valorisation d'énergie et de chaleur fatale » sont motivés par la nécessité de la protection environnementale. Les moteurs à apport de chaleur externe, assez peu utilisés, trouvent un regain d'intérêt du fait de leur capacité à utiliser des sources de chaleur variées et des améliorations permises par les progrès techniques. Le chapitre 6 s'intéresse à la récupération d'énergie, en particulier sous forme de cogénération de forte puissance ou de microcogénération.

François Cottier est ingénieur diplômé de l'ENSIMEV, école de l'université de Valenciennes. Il a vingt ans d'expérience industrielle en propulsion aéronautique chez MTU Aero Engines à Munich. En tant que spécialiste d'analyse thermique des composants de turboréacteurs, il a été responsable de la conception thermique des aubages de turbine de plusieurs turboréacteurs du marché et mène divers projets de recherche pour le développement de nouvelles technologies des turboréacteurs. Spécialiste de simulation numérique d'écoulements et de transferts thermiques, il a été responsable de l'intégration de méthodes modernes de simulation numérique 3D en mécanique

des fluides dans le processus de développement de turboréacteurs. Actuellement, il participe au développement de technologies futures et de concepts originaux pour des applications aéronautiques.

Georges Descombes, ingénieur du Cnam, a occupé de 2007 à 2018 les fonctions de professeur des universités au Cnam de Paris après avoir démarré sa carrière universitaire comme assistant en 1990. Il avait précédemment expérimenté ses apprentissages et son métier de technicien, puis d'ingénieur, dans le privé pendant une vingtaine d'années dans l'automobile et le transport industriel. Il a encadré une centaine de mémoires d'ingénieur et de masters universitaires ainsi qu'une vingtaine de thèses de doctorat. Georges Descombes a publié une centaine d'articles et de conférences internationales ainsi que de nombreux ouvrages académiques. Il est actuellement conseiller scientifique en physique énergétique des mobilités.

Bernard Desmet, ingénieur diplômé en 1970 de l'École nationale supérieure d'arts et métiers (ENSAM) a exercé des fonctions d'enseignant-chercheur à l'université des sciences et techniques de Lille et à l'ENSAM Lille, puis celles de professeur à l'École nationale supérieure en informatique, automatique, mécanique énergétique électronique (ENSIAME) de l'université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis de 1988 à 2011. Bernard Desmet a dirigé de nombreuses thèses de doctorat. Il a focalisé ses recherches sur les phénomènes de transferts dans les machines à fluides avec l'objectif de l'amélioration des performances en termes de consommation d'énergie et de réduction des émissions. Il est l'auteur de plus de 40 articles dans des revues scientifiques.

Mohamed Mebarkia est ingénieur diplômé en 2014 de la faculté des sciences et technologies de l'université de Tébessa dans la spécialité électromécanique. Il a soutenu sa thèse de doctorat en 2018 à l'institut des mines de l'université de Tébessa dédiée à l'étude du transport thermique et du mécanisme d'ébullition à l'intérieur de différentes configurations de tubes chauffants. Cette thématique concerne l'énergie thermique et la récupération d'énergie fatale dans les unités de production d'énergie dans le bâtiment, l'industrie, les moteurs thermiques, les turbines à gaz et les cycles combinés, la climatisation et l'ingénierie climatique à faible rejet de chaleur ainsi que les énergies renouvelables de deuxième génération et la cogénération chaude et froide.

Yannick Muller a été diplômé ingénieur de l'école nationale supérieure d'ingénieurs de constructions aéronautiques (ENSICA) en 2003. Il a soutenu sa thèse de doctorat à l'université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, préparée dans le cadre d'une collaboration avec le constructeur de turboréacteurs MTU Aéro Engines AG à Munich, et travaille depuis dans cette entreprise. Il a plus de 15 ans d'expérience en développement de moteurs et de technologies de propulsion occupant différents postes dans les équipes de système d'air secondaire et de performances moteur et, en parallèle, il a mené à bien plusieurs projets d'amélioration des méthodes de conception des moteurs en aéronautique. En charge du logiciel SAS interne à MTU, il a

promu l'utilisation de la modélisation couplée fluide-structure-thermomécanique et il a aussi introduit l'utilisation de méthodes stochastiques pour le système d'air secondaire. Après son poste au département des performances moteur, il travaille maintenant dans l'équipe thermodynamique sur les concepts des moteurs du futur.

Des remerciements sont adressés à Céline Morin, professeure à l'INSA Hauts-de-France/UPHF pour sa relecture attentive du chapitre 4, « Combustion et conversion d'énergie », et ses suggestions.