

Table des matières

Préface	1
Michel FEIDT	
Avant-propos	3
Jocelyn BONJOUR	
Chapitre 1. Production de froid et de chaleur par machines à cycle inverse : état de l'art	7
Philippe HABERSCHILL et Rémi REVELLIN	
1.1. Machines dithermes à compression de vapeur	7
1.1.1. Principe de fonctionnement des installations frigorifiques en circuit fermé : définitions	8
1.1.2. Cycle réel à surchauffe et sous-refroidissement	11
1.1.3. Cycles particuliers	12
1.1.4. Modes de réglage de la puissance thermique	25
1.2. Machines trithermes	26
1.2.1. Principe de fonctionnement thermodynamique	26
1.2.2. Machines à absorption	26
1.2.3. Machines à éjection	42
1.3. Bibliographie	47
Chapitre 2. Analyses entropique et exergetique appliquées aux cycles inverses	49
Jocelyn BONJOUR et Rémi REVELLIN	
2.1. Définition du système d'étude et objectifs	49

2.2. Analyse énergétique	52
2.2.1. Analyses à l'échelle du système en régime permanent	53
2.2.2. Analyse à l'échelle du système : puissance ou énergie ?	56
2.2.3. Analyse à l'échelle des composants	57
2.3. Analyse entropique	66
2.3.1. Second principe : bilan de puissance entropique.	67
2.3.2. Limite supérieure réversible : machines de Carnot	67
2.3.3. Analyse entropique à l'échelle des composants	77
2.3.4. Analyse entropique à l'échelle des phénomènes : écoulements diphases avec transfert de chaleur et changement de phase	84
2.4. Analyse exergetique.	88
2.4.1. Du concept d'exergie à des propositions de définition	88
2.4.2. Définitions mathématiques de l'exergie.	89
2.4.3. Analyse exergetique de machines à cycle inverse	92
2.5. Cas d'étude pour l'analyse exergetique	95
2.5.1. Machine frigorifique à compression refroidie et valorisation de rejet thermique.	95
2.5.2. Pompe à chaleur fonctionnant au CO ₂ avec ou sans éjecteur	96
2.6. Bibliographie	99

Chapitre 3. Thermodynamique et optimisation des machines à cycle inverse

101

Michel FEIDT

3.1. Les machines réceptrices selon la thermodynamique de l'équilibre : rappel des concepts	101
3.2. Les machines réceptrices en présence d'irrégularités internes.	103
3.3. La machine à froid de Carnot selon la thermodynamique en temps fini	104
3.4. Le modèle de la machine de Carnot à cycle inverse selon la thermodynamique en dimensions physiques finies (TDPF)	106
3.4.1. Modèle de machine de Carnot en conductances thermiques	106
3.4.2. Extensions immédiates du modèle en conductances thermiques	110
3.5. Généralisation du modèle de machine de Carnot à cycle inverse selon la thermodynamique en dimensions physiques finies (TDPF)	112
3.6. Dernières avancées dans le modèle des machines de Carnot à cycle inverse.	114

3.6.1. Modèle en énergie	114
3.6.2. Minimisation de la dépense énergétique de la MAF de Carnot (puissance).	115
3.6.3. Réfrigérateur de Chambadal modifié	116
3.6.4. Réfrigérateur de Curzon-Ahlborn modifié	118
3.7. Extension de la thermodynamique en dimensions physiques finies à deux systèmes complexes	120
3.7.1. Systèmes complexes à deux réservoirs	120
3.7.2. Notions sur les machines à cycle inverse à trois et quatre réservoirs	125
3.8. Conclusions et perspectives	127
3.9. Bibliographie.	127

Chapitre 4. Verrous scientifiques et technologiques des machines à compression thermique.

Florine GIRAUD, Romuald RULLIÈRE et Jocelyn BONJOUR

4.1. Introduction.	131
4.2. Cinétiques et dynamiques : transferts de chaleur et de masse dans les machines à compression thermique	132
4.2.1. Théorie de l'absorption et éléments de dimensionnement d'absorbeurs.	133
4.2.2. Théorie de l'adsorption et éléments de dimensionnement d'adsorbeurs et de machines à cycle inverse à adsorption	140
4.2.3. Enjeux associés à la cinétique et aux résistances aux transferts	146
4.3. Verrous technologiques pour la conception des composants	148
4.3.1. Couple de fluides	148
4.3.2. Absorbeur	150
4.3.3. Adsorbeur	154
4.3.4. Évaporateur	163
4.3.5. Couplage des composants : l'évapo-absorbeur.	169
4.4. Risques associés aux phénomènes de transition de phase liquide-solide	173
4.4.1. Cristallisation	173
4.4.2. Prise en glace	175
4.5. Conclusion	177
4.6. Bibliographie.	177

Chapitre 5. Le froid magnéto-calorique : principe et applications . . . 185

Monica SIROUX

5.1. Introduction.	185
5.2. Théorie de la réfrigération magnétique.	186
5.2.1. Historique	186
5.2.2. L'effet magnéto-calorique	187
5.2.3. Les cycles magnéto-thermodynamiques.	189
5.2.4. Les matériaux magnéto-caloriques	195
5.3. Modèles numériques	200
5.3.1. Les modèles numériques des régénérateurs magnéto-caloriques.	200
5.3.2. Les modèles numériques récents	203
5.4. Applications	209
5.4.1. Prototypes	209
5.4.2. Applications futures	217
5.5. Conclusion	220
5.6. Bibliographie.	220

**Chapitre 6. Les systèmes à effets thermoélectriques
comme alternative aux machines à cycle inverse. 225**

Julien RAMOUSSE et Stéphane PAILHÈS

6.1. Bases en thermoélectricité	227
6.1.1. Transport de la charge et de la chaleur	229
6.1.2. Effets thermoélectriques	235
6.1.3. Principaux axes de recherche	245
6.2. Mise en œuvre et analyse des performances	253
6.2.1. Mise en œuvre des modules thermoélectriques	254
6.2.2. Analyse des performances des modules thermoélectriques	256
6.2.3. Performances intrinsèques des systèmes thermoélectriques	257
6.2.4. Dimensionnement optimal.	261
6.2.5. Performances globales des systèmes thermoélectriques	263
6.2.6. Analyse thermodynamique des irréversibilités.	265
6.2.7. Intégration et gestion	267
6.3. Applications	268
6.3.1. Refroidissement de composants électroniques et optiques	269
6.3.2. Réfrigérateur domestique	270
6.3.3. Applications dans le bâtiment : air conditionné, rafraîchissement d'ambiance	270

6.3.4. Refroidissement dans l'automobile	271
6.3.5. Rafraîchissement solaire autonome	271
6.4. Bibliographie	272
Liste des auteurs	283
Index	285