

Table des matières

1. Avant-propos	13
2. Rappels de thermodynamique	16
2.1. Systèmes thermodynamiques ouverts et fermés	16
2.1.1. Système thermodynamique fermé	18
2.1.2. Système thermodynamique ouvert (cas d'une turbomachine)	19
2.2. Transformations diabatiques et adiabatiques	21
2.3. Premier principe de la thermodynamique	22
2.4. Second principe de la thermodynamique	23
2.5. Chaleurs massiques des fluides	24
2.6. Equation de l'état du gaz (Clapeyron), gaz parfaits, valeurs moyennes de c_p et γ	25
2.7. Diagrammes T-s et h-s pour l'eau et la vapeur d'eau	28
2.7.1. Propriétés de l'eau et de la vapeur d'eau	29
2.7.2. Représentation et étude des propriétés de la vapeur d'eau	31
2.7.3. Diagramme T-s	31
2.7.4. Diagramme h-s (diagramme de Mollier) pour la vapeur d'eau et pour l'air	38
3. Rappels de mécanique des fluides	42
3.1. Classification des fluides et leurs propriétés	42
3.2. Types d'écoulements	44
3.2.1. Ligne de courant et nombre de Reynolds	45
3.2.2. Nombre de Mach	47
3.3. Point d'arrêt, pressions statique et dynamique	48
3.4. Mesures de pression et de vitesse	49
3.5. Equation de continuité	50
3.6. Equation de Bernoulli	52
3.7. Réaction dynamique du fluide sur un canal	52
3.8. Représentation d'une compression et détente adiabatique sur h-s ..	54
3.9. Rendements isentropiques de compression et de détente	57
3.10. Lois de Laplace	58
3.11. Cycle théorique de Carnot	60

4. Combustion	63
4.1. Pouvoir calorifique de combustibles	63
4.2. Réactions stœchiométriques de combustion	65
4.3. Coefficient d'excès d'air, richesse massique, chaleur massique des gaz brûlés.....	68
5. Moteurs alternatifs (à piston) à combustion interne	73
5.1. Principe de fonctionnement d'un moteur à piston sur l'exemple d'un moteur à explosion	73
5.2. Cycle d'Otto (ou cycle de Beau de Rochas).....	76
5.3. Cycle Diesel.....	78
5.3.1. Le cycle à volume constant.....	79
5.3.2. Le cycle à pression constante.....	79
5.3.3. Le cycle de Sabathé	80
5.3.4. Le cycle réel.....	80
5.4. Exemples de construction	81
5.4.1. Disposition des cylindres	81
5.4.2. Système d'alimentation en carburant.....	82
5.4.3. Système de refroidissement	83
5.4.4. Système de distribution.....	83
5.4.5. Mode de remplissage des cylindres, suralimentation (« turbo »).....	84
6. Principe de fonctionnement des turbomachines	87
6.1. Distribution de pression sur le profil d'aubes, création d'un effort mécanique du fluide sur un rotor.....	90
6.2. Turbomachines axiales	91
6.2.1. Transformation thermodynamique dans un étage d'une turbine et rendements périphériques	91
6.2.2. Triangles de vitesses	93
6.2.3. Etage d'un compresseur axial	95
6.2.4. Turbomachines axiales multi étagées	98
6.3. Turbomachines radiales	102
6.3.1. Etage d'une turbine radiale centripète, équation d'Euler	102
6.3.2. Etage d'un compresseur centrifuge.....	108
6.3.3. Compresseurs radiaux multi étagés	113

7. Centrales thermiques classiques à vapeur d'eau	115
7.1. Schéma du processus technologique	115
7.2. Cycle de Rankine avec surchauffe de la vapeur	117
7.3. Cycle de Rankine avec resurchauffe.....	120
7.3.1. Dépendance du rendement en fonction de la pression de resurchauffe, des paramètres initiaux de la vapeur et de la température du condensat	122
7.3.2. Echauffement de régénération du condensat par la prise de vapeur de la turbine	125
7.4. Schéma du système thermique du bloc de 360 MW.....	128
7.5. Paramètres initiaux et finaux de la vapeur et rendement global des centrales thermiques classiques.....	130
7.6. Principaux éléments d'une centrale thermique classique	133
7.6.1. Préparation de la poudre de charbon.....	133
7.6.2. Construction d'une chaudière à double tirage avec le circuit naturel.....	135
7.6.3. Chaudière sans ballon	137
7.6.4. Chaudières au lit fluidisé	138
7.6.5. Ventilateurs	139
7.6.6. Condenseur	141
7.6.7. Réchauffeurs d'air.....	142
7.6.8. Réchauffeur d'eau d'alimentation	142
7.7. Combustion du charbon et la protection de l'environnement.....	143
7.8. Exercices et exemples numériques	144
8. Centrales nucléaires.....	148
8.1. Réactions nucléaires	148
8.1.1. Notions sur la fission nucléaire.....	148
8.1.2. Notions sur la fusion nucléaire	149
8.2. Réacteur à neutrons thermiques, combustible nucléaire.....	151
8.2.1. Schéma du réacteur à neutrons thermiques.....	151
8.2.2. Combustible nucléaire	152
8.3. Filières des centrales à réacteurs d'eau : Réacteur à Eau sous Pression (REP).....	153
8.3.1. Les circuits d'un REP	154
8.3.2. Barrières de protection du réacteur PWR	156

8.4. Filières des centrales à réacteurs d'eau : Réacteur à Eau Bouillante (REB)	157
8.5. Filières des centrales à réacteurs canaux	159
8.5.1. Réacteur de grande puissance à eau bouillante – Tchernobyl	159
8.5.2. La catastrophe de Tchernobyl.....	160
8.5.3. Réacteur à eau lourde CANDU	160
8.6. Réacteur à neutrons rapides	162
8.7. Paramètres de la vapeur des centrales nucléaires	163
8.7.1. A vapeur humide et à vapeur surchauffée	163
8.7.2. Comparaison de la détente de vapeur dans une centrale classique et dans une centrale nucléaire	164
8.7.3. Turbines des centrales nucléaires	165
8.8. Les centrales nucléaires et la protection de l'environnement	166
9. Turbines à combustion interne (turbines à gaz)	168
9.1. Principe de fonctionnement des turbines à combustion interne ...	168
9.2. Cycle de Joule.....	168
9.3. Cycle réel	169
9.4. Rendement thermique	170
9.5. Turbines à un seul arbre.....	171
9.6. Turbines à deux arbres.....	172
9.7. Cycle thermodynamique des turbines à combustion interne avec récupération de chaleur des gaz d'échappement	174
9.8. Rendement d'une turbine à gaz en fonction des paramètres du cycle	175
9.9. Paramètres des turbines à gaz industrielles	177
9.10. Exercices et exemples numériques	179
10. Centrales thermiques combinées gaz-vapeur	185
10.1. Principe du fonctionnement	185
10.2. Rendement des centrales gaz-vapeur.....	186
10.3. Exemple de construction d'une centrale gaz-vapeur.....	187
10.4. Paramètres des centrales combinées – série KA des centrales combinées de la Société ABB	188

11. Tendances du développement des centrales électriques vis-à-vis de la protection de l'environnement	191
11.1. Centrales électriques qui marchent au charbon ou au lignite (technologie classique PF : Pulverized Coal-Fired)	191
11.2. Centrales électriques qui marchent au gaz naturel	192
11.3. Centrales nucléaires	193
11.4. L'utilisation de sources renouvelables d'énergie	194
12. Utilisation de l'énergie des sources renouvelables.....	195
12.1. Energie éolienne	195
12.1.1. Mécanismes de la formation du vent.....	195
12.1.2. Principe du fonctionnement d'une éolienne	197
12.1.3. Principes théoriques	198
12.1.4. L'énergie éolienne hier, aujourd'hui et demain	201
12.2. Energie solaire	202
12.2.1. Ensoleillement de la terre.....	203
12.2.2. Utilisation de l'énergie solaire	204
12.3. Energie géothermique	205
12.3.1. Méthode d'exploitation des sources géothermales à très haute énergie : production de l'électricité	207
12.3.2. Méthode d'exploitation des sources géothermales à moyenne énergie : chauffage urbain.....	208
12.3.3. Géothermie à moyenne énergie en Pologne et en France..	210
12.3.4. Défauts d'utilisation de l'énergie géothermique	211
12.3.5. Pompes à chaleur.....	211
12.4. Energie hydraulique.....	214
12.5. Biomasse.....	216
12.5.1. Méthodes d'exploitation.....	217
12.5.2. Chauffage urbain et production d'électricité.....	218
12.6. Participation des énergies des sources renouvelables dans la production mondiale d'électricité	219
Bibliographie	221