

Sous la direction de
RÉMY MOSSERI
CATHERINE JEANDEL

L'énergie à découvert



CNRS EDITIONS

Sous la direction de
Rémy Mosseri
Catherine Jeandel

L'énergie à découvert

CNRS ÉDITIONS

Table des matières

Préface	
<i>Alain Fuchs</i>	14
Avant-propos	
<i>Rémy Mosseri et Catherine Jeandel</i>	15

- Première partie -

INTRODUCTION

1. Les dynamiques mondiales de l'énergie	
<i>Patrick Criqui</i>	19
2. Énergie, effet de serre et changement climatique	
<i>Valérie Masson-Delmotte, Hervé Le Treut et Didier Paillard</i>	22
3. Énergie et environnement : la nécessité des approches territoriales	
<i>Claude Kergomard</i>	26
4. Quelle histoire pour l'énergie ?	
<i>Mathieu Arnoux</i>	29
5. Prospective énergétique : modèles contre futurologie	
<i>Jean-Charles Hourcade</i>	32
6. Dans la jungle des grandeurs et unités	
<i>Catherine Jeandel, Matthieu Tissier et Rémy Mosseri</i>	34

- Deuxième partie -

QUELQUES ASPECTS FONDAMENTAUX

1. L'énergie, une grandeur « qui se conserve »	
<i>Etienne Klein</i>	39
2. L'énergie sous ses différentes formes	
<i>Sandra Bouneau</i>	40
3. L'énergie : aspects thermodynamiques	
<i>Matthieu Tissier</i>	42
4. Énergie et matière : radioactivité, fission, fusion	
<i>Olivier Méplan</i>	44
5. Énergie et lumière	
<i>Jean-Michel Raimond et Serge Haroche</i>	46
6. Effet photovoltaïque : principes physiques	
<i>Jean-Paul Kleider</i>	48

7. Énergie : aspect hydro- et aéro-dynamiques	
<i>Jean-Marc Chomaz</i>	50
8. L'énergie et le vivant	
<i>Fabrice Rappaport, Francis Haraux et Francis-André Wollman</i>	54
9. La combustion	
<i>Sébastien Candel et Daniel Durox</i>	58
10. La catalyse	
<i>Bruno Chaudret</i>	60
11. Matériaux pour l'énergie	
<i>Claude Delmas</i>	62
12. Vue générale de l'intérieur de la Terre	
<i>Henri-Claude Nataf</i>	65
13. Matière et énergie : stocks et cycles	
<i>Bruno Goffé</i>	67
14. Les métaux rares pour l'énergie	
<i>Patrice Christmann</i>	70
15. Stockage de l'énergie, aspects fondamentaux	
<i>Pascal Brault et Annick Percheron-Guégan</i>	72
16. Le transport de l'électricité	
<i>Marie-Cécile Alvarez-Hérault et Bertrand Raison</i>	74
17. Éléments de modélisation systémique	
<i>Daniel Krob</i>	76
18. Sécurité et sûreté des systèmes critiques	
<i>Albert Benveniste</i>	78
- Troisième partie -	
LES ÉNERGIES FOSSILES	
1. La formation des ressources fossiles	
<i>Raymond Michels et Alain-Yves Huc</i>	83
2. Exploration des bassins sédimentaires et production des hydrocarbures : outils et verrous	
<i>François Roure et Yves Lagabrielle</i>	86
3. Les hydrocarbures non conventionnels	
<i>Roland Vially et François Kalaydjian</i>	89
4. Fracturation hydraulique et alternatives	
<i>Gilles Pijaudier-Cabot</i>	92
5. Filière charbon : estimation des ressources et valorisation	
<i>Geneviève Bessereau et Alain-Yves Huc</i>	94

6. Simulation numérique en exploration et production pétrolières	
<i>Roland Masson</i>	96
7. Pétrole et gaz : réserves et évolution du profil mondial de production	
<i>Nathalie Alazard-Toux</i>	98
8. Pétrole : les différents carburants	
<i>Xavier Montagne</i>	100
9. Pétroles lourds et fond du baril	
<i>Michel Vrinat et Christophe Geantet</i>	102

- Quatrième partie -
L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

1. Du projet Manhattan au nucléaire civil	
<i>Jacques Percebois</i>	107
2. Principe de fonctionnement d'un réacteur et cycle du combustible	
<i>Sylvain David et Bernard Bonin</i>	110
3. Les réacteurs à eau sous pression de deuxième et troisième générations	
<i>Paul Reuss</i>	113
4. Le démantèlement	
<i>Philippe Guiberteau</i>	115
5. Les matériaux du nucléaire	
<i>Yves Bréchet</i>	116
6. Traitement du combustible nucléaire usé et déchets	
<i>Christian Simon, Jean-François Dufrêche et Christophe Poinssot</i>	118
7. Entreposage et stockage	
<i>Benjamin Rotenberg et Michel Cathelineau</i>	120
8. Réacteurs régénérateurs de quatrième génération	
<i>Franck Carré et Maurice Leroy</i>	122
9. La filière thorium	
<i>Elsa Merle-Lucotte</i>	124
10. De nouveaux réacteurs pour l'incinération des déchets nucléaires	
<i>Annick Billebaud et Sylvain David</i>	126
11. Fusion par confinement magnétique, le projet ITER	
<i>Pascale Hennequin</i>	127
12. Simulation numérique de la fusion magnétique	
<i>Éric Sonnendrücker</i>	130

- Cinquième partie -
LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

1. Introduction	
<i>Frédéric Ravel</i>	135
2. Eau et énergie	
<i>Ghislain de Marsily et Jacques Miquel</i>	136
3. Hydraulique : les énergies marines	
<i>Aurélien Babarit</i>	140
4. Biomasse : de nombreuses filières pour des enjeux importants	
<i>Marc Rousset</i>	143
5. Biomasse : filières thermochimiques	
<i>Jacques Lédé</i>	145
6. Biomasse : filière ligno-cellulosique, filière bois	
<i>Herman Höfte et Henri-Pierre Fierobe</i>	146
7. Biomasse aquatique, micro-algues	
<i>Jean-Paul Cadoret et Jack Legrand</i>	148
8. Les promesses des micro-algues pour la production de biodiesel	
<i>Antoine Sciandra et Gilles Peltier</i>	150
9. Bioraffinerie	
<i>Jean-Luc Duplan</i>	152
10. Les lipides microbiens	
<i>Jean-Louis Uribelarrea, Stéphane Guillouet et Carole Molina Jouve</i>	153
11. Biomasse : production de biohydrogène	
<i>Éric Latrille, Éric Trably, Franck Chauvat et Corinne Cassier-Chauvat</i>	154
12. Biomasse : biopiles à combustible	
<i>Elisabeth Lojou, Alain Bergel et Serge Cosnier</i>	155
13. Structure et mécanisme des hydrogénases	
<i>Christophe Léger et Sébastien Dementin</i>	156
14. Biomasse : filière chimique bio-inspirée	
<i>Vincent Artero, Frédéric Gloaguen, Marc Fontecave et Philippe Schollhammer</i>	158
15. Modélisation et ingénierie de la photosynthèse	
<i>Jean-François Cornet et Olivier Bernard</i>	160
16. Biomasse et déchets pour la production de bioénergies	
<i>Jean-Philippe Steyer, Éric Trably et Jérôme Hamelin</i>	162
17. La ressource solaire : importance et moyens de caractérisation	
<i>Philippe Blanc, Bella Espinar, Lucien Wald</i>	163
18. Silicium cristallin : de la cellule au module	
<i>Jean-Pierre Joly et Abdelilah Slaoui</i>	165

19. Photovoltaïque : les filières couches minces	
<i>Pere Roca i Cabarrocas et Negar Naghavi</i>	168
20. Photovoltaïque : la filière organique	
<i>Cyril Brochon, Éric Cloutet, Guillaume Fleury et Georges Hadziioannou</i>	170
21. Photovoltaïque à très haut rendement de conversion	
<i>Jean-François Guillemoles</i>	172
22. Le solaire thermique basse température	
<i>Philippe Papillon</i>	174
23. Solaire à concentration : chaleur, électricité et combustibles de synthèse	
<i>Gilles Flamant et Alain Dollet</i>	176
24. Études de sites, atlas des vents et potentiel éolien	
<i>Philippe Dandin, Franck Baraer, Dominique Giard, Pierre Lassègues, Victoire Laurent et Christelle Robert</i>	179
25. Éolien : aspects scientifiques	
<i>François Cauneau</i>	182
26. Éolien : le couplage au réseau	
<i>Xavier Guillaud</i>	184
27. L'éolien offshore	
<i>Daniel Averbuch</i>	186
28. Géothermie : estimation des ressources mondiales	
<i>Bernard Sanjuan</i>	188
29. Géothermie : différentes filières pour des utilisations très variées	
<i>Romain Vernier</i>	190
30. L'hydrogène naturel	
<i>Bruno Goffé et François Guyot</i>	193
31. Carbone renouvelable et durabilité	
<i>Paul Colonna et Benoît Gabrielle</i>	194
32. Les conditions sociotechniques du développement des ENR	
<i>Marie-Christine Zélem</i>	196

- Sixième partie -

ENTRE SOURCES ET USAGES : STOCKAGE ET VECTEURS D'ÉNERGIE

1. Introduction aux vecteurs et aux stockages d'énergie	
<i>Bernard Tardieu</i>	201
2. Apports de la chimie pour de meilleurs accumulateurs	
<i>Patrice Simon, Jean-Marie Tarascon</i>	202
3. Les supercondensateurs	
<i>Thierry Brousse et François Béguin</i>	204

4. Les piles à combustible	
<i>Gérald Pourcelly</i>	206
5. Le vecteur hydrogène	
<i>François Le Naour</i>	208
6. Stockage solide de l'hydrogène	
<i>Daniel Fruchart</i>	211
7. Le stockage par pompage	
<i>Pierre-Louis Viollet</i>	212
8. Stockage magnétique : le SMES	
<i>Pascal Tixador</i>	213
9. Le stockage mécanique	
<i>Pierre Odru</i>	214
10. Le stockage thermique et thermochimique	
<i>Xavier Py</i>	216

- Septième partie -

USAGES DE L'ÉNERGIE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

1. Introduction aux usages de l'énergie	
<i>Didier Mayer</i>	221
2. Efficacité énergétique : la combustion	
<i>Mourad Abdelkrim Boukhalfa</i>	222
3. Efficacité énergétique : l'éclairage	
<i>Georges Zisis</i>	224
4. La cogénération	
<i>Iskender Gökalp</i>	226
5. Efficacité énergétique des bâtiments : l'isolation thermique, les nouveaux matériaux	
<i>Hervé Arribart</i>	228
6. Efficacité énergétique des bâtiments : performance et localisation	
<i>Daniel Quenard</i>	230
7. Le projet ADREAM	
<i>Michel Diaz</i>	232
8. Efficacité énergétique : les technologies de l'information	
<i>Olivier Sentieys</i>	233
9. Efficacité énergétique : l'intégration des systèmes industriels	
<i>Gilles Hétreux et Raphaële Théry</i>	236
10. La valorisation des chaleurs fatales : un potentiel important encore trop peu utilisé	
<i>Bernard Lachal</i>	238

- Huitième partie -

LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES

1. Introduction aux impacts environnementaux et sanitaires	
<i>Catherine Jeandel et Rémy Mosseri</i>	243
2. Gaz de schiste : une source d'énergie qui fait débat	
<i>Normand Mousseau</i>	244
3. Gaz de schiste : impacts environnementaux	
<i>François Renard</i>	246
4. Gaz de schiste et gaz à effet de serre	
<i>Camille Yver et Philippe Ciaï</i>	249
5. Les barrages ont-ils un impact environnemental négligeable ?	
<i>Hervé Piégay</i>	250
6. Barrages et gaz à effet de serre	
<i>Dominique Serça et Frédéric Guérin</i>	252
7. Les impacts environnementaux de l'énergie nucléaire	
<i>Bernd Grambow</i>	253
8. Les impacts sanitaires de l'énergie nucléaire	
<i>Florent de Vathaire</i>	256
9. Les différents types de pollution en lien avec l'énergie	
<i>Émilie Perraudin et Éric Villenave</i>	260
10. L'ingénierie écologique au service de la durabilité énergétique	
<i>Thierry Dutoit</i>	262
11. Captage et stockage géologique du CO ₂	
<i>Daniel Broseta, Jean-Philippe Torrè et Éric Favre</i>	264
12. La valorisation du CO ₂	
<i>François Moisan</i>	266
13. De nouveaux solides poreux hybrides pour la capture du CO ₂	
<i>Christian Serre et Gérard Férey</i>	268
14. Les coûts externes de l'énergie : les projets ExternE de la CE	
<i>Ari Rabl</i>	269
15. Analyse du cycle de vie et temps de retour énergétique	
<i>Isabelle Blanc et Didier Beloin-Saint-Pierre</i>	270
16. Impacts territoriaux et compensations socio-environnementales	
<i>Julie Gobert</i>	272

LE NOUVEAU MIX ÉNERGÉTIQUE ET SES CONSÉQUENCES

1. Introduction au mix énergétique	
<i>Pascal Brault et Alain Dollet</i>	277
2. Bouquet énergétique et énergies renouvelables	
<i>Jean-Jacques Bézian</i>	278
3. Les smart-grids ou réseaux électriques intelligents	
<i>Nouredine Hadjsaid et Jean-Claude Sabonnadière</i>	280
4. L'économie des smart-grids	
<i>Patrice Geoffron</i>	282
5. Les défis de la gestion optimisée des smart-grids	
<i>Michel De Lara</i>	284
6. Énergies renouvelables et territoire : nouveaux accès, nouveaux potentiels	
<i>Olivier Labussière</i>	286
7. Transitions énergétiques urbaines	
<i>Jonathan Rutherford</i>	288
8. Transition énergétique et nouveaux modèles organisationnels	
<i>Dominique Finon</i>	290
9. Avenir du mix énergétique	
<i>Francis Kovacs</i>	292

QUESTIONS OUVERTES

1. L'énergie au XXI ^e siècle : les nouveaux défis	
<i>Michel Colombier</i>	297
2. Bien identifier les verrous technologiques pour accélérer la transition énergétique	
<i>Bernard Bigot</i>	300
3. Enseigner l'énergie à la fois comme concept scientifique et comme bien public	
<i>Cécile de Hosson et Luc Valentin</i>	302
4. Les scientifiques dans le débat public sur l'énergie	
<i>Rémy Mosseri</i>	304
5. Les utopies en énergie	
<i>Daniel Lincot</i>	306
6. Débat sociétal, éthique et politique	
<i>Nicole Belloubet</i>	308

COMPLÉMENTS

Glossaire
Contributeurs
Laboratoires, instituts et organismes