



COLLECTION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT EDF

Efficacité énergétique

Des principes aux réalités

Paul Baudry, coordonnateur



Lavoisier
TEC & DOC

Table des matières

Liste des auteurs	V
Remerciements	VII
Préface	IX
Abréviations	XVII
Introduction : Efficacité énergétique – des principes aux réalités (Paul Baudry)	1

Chapitre 1

L'efficacité énergétique au cœur de la transition énergétique (Paul Baudry)	7
1. Petite histoire de l'énergie : comment en sommes-nous arrivés là ?	7
1.1. La maîtrise de l'énergie comme symbole de la civilisation humaine	7
1.2. Des sources d'énergie renouvelables de la préhistoire à la fin de l'ère pré-industrielle	8
1.3. La révolution industrielle : l'ère du charbon, puis du pétrole et du gaz	9
1.4. Un modèle de développement énergétique non durable, basé sur des énergies fossiles	10
2. Aujourd'hui et demain : pourquoi l'efficacité énergétique est-elle incontournable ?	11
2.1. Pour bien comprendre les bilans énergétiques	11
2.2. Bilan énergétique mondial : une croissance incessante de la consommation	16
2.3. La consommation finale d'énergie en France	18
2.4. Des ressources d'énergie fossile moins disponibles et plus coûteuses	20

nts du livre, de son
de relief quand ils

ner matière, selon
eux de l'efficacité
originale mais ils y
sur le pourquoi de
s gisements et sur
de cette partie du
ompensé lors des
ses prendront plus
ance qui émaillent
es hypothèses sur

vrage constituent
qui les ont précé-
du tournant com-
onduites par EDF
d'aboutir à « de
e moins en moins
lancée était posé
élaboré, avec les
es qualités à l'uti-

treprise qui, fonc-
roduit et était atta-
oucis que retrouve
archés. S'attaquer
monde des utili-
cours. Vouloir le
ropriétés et de les
sans surprise dans
ien des mutations
ction de la dépen-
ci du développe-
veloppement des
avoirs et en déve-
thmée », équipes
et pour EDF face
urs de nous faire

Paul Godin
teur (ER) d'EDF

2.5. L'impact des consommations d'énergie sur le changement climatique	21
2.6. Les perspectives d'évolution de la demande mondiale d'énergie : le rôle de l'efficacité énergétique pour un scénario soutenable	21
3. Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ? Définitions et périmètre	26
3.1. Définitions	26
3.2. Le périmètre de l'efficacité énergétique	28
3.3. L'intensité énergétique : l'indicateur des économistes	30
3.4. Les ingrédients de l'efficacité énergétique	32
4. Comment être plus efficace ? Les leviers pour accroître l'efficacité énergétique	32
4.1. La transformation du marché des équipements consommateurs d'énergie	33
4.2. L'investissement des consommateurs dans des équipements à haute performance énergétique	34
4.3. La généralisation chez les consommateurs de la sobriété énergétique	34
4.4. Le prix de l'énergie : un levier efficace mais difficile à mettre en œuvre	35
4.5. Une transition qui ne peut être que progressive	36
4.6. De combien pouvons-nous diminuer notre consommation énergétique et à quel coût ?	36

Chapitre 2

Les méthodes d'évaluation de l'efficacité énergétique

(Dominique Osso et Paul Baudry)	39
1. L'indispensable mais délicate évaluation des économies d'énergie	39
1.1. Bref historique	40
1.2. Les différents niveaux de l'évaluation	41
2. Méthodologie pour l'évaluation d'un programme d'efficacité énergétique	42
2.1. L'approche méthodologique générale	42
2.2. Les différents types d'évaluation : <i>top-down</i> versus <i>bottom-up</i> et <i>ex-ante</i> versus <i>ex-post</i>	44
2.3. Le choix déterminant de la situation de référence	51
2.4. Les différents facteurs d'ajustement pour l'évaluation de l'efficacité énergétique	54
2.5. La prise en compte de la persistance	64
2.6. Évaluation du coût des économies d'énergie	65
2.7. Incertitudes	72
2.8. Analyses coûts/bénéfices	74
2.9. L'analyse systémique d'un programme d'efficacité énergétique	78
2.10. Les guides pour l'évaluation	78
2.11. Le coût de l'évaluation	80
3. Évaluation des politiques d'efficacité énergétique	81
3.1. L'intensité énergétique : un indicateur simple mais insuffisant	81

2.5. L'emploi de l'intensité énergétique dans les politiques publiques	87
2.6. Évaluation : un juste compromis entre simplisme et complexité	88

Chapitre 3

Les Gisements d'économies d'énergie

(Dominique Osso et Paul Baudry)	93
1. Pourquoi des études sur les gisements ?	93
1.1. Les différents types de gisements	94
1.2. Les gisements dynamiques	95
1.3. La pratique des études de gisements	101
2. Méthodes d'évaluation des gisements	104
2.1. Méthode descendante (<i>top-down</i>)	104
2.2. Méthode ascendante (<i>bottom-up</i>)	105
3. Modes de présentation des gisements	111
3.1. Le choix de l'unité	111
3.2. Utilisation de modèles énergétiques	117
4. Les potentiels d'économies d'énergie : de la théorie à la pratique	120
4.1. Les résultats des études de gisements et leur fragilité	121
4.2. Évaluation des niveaux d'exploitation des gisements identifiés	123
4.3. Gisement de nature comportementale	126

Chapitre 4

Les politiques d'efficacité énergétique (Paul Baudry)

1. Une politique de nature complexe et diffuse	131
1.1. La politique d'efficacité énergétique dans la politique énergétique globale	132
1.2. Objectifs de la politique	136
1.3. Les principes de la politique d'efficacité énergétique	138
2. Les différentes catégories d'instruments	140
2.1. Information auprès des consommateurs	140
2.2. Incitations ou contraintes financières auprès des consommateurs	141
2.3. La contractualisation ou l'obligation auprès de grands acteurs économiques ou institutionnels	145
2.4. Réglementations : minima de performance énergétique	149
2.5. Des instruments différenciés suivant les caractéristiques sectorielles	151
2.6. Des mesures transverses et complémentaires au service de la politique	152
3. La politique d'efficacité énergétique de l'Union européenne	153
3.1. Les orientations de la politique	153
3.2. Directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique	155

3.3.	Directive sur la performance énergétique des bâtiments	158
3.4.	Directives « labelling » et « eco-design » relatives à la performance énergétique des équipements consommateurs ou liés à l'énergie	160
4.	La politique d'efficacité énergétique en France	161
4.1.	Objectifs et législation	161
4.2.	Les certificats d'économies d'énergie en France	163
4.3.	L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments	166
5.	Particularités internationales	180
5.1.	La planification intégrée des ressources : les enseignements du modèle californien	180
5.2.	Grande-Bretagne : précurseur du mécanisme d'obligations d'économies d'énergie en Europe	184
5.3.	Allemagne : la réglementation thermique EnEV du bâtiment et les incitations financières pour la rénovation de la banque publique KfW	188

Chapitre 5

L'efficacité énergétique dans les logements

(Paul Baudry, Marie-Hélène Laurent et Guillaume Binet)	191	
1.	Les consommations d'énergie dans les logements	192
1.1.	Les déterminants des consommations	192
1.2.	La répartition des consommations	193
1.3.	Hétérogénéité des consommations du parc de logements français	196
1.4.	Dynamique d'évolution des consommations	197
1.5.	Comparaisons européennes et internationales	206
2.	Les gisements d'efficacité énergétique des logements	209
2.1.	Un taux de renouvellement trop faible pour améliorer la performance par le neuf	209
2.2.	Des gisements concentrés sur le chauffage des logements existants	210
2.3.	Répartition des gisements par usage	210
2.4.	Synthèse sur les gisements	212
2.5.	L'approche de l'efficacité énergétique dans les logements	212
2.6.	Rénovation globale ou élément par élément ?	215
3.	Le marché de la rénovation énergétique des logements	217
3.1.	L'efficacité énergétique n'est pas le moteur principal du marché de la rénovation des logements	217
3.2.	Une amélioration partielle de la performance énergétique lors des rénovations	220
3.3.	Les freins et la difficile mutation du marché de la rénovation en marché de l'efficacité énergétique	221
4.	Les économies d'énergie de nature comportementale : la sobriété énergétique	223

4.1.	Les réalités de l'habitat individuel et les plus rentables
4.2.	Les gisements d'efficacité énergétique
4.3.	Les gisements d'efficacité énergétique
4.4.	Accessibilité des gisements
5.	Les technologies de l'habitat
5.1.	L'isolation thermique
5.2.	La ventilation
5.3.	La gestion de l'énergie
5.4.	Les chaudières à condensation
5.5.	Les pompes à chaleur
5.6.	Les technologies solaires
5.7.	Le solaire thermique
5.8.	Modules photovoltaïques

Le secteur tertiaire

1.	L'énergie dans le tertiaire
1.1.	Le tertiaire : dimension
1.2.	La demande d'énergie et de son évaluation
1.3.	Conclusions
2.	Consommation d'énergie dans le tertiaire
2.1.	Reconstitution du bilan
2.2.	Évolution de la consommation
3.	Approche de l'efficacité énergétique dans le tertiaire
3.1.	La rénovation des bâtiments en tertiaire commercial
3.2.	Gisements d'efficacité énergétique
3.3.	La réglementation en matière d'efficacité énergétique ?
4.	Efficacité énergétique en tertiaire
4.1.	Le bâti du secteur tertiaire
4.2.	Les principaux usages

L'efficacité énergétique dans l'industrie

(Paul Baudry, Mathieu Bordignon, Chantal Hauser, Jean-Louis Pommerehne)

1.	L'énergie dans l'industrie
1.1.	De l'énergie pour produire
1.2.	L'énergie dans une industrie
1.3.	L'impact des coûts de l'énergie sur les entreprises industrielles

158	4.1. Les réalités de la sobriété énergétique : choisit-on les gestes les plus rentables ?	224
	4.2. Les gisements comportementaux pour le chauffage	225
160	4.3. Les gisements comportementaux pour l'électricité spécifique	225
161	4.4. Accessibilité des gisements comportementaux	226
161	5. Les technologies de l'efficacité énergétique dans les logements	227
163	5.1. L'isolation thermique du bâti	237
166	5.2. La ventilation	239
180	5.3. La gestion de l'énergie	241
180	5.4. Les chaudières à condensation	245
184	5.5. Les pompes à chaleur (PAC)	257
	5.6. Les technologies de la biomasse	263
	5.7. Le solaire thermique pour la production d'ECS et le chauffage	263
	5.8. Modules photovoltaïques pour la production d'électricité	265

Chapitre 6

	Le secteur tertiaire (Fabrice Decellas)	271
	1. L'énergie dans le tertiaire	271
	1.1. Le tertiaire : dimension socio-économique	271
191	1.2. La demande d'énergie du tertiaire et les difficultés de son évaluation	274
192	1.3. Conclusions	275
192	2. Consommation d'énergie du tertiaire en France, état des lieux	275
193	2.1. Reconstitution du bilan énergétique du tertiaire	275
196	2.2. Évolution de la consommation d'énergie en tertiaire	282
197	3. Approche de l'efficacité énergétique dans le tertiaire	287
206	3.1. La rénovation des bâtiments, levier de l'efficacité énergétique, en tertiaire comme en résidentiel ?	287
209	3.2. Gisements d'économie d'énergie	291
209	3.3. La réglementation et le marché au secours de l'efficacité énergétique ?	294
210	4. Efficacité énergétique en tertiaire : aspects technologiques	301
210	4.1. Le bâti du secteur tertiaire	302
212	4.2. Les principaux usages de l'énergie et les technologies associées	304

Chapitre 7

L'efficacité énergétique dans l'industrie

	(Paul Baudry, Mathieu Bordigoni, Alain Hita, Christian Pham Van Cang, Chantal Hauser, Jean-Louis Peureux et Bénédicte Ballot-Miguet)	319
	1. L'énergie dans l'industrie	320
220	1.1. De l'énergie pour produire	320
221	1.2. L'énergie dans une industrie mondialisée	321
223	1.3. L'impact des coûts de l'énergie sur la compétitivité des entreprises industrielles	322

1.4. La consommation d'énergie de l'industrie française	325
1.5. Comment l'énergie est-elle consommée dans l'industrie ?	336
2. L'approche de l'efficacité énergétique dans l'industrie	338
2.1. Les gisements d'économies d'énergie	338
2.2. L'audit énergétique : une étape incontournable	342
2.3. La méthode IPMVP dans les contrats de performance énergétique	345
2.4. Systèmes de management de l'énergie	347
2.5. L'approche de l'efficacité énergétique sur un site industriel	348
3. Les technologies de l'efficacité énergétique	349
3.1. Efficacité énergétique primaire : la cogénération	349
3.2. Les technologies des utilités industrielles	350
3.3. Conditionnement d'air dans les locaux industriels	361
3.4. Les technologies de chauffage dans les procédés industriels	364
3.5. Les technologies de récupération et de valorisation de la chaleur	368
4. Les méthodes d'analyse et d'optimisation énergétique d'un site industriel	374
4.1. L'analyse énergétique et exergetique des procédés (AEEP)	375
4.2. L'intégration énergétique et la méthode du pincement	375
4.3. Les outils pour l'analyse énergétique des procédés	376
4.4. L'optimisation de la gestion énergétique du site industriel	376
5. Conclusion	377
Conclusions et perspectives	379
Index	385

Abréviations

ADEME	Agence de l'environnement
AEE	Agence pour les économies
AFME	Agence française de maîtrise
AIE	Agence internationale de l'énergie
AIE11	Australie, Danemark, France, Irlande, Italie, Japon, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Turquie
AIE28	AIE11 + Autriche, Belgique, Espagne, Grèce, Hongrie, Irlande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, République slovaque, République de Corée, République de Chine, République de Chine (Taïwan), Royaume-Uni, Royaume de Danemark, Royaume de Suède, Royaume de Turquie, Royaume de Belgique, Royaume de France, Royaume de l'Allemagne, Royaume de l'Autriche, Royaume de l'Espagne, Royaume de l'Italie, Royaume de la Grèce, Royaume de la Hongrie, Royaume de la Pologne, Royaume de la République tchèque, Royaume de la République slovaque, Royaume de la République de Corée, Royaume de la République de Chine, Royaume de la République de Chine (Taïwan)
BaU	<i>Business as Usual</i>
CAEE	Coût actualisé des économies
CBEE	Coût brut de l'énergie évitée
CEE	Certificat d'économie d'énergie
CEMEP	Comité européen de coopération technique de puissance
CEN	Comité européen de normalisation
CEP	Contrat de performance
CESC	Chauffe-eau solaire collectif
CESI	Chauffe-eau électro-solaire
CESI	Chauffe-eau solaire individuel
CET	Chauffe-eau thermodynamique
CGA	Coût global annualisé
CGDD	Commissariat général à l'égalité

Paul Baudry est ingénieur de l'INP Grenoble, Docteur en électrochimie et titulaire d'un DEA de Géopolitique de l'Université Paris VIII. Il est chercheur sénior à EDF R&D, où il anime un projet sur les fondamentaux de l'efficacité énergétique. Il y a développé une expertise sur les méthodes d'évaluation, les politiques et les technologies de l'efficacité énergétique. Il coordonne une formation interne à EDF sur l'efficacité énergétique, incluant les dimensions transverses, sectorielles et technologiques développées dans cet ouvrage. Il enseigne également cette expertise dans différents cursus universitaires. Il s'est entouré d'une dizaine de spécialistes pour la rédaction de cet ouvrage.

Efficacité énergétique – Des principes aux réalités

Une transition énergétique se met progressivement en place aux niveaux européen et mondial afin de répondre à un défi majeur : réduire le niveau des émissions de gaz carbonique et assurer la sécurité d'approvisionnement énergétique, tout en garantissant des niveaux raisonnables de prix de l'énergie pour contribuer à la santé de l'économie. L'efficacité énergétique est l'un des piliers de cette transition.

Cet ouvrage offre au lecteur un panorama complet de l'efficacité énergétique. La nature des enjeux est précisée et replacée dans le contexte énergétique mondial. Les méthodes qui permettent d'évaluer les économies d'énergie et leurs coûts sont décrites, ainsi que les différents types de gisements qui en résultent. À partir de ces éléments, le mode d'action des politiques d'efficacité énergétique et les principaux éléments qui les constituent sont présentés. Ensuite, la mise en œuvre de l'efficacité énergétique est décrite dans les secteurs du résidentiel, du tertiaire et de l'industrie, à partir de la connaissance des modes de consommation de l'énergie dans chacun de ces secteurs. Les principales technologies pour améliorer l'efficacité énergétique sont également abordées.

Chaque chapitre constitue une synthèse bibliographique abondante et d'une riche bibliographie, faisant référence dans ce domaine d'étude.

Ce livre s'adresse aux acteurs en charge de la politique d'efficacité énergétique et aux acteurs de l'industrie durable. Il est également recommandé aux étudiants en doctorat en économie de l'énergie, développement durable et aux élèves des écoles d'ingénieurs.

