



Coordonné par :  
Gilles Guerassimoff  
Nadia Maïzi

# Eau et énergie : destins croisés



COLLECTION DÉVELOPPEMENT DURABLE

Presses des Mines

## Table des matières

<b>Avant Propos</b>	<b>2</b>
<b>Avertissements</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>PARTIE I : les forces en présence</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 1 : Deux ressources sous tension</b>	<b>11</b>
<b>Introduction</b>	<b>12</b>
<b>Le cycle de l'eau</b>	<b>12</b>
Perturbations du cycle de l'eau	15
Prélèvements anthropiques	15
Influence du changement climatique	16
L'eau, indispensable à toute forme de vie	16
Répartition : des contrastes importants	18
<b>Usages de l'eau</b>	<b>20</b>
Usages domestiques	21
Usages industriels	22
Usages agricoles [INR10]	24
Synthèse : l'offre et la demande en eau	25
<b>L'énergie dans le monde</b>	<b>26</b>
De l'énergie primaire vers l'énergie finale.	29
Les différents types de consommation	29
Cas de l'électricité	30
Une consommation respectueuse des ressources ?	32
<b>La tarification</b>	<b>34</b>
Les enjeux d'une tarification adéquate	34
Tarification de l'énergie	35
Les énergies fossiles	35
L'électricité	35
Principes communs	35
Faire du développement du réseau une priorité	35
Garantir une disponibilité économique au plus grand nombre	36
De la gratuité	36
Du recouvrement complet des coûts par l'utilisateur	37
D'un prix socialement acceptable	37
Remarques terminales	40
<b>Conclusion</b>	<b>41</b>
<b>RÉFÉRENCES bibliographiques</b>	<b>41</b>

<b>PARTIE II : vision technique croisée</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre 2 : Usages excessifs de l'eau pour l'énergie</b>	<b>45</b>
<b>Introduction</b>	<b>46</b>
<b>L'eau dans le secteur énergétique : une ressource indispensable</b>	<b>47</b>
Prélèvement et consommation	48
Aperçu de différents usages	48
Dégradation des eaux	50
<b>Usages de l'eau dans le secteur énergétique</b>	<b>50</b>
L'eau : aide à l'extraction des ressources énergétiques	50
L'eau comme fluide d'aide à l'extraction du pétrole	50
- La consommation d'eau suivant les zones de production du brut	50
- La consommation en eau dans les champs pétroliers au fil de l'extraction	51
L'eau comme fluide d'aide à l'extraction du gaz naturel	52
L'eau comme fluide d'aide à l'extraction du charbon et de l'uranium	53
- L'eau : agent d'aide à l'extraction du charbon	53
- L'eau : agent d'aide à l'extraction de l'uranium	54
L'eau : un fluide de lavage des ressources énergétiques	54
Le lavage du charbon	54
Le procédé Coal To Liquid et la consommation d'eau	55
L'eau : un fluide d'irrigation des cultures énergétiques	56
Les biocarburants de première génération	56
L'eau pour l'irrigation des plantes	57
L'eau comme fluide caloporteur	59
Boucle fermée dans une centrale	59
Qualité nécessaire	59
Le cas particulier de la géothermie	60
L'eau comme source froide	60
Principe du refroidissement	61
Circuit ouvert	62
Circuit fermé	63
Synthèse	65
La capture du carbone : une consommation d'eau doublée	66
L'eau comme moyen de stockage d'énergie	67
Débit réservé ou débit minimal	68
Évaporation	68
<b>Bilan Global</b>	<b>69</b>
<b>RÉFÉRENCES bibliographiques</b>	<b>71</b>
<b>Chapitre 3 : L'énergie : vecteur de pollution et de dépollution des eaux</b>	<b>73</b>
<b>Introduction</b>	<b>74</b>
<b>Un bilan des eaux complexe et préoccupant</b>	<b>74</b>
Un état des lieux alarmant	74
Des alarmes dans le monde entier	75
Nature de la pollution	76
Des données difficiles à collecter	76
Les eaux touchées	78

▪ Pollution des eaux douces	78
▪ Pollutions marines	80
Impacts et conséquences	80
Une menace considérable pour la santé	80
Prévention et solutions	81
Détérioration des écosystèmes	81
L'activité humaine, principale cause de pollution	82
Les causes et les sources des pollutions	82
Des répercussions différentes selon le développement du pays	83
▪ Les pays en développement	83
▪ Les pays en transition économique : les nouveaux géants de la pollution	84
Des pollutions quasi irréversibles	85
<b>Une consommation énergétique considérable au service de l'assainissement des eaux</b>	<b>85</b>
Les critères du traitement durable	86
Traitement centralisé des eaux usées	87
Les eaux résiduaires urbaines (ERU)	87
Les eaux résiduaires industrielles (ERI)	88
▪ La classification des ERI	88
▪ Organisation du traitement in-situ	89
Le traitement centralisé des eaux usées	90
▪ Les stations d'assainissement publiques en France	90
Traitement centralisé de l'eau potable	94
Efficacité énergétique dans les usines de traitement des eaux	95
Répartition de la consommation d'énergie dans une station d'assainissement	95
Maîtrise de la demande d'énergie	97
▪ Déplacement de la charge	97
▪ Procédé de boues activées	97
▪ Optimisation des pompes et moteurs	98
Conclusion	99
<b>Intégration de la dépollution des eaux au sein du secteur énergétique</b>	<b>100</b>
Une indéniable part de responsabilité	101
Une estimation difficile	101
La production d'énergie, source de pollution	101
▪ Les combustibles fossiles	101
▪ Les nuisances thermiques des centrales	102
▪ La pollution radioactive : particularité de l'énergie nucléaire	102
▪ Les biocarburants	103
Des problèmes de gouvernance	103
Les instruments politiques, économiques et technologiques	104
Les outils publics	104
▪ Les normes	104
▪ Les taxes	104
Les solutions privées d'internalisation des externalités	105
Les outils technologiques	105
<b>Le choix de la stratégie</b>	<b>106</b>
Le besoin d'une gouvernance adaptée	106
Le caractère transfrontalier appelle à la coopération	106

▪ Les Agences de l'Eau en France _____	107
▪ Coopération industrielle à Kalundborg, au Danemark, pour réduire la consommation et la détérioration de l'eau _____	107
À chaque cas de pollution et à chaque pays sa stratégie _____	108
▪ Dans les pays en développement et en transition _____	109
<b>De la théorie à la pratique, étude de cas _____</b>	<b>109</b>
Dépollution des rivières de Malaisie _____	110
Dégazages illégaux dans les mers d'Europe _____	110
<b>Conclusion _____</b>	<b>112</b>
<b>Bibliographie _____</b>	<b>112</b>

### ***PARTIE III : les écueils communs \_\_\_\_\_ 117***

#### ***Chapitre 4 : Des ressources vulnérables : les conséquences des changements climatiques \_\_\_\_\_ 119***

##### **Introduction \_\_\_\_\_ 120**

##### **L'eau dans les changements climatiques : vecteur d'interactions complexes \_\_\_\_\_ 121**

Place de l'eau dans les mécanismes climatiques _____	121
L'eau est le principal gaz à effet de serre _____	122
Des rétroactions positives et négatives sur les changements climatiques _____	122
L'eau dans les modèles climatiques : une source d'incertitudes _____	124
Les organismes travaillant sur la question des changements climatiques _____	124
Variabilité régionale des changements climatiques _____	125
Précision et complexité des modèles _____	125
Limites des modèles climatiques : nuages et vapeur d'eau _____	126
Autres limites des modèles climatiques _____	127
Ces limites ne rendent pas forcément les modèles climatiques caduques _____	127
Quand les changements climatiques impactent directement l'eau _____	127
Les sources d'incertitudes _____	128
Effets observés des changements climatiques sur le cycle hydrologique _____	129

##### **Conséquences des changements climatiques sur la ressource eau douce \_\_\_\_\_ 131**

Une affectation en volume _____	131
Précipitations et consommation d'eau _____	131
Précipitations et ressources en eau douce _____	131
Le ruissellement _____	132
Les ressources stockées dans les nappes phréatiques _____	133
Le problème de la qualité de l'eau _____	134
Les changements climatiques peuvent détériorer la qualité des eaux _____	135
Phénomènes climatiques ayant actuellement un impact sur la qualité de l'eau _____	135
La disponibilité en eau : une notion complexe _____	136
Changements climatiques et stress hydrique au niveau mondial _____	136
Incertitudes et facteurs non climatiques _____	136

##### **Faire face à la conjonction des impacts des changements climatiques sur l'eau et le secteur énergétique \_\_\_\_\_ 138**

Température, eau et énergie _____	138
-----------------------------------	-----

L'eau  
138  
139

Les disputes autour des plateaux continentaux et la course aux ressources	174
<b>Peut-on éviter les guerres de l'eau ?</b>	<b>176</b>
De nombreux accords de coopération	176
Des traités largement défaillants	177
L'absence de cadre international	178
Quel cadre et quel statut ?	179
Quelques pistes de réflexion...	181
<b>Références</b>	<b>183</b>
<b><i>PARTIE IV : exploiter les synergies : les solutions d'avenir</i></b>	<b>185</b>
<b><i>Chapitre 6 : Les énergies fluviales et marines</i></b>	<b>187</b>
<b>Introduction</b>	<b>188</b>
<b>Les énergies marines et fluviales</b>	<b>189</b>
Historique	189
Les énergies fluviales	191
Qu'est-ce que l'énergie hydraulique ?	191
Le potentiel hydraulique productible	191
Ce qui est réellement exploité	192
Les techniques de production	193
Les contraintes techniques et environnementales de construction	195
Les impacts environnementaux	197
Synthèse sur les énergies fluviales	200
Les énergies marines	201
Qu'est-ce que l'énergie des mers et des océans ?	201
Le potentiel productible	203
Ce qui est réellement exploité et l'évolution attendue	204
Les techniques de production	206
Les contraintes techniques et environnementales de construction	211
Les impacts environnementaux	214
Synthèse sur les énergies marines	217
<b>Utiliser la ressource dans les règles</b>	<b>222</b>
Une disponibilité mesurée	222
Les règles internationales	222
Union Européenne	225
Un fleuve français	225
- Projet hydroélectrique	226
Les outils utiles : précaution, prévention, évolution	227
Intégration dans le mix énergétique et impact sur la gestion du réseau	228
Caractéristiques des unités de production marines et fluviales	228
Impacts pour le gestionnaire de réseau	229
Mix énergétique	231
- L'énergie hydraulique dans le mix énergétique	231
- Perspectives : un scénario EnRM-intensif	232
<b>Conclusion</b>	<b>233</b>
<b>RÉFÉRENCES bibliographiques</b>	<b>234</b>

<b>Chapitre 7 : Avenir des tensions entre l'eau et l'énergie : le rôle majeur du dessalement</b>	<b>239</b>
<b>Introduction</b>	<b>240</b>
<b>Explosion des besoins en eau douce : impact sur le cycle eau – énergie</b>	<b>241</b>
Les besoins en eau et en énergie sont pilotés par les mêmes facteurs	241
Les facteurs démographiques	241
- La démographie	241
- L'urbanisation	241
Les facteurs socio-économiques	242
Les facteurs technologiques	243
<b>Saturation de l'accès à l'eau douce. [MAR05] ; [IPC07]</b>	<b>243</b>
L'évolution du cycle eau-énergie, le rôle clé de l'eau salée	246
Les tensions dans l'utilisation de l'eau pour l'énergie	247
Les tensions dans l'utilisation de l'énergie pour l'eau	247
La place du dessalement	248
<b>Le dessalement de l'eau</b>	<b>249</b>
Les technologies de dessalement	250
La méthode MSF	251
La méthode MED	252
La compression de vapeur	252
L'osmose inverse	253
L'électrodialyse	254
Comparaison des différentes méthodes de dessalement	254
Besoins énergétiques	254
Coût de dessalement	255
Situation actuelle et perspectives de développement	258
Problématiques à venir	258
<b>Des innovations pour réduire la facture énergétique et climatique du dessalement</b>	<b>260</b>
Le couplage dessalement énergies renouvelables	260
Procédés thermiques	260
Procédés membranaires	262
Cogénération d'eau et d'électricité	262
Des méthodes de production d'électricité innovantes	264
Les centrales à pression osmotique	264
Toujours plus loin dans l'osmose	265
<b>CONCLUSION</b>	<b>267</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>268</b>
<b>PARTIE V : penser le futur</b>	<b>271</b>
<b>Chapitre 8 : Des trajectoires indissociables</b>	<b>273</b>
Introduction	274
<b>REMARCHE PROSPECTIVE</b>	<b>275</b>
Définition	275
Méthode	275



INV N° ... 16.005.....  
Facture N° 1.412.1002.7  
Date 08.12.2014.....  
Origine Dr. Echihel

Eau et énergie : destins croisés

Modélisation	276
Spécificités des scénarii	277
Scénario de référence	277
Scénarii volontaristes	278
Besoins en eau	279
Modèle eau-électricité	279
Cas du CCS	280
Prospective mondiale	282
Prélevements d'eau	283
Consommations d'eau	284
Impact du ccs	284
<b>LE CAS DES ETATS-UNIS</b>	<b>285</b>
Production d'électricité à l'horizon 2030	286
Empreinte en eau de la production américaine	286
Production et autres secteurs	287
Production régionale	288
<b>CONCLUSION</b>	<b>291</b>
Références bibliographiques	291
<b>ANNEXES</b>	<b>293</b>
<b>Annexe 1 : Indicateurs de ressources</b>	<b>295</b>
Méthodologie	296
Analyse	296
Synthèse	296
Les Études d'Impacts Environnementaux (EIE) : l'approche par les BACI (Before, After, Control Impact)	297
Outils de développement : l'Observation de la Terre et les Systèmes d'Information Géographique (SIG)	297
Exemples d'indicateurs	298
Grille d'analyse d'activités établies en mer ou sur fleuve	300
Liste non exhaustive d'indicateurs de ressource en eau	302
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>303</b>
<b>Annexe 2 : Optimisation et recherche opérationnelle</b>	<b>305</b>
Introduction	306
Exemples de problèmes d'optimisation	308
L'eau, une externalité ?	308
Partage des ressources (voir chapitre 5)	310
Optimisation de systèmes de production (voir chapitres 3 et 6)	311
Exemple des systèmes électriques (chapitre 6)	311
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>315</b>