

Table des matières

Liste des encadrés

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 15

1 Les eaux souterraines dans le cycle mondial de l'eau 19

1. L'hydrosphère souterraine 19
2. En quelles quantités l'eau souterraine participe-t-elle au cycle de l'eau ? 22
3. Eaux souterraines et eaux de surface : quelles relations ? 33
4. L'aridité bouleverse le cycle de l'eau et privilégie les eaux souterraines 38
5. Les eaux souterraines et les écosystèmes aquatiques 41

2 Géographie mondiale des eaux souterraines 43

1. Une double lecture du sous-sol : compositions et structures 44
2. Panorama hydrogéologique mondial 45
3. Les grands systèmes aquifères de la Terre 48
4. Les aquifères karstiques 57
5. Les aquifères alluviaux 60
6. Les aquifères de socle 61
7. Les aquifères volcaniques 64

3 Ressources offertes par les eaux souterraines 67

1. Nature et ressources 67
2. Quelles stratégies d'exploitation ? 68
3. Géographie des ressources en eau souterraine 71

4. L'exception des ressources non renouvelables en eau souterraine 75
5. Accessibilité et mobilisation des eaux souterraines 78
6. Un art vital 84
7. Fragilités et vulnérabilités des ressources 89
8. Peut-on augmenter les ressources en eau souterraine ? 92

4 Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde 95

1. L'eau souterraine : une source spécifique et privilégiée d'approvisionnement en eau 95
2. Quelles quantités d'eau souterraine exploite-t-on et où en prélève-t-on le plus dans le monde ? 98
3. Évolution des prélèvements d'eau souterraine au XX^e siècle : Tendances contemporaines et perspectives 107

4 (suite)

4. Quelle est la contribution des « mines d'eau »? 110
5. Quelles utilisations? 114
6. Contributions des eaux souterraines aux approvisionnements en eau de l'humanité 125
7. Implications socio-économiques 134

5 Gérer durablement ce patrimoine 137

1. Effets normaux et impacts négatifs des exploitations d'eau souterraine 137
 2. État présent des pressions sur les ressources 143
 3. Menaces sur les ressources 150
 4. Gestion durable des eaux souterraines : valoriser et conserver ces ressources 159
- En guise de conclusion 168

Conclusion générale 171

- En savoir plus 171
- Mieux comprendre 171
- Prendre conscience de la diversité des situations et des problèmes 172
- Mieux gérer les eaux souterraines à l'avenir 173

Bibliographie 175

- Sélection de monographies nationales sur les eaux souterraines 181
- Sélection de monographies sur les eaux souterraines par grands systèmes aquifères 183
- Principales cartes hydrogéologiques continentales ou mondiales 184
- Articles et opuscules de vulgarisation 185

Principaux sigles et acronymes 186

Liste des encadrés

Introduction

<i>Encadré 1</i>	D'où viennent les eaux souterraines?	15
------------------	--	----

Chapitre 1

<i>Encadré 1</i>	Comment se calculent les flux d'eau souterraine?	24
------------------	--	----

<i>Encadré 2</i>	Le sang de la Terre	33
------------------	---------------------------	----

<i>Encadré 3</i>	Estimation des parties communes entre eaux souterraines et eaux de surface pour calculer les ressources en eau naturelles sans « double compte »	36
------------------	--	----

<i>Encadré 4</i>	Les aquifères forment-ils des écosystèmes aquatiques souterrains?	41
------------------	---	----

Chapitre 2

<i>Encadré 5</i>	Les cartes hydrogéologiques	44
------------------	-----------------------------------	----

Chapitre 3

<i>Encadré 6</i>	Qu'est-ce qu'un système aquifère?	45
------------------	---	----

<i>Encadré 7</i>	Les eaux de surface et les eaux souterraines sont-elles des ressources indépendantes?	69
------------------	--	----

<i>Encadré 8</i>	Qualités naturelles des eaux souterraines	70
------------------	---	----

<i>Encadré 9</i>	Les eaux jaillissantes	88
------------------	------------------------------	----

Chapitre 4

<i>Encadré 10</i>	Des sources d'approvisionnement avantageuses et contraignantes	97
-------------------	--	----

<i>Encadré 11</i>	Les prélèvements d'eau souterraine sont-ils suffisamment connus?	98
-------------------	--	----

Chapitre 5

<i>Encadré 12</i>	Exemples d'amples baisses de niveau de nappes souterraines sous l'effet d'exploitation intensive croissante	139
-------------------	---	-----

<i>Encadré 13</i>	Affaissements du sol dus à des exploitations intensives d'eau souterraine	142
-------------------	---	-----

<i>Encadré 14</i>	Qu'est-ce que la surexploitation des eaux souterraines?	148
-------------------	---	-----

<i>Encadré 15</i>	Les surcharges de nappe souterraine	153
-------------------	---	-----

<i>Encadré 16</i>	La pollution des eaux souterraines	156
-------------------	--	-----

<i>Encadré 17</i>	Gérer les eaux souterraines	160
-------------------	-----------------------------------	-----

<i>Encadré 18</i>	<i>Elimination of groundwater overdraft in water scarce basins</i>	161
-------------------	--	-----

<i>Encadré 19</i>	Les aquifères transfrontaliers	162
-------------------	--------------------------------------	-----

<i>Encadré 20</i>	Les modèles de gestion des eaux souterraines	163
-------------------	--	-----

<i>Encadré 21</i>	Droit et législation des eaux souterraines ...	165
-------------------	--	-----

<i>Encadré 22</i>	Le cadre réglementaire européen pour la protection des eaux souterraines	169
-------------------	---	-----

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1	Stock et flux des eaux souterraines continentales. Quelques estimations globales	20
Tableau 1.2	Exemples de réserves totales d'eau souterraine calculées par pays	22
Tableau 1.3	Répartition des flux d'écoulement souterrain continentaux	28
Tableau 1.4	Différenciation de l'écoulement souterrain moyen suivant les zones climatiques	28
Tableau 1.5	Flux moyens d'eau souterraine estimés par pays	29
Tableau 1.6	Exemples d'estimations d'écoulement souterrain	31
Tableau 1.7	Exemples d'estimations de partie commune (<i>overlap</i>) entre écoulement souterrain et écoulement de surface en différents pays	37

Chapitre 2

Tableau 2.1	Tres grands systèmes aquifères de la Terre	52
--------------------	--	----

Tableau 2.2	Grandes sources d'aquifères karstiques de la Terre	59
--------------------	--	----

Tableau 2.3	Ressources en eau souterraine d'îles volcaniques	66
--------------------	--	----

Chapitre 3

Tableau 3.1	Ressources en eau souterraine des pays méditerranéens	74
--------------------	---	----

Tableau 3.2	Ressources renouvelables et exploitables en eau souterraine évaluées par pays	76
--------------------	---	----

Tableau 3.3	Sélection des principaux systèmes aquifères à ressources en eau non renouvelables dans le monde	80
--------------------	---	----

Tableau 3.4	Ressources en eau souterraine non renouvelables estimées par pays	82
--------------------	---	----

Tableau 3.5	Classification des modes et types d'ouvrage d'exploitation d'eau souterraine	85
--------------------	--	----

Tableau 3.6	Principaux réseaux de galeries captantes dans le monde	86
--------------------	--	----

Chapitre 4

Tableau 4.1	Prélèvements et utilisations d'eau souterraine dans une sélection de pays fortement exploitants dans le monde	100
--------------------	---	-----

Tableau 4.2	Exploitations minières des ressources en eau souterraine non renouvelables dans le monde. Productions contemporaines	111
--------------------	---	-----

Tableau 4.3	Irrigations par eau souterraine	122
--------------------	---------------------------------------	-----

Chapitre 5

Tableau 5.1	Indices actuels d'exploitation de quelques systèmes aquifères à ressources renouvelables intensivement exploités dans le monde	144
--------------------	--	-----

Tableau 5.2	Surexploitations de ressources renouvelables en eau souterraine estimées dans différents pays	149
--------------------	---	-----

Tableau 5.3	Principaux déstockages d'eau souterraine (<i>groundwater depletion</i>) résultant d'exploitation intensive au XX ^e siècle	151
--------------------	--	-----

Liste des figures

Introduction

Figure 1. Circulation des eaux souterraines selon le Père Athanasius Kircher.....	16
--	----

Chapitre 1

Figure 1.1 Ordres de grandeur des stocks d'eau souterraine continentaux.....	21
Figure 1.2. Schéma du cycle de l'eau et du bilan d'eau d'un territoire.....	23
Figure 1.3 Répartition mondiale de la recharge moyenne annuelle des eaux souterraines (1961 - 1990).....	26
Figure 1.4 Hauteurs moyennes annuelles d'écoulement souterrain en mm/an.....	27
Figure 1.5 Pays classés suivant l'ordre de grandeur de leur flux moyen interne d'eau souterraine par unité de surface.....	30
Figure 1.6 Parts des flux d'eau souterraine compris dans l'écoulement total interne estimées par pays.....	32
Figure 1.7 Parts des flux totaux d'eau souterraine collectées par les cours d'eau estimées par pays.....	35

Figure 1.8 Flux globaux superficiels et souterrains des eaux continentales.....	37
Figure 1.9 Répartition mondiale des régions arides.....	39
Figure 1.10 Grands systèmes aquifères endoréiques.....	40

Chapitre 2

Figure 2.1 Carte hydrogéologique du monde – Projet WHYMAP.....	47
Figure 2.2 Les très grands systèmes aquifères de la Terre.....	51
Figure 2.3 Diagramme schématique d'un aquifère karstique en structure tabulaire.....	58
Figure 2.4 Aquifère de socle composé d'altérites et de zone fissurée.....	62
Figure 2.5 Répartition des aquifères de socle dans le monde.....	63
Figure 2.6 Principaux aquifères volcaniques de la Terre.....	65

Chapitre 3

Figure 3.1 Répartition des types de ressource en eau souterraine prédominants en zone aride.....	73
Figure 3.2 Ressources non renouvelables en eau souterraine. Principaux gisements de la Terre.....	79
Figure 3.3 Exploitations d'eau souterraine sans coût énergétique : principaux réseaux de galeries captantes (<i>qanats</i> , etc.) et bassins artésiens reconnus (à eau jaillissante initialement).....	87
Figure 3.4 Carte de vulnérabilité intrinsèque aux pollutions des eaux souterraines du Bassin de Seine-Normandie en France.....	91

Chapitre 4

Figure 4.1 État et dates de valeur des données sur les prélèvements d'eau souterraine par pays, issues de la compilation des statistiques disponibles.....	99
Figure 4.2 Prélèvements actuels totaux d'eau souterraine par pays.....	103
Figure 4.3 Essai d'anamorphose cartographique représentant chaque pays en fonction de ses prélèvements d'eau souterraine.....	104

Figure 4.4	Prélèvements totaux des dix plus gros préleveurs mondiaux actuels.....	105
Figure 4.5	Pays classés suivant les prélèvements d'eau souterraine actuels par habitant.....	106
Figure 4.6	Évolution des prélèvements totaux d'eau souterraine dans les pays les plus exploitants pendant la seconde moitié du XX ^e siècle	107
Figure 4.7	Évolution des prélèvements totaux d'eau souterraine douce aux États-Unis de 1950 à 2000	108
Figure 4.8	Tendances approximatives des politiques relatives aux eaux souterraines dans les pays arides et semi-arides.....	109
Figure 4.9	Exploitations minières de ressources non renouvelables en eau souterraine dans le monde	112
Figure 4.10	Part des demandes totales actuelles en eau (1995-2000) couverte par l'exploitation minière de ressources non renouvelables en eau souterraine.....	113
Figure 4.11	Prélèvements actuels d'eau souterraine répartis par secteur d'utilisation dans chaque partie du monde	115

Figure 4.12	Secteurs d'utilisation d'eau souterraine actuellement dominants dans chaque pays.....	116
Figure 4.13	Prélèvements actuels d'eau souterraine pour l'irrigation dans chaque pays.....	118
Figure 4.14	Prélèvements actuels d'eau souterraine pour l'alimentation en eau potable des collectivités dans chaque pays.....	119
Figure 4.15	Prélèvements d'eau souterraine pour les utilisations par les industries non desservies dans chaque pays	120
Figure 4.16	Prélèvements d'eau souterraine selon les utilisations (proportions).....	121
Figure 4.17	Proportions des prélèvements d'eau souterraine dans les prélèvements totaux d'eau douce actuels de chaque pays	126
Figure 4.18	Part des prélèvements d'eau souterraine sur les prélèvements d'eau totaux pour l'alimentation en eau potable des collectivités dans chaque pays	127
Figure 4.19	Grandes villes du monde alimentées exclusivement ou en majeure partie en eau souterraine	129

Figure 4.20	Part des prélèvements d'eau souterraine sur la totalité des prélèvements d'eau pour l'irrigation de chaque pays	130
Figure 4.21	Aires irriguées par eau souterraine dans chaque pays	131
Figure 4.22	Part des prélèvements d'eau souterraine sur la totalité des prélèvements d'eau à fins industrielles dans chaque pays	133

Chapitre 5

Figure 5.1	Exemples de baisses de niveau de nappes souterraines intensivement exploitées : effets patents de surexploitation	140
Figure 5.2	Diversité des pressions sur les ressources en eau souterraine renouvelables dans le monde	146
Figure 5.3	Principaux déstockages d'eau souterraine opérés au XX ^e siècle résultant de surexploitation ou d'exploitation minière de ressources non renouvelables	152
Figure 5.4	Aires de pollution des eaux souterraines par des concentrations en nitrate supérieure à 50 mg/l dans l'Union Européenne	158