

Éric Gilli  
Christian Mangan  
Jacques Mudry



# Hydrogéologie

Objets, méthodes,  
applications

**3<sup>e</sup> édition**

Licence 3  
Master  
CAPES  
Agrégation

**DUNOD**

# Table des matières

AVANT-PROPOS

XI

LISTE DES ABRÉVIATIONS

XII

## PARTIE I

### NOTIONS D'HYDROGÉOLOGIE

CHAPITRE 1 • DÉFINITION ET HISTOIRE DE L'HYDROGÉOLOGIE

3

1.1 Étymologie et définition

3

1.2 Histoire

4

1.3 Les axes de recherche actuels

7

CHAPITRE 2 • PLACE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES SCIENCES DE LA TERRE

9

2.1 Eau souterraine et géodynamique externe

9

2.2 Eau et pétrole

10

2.3 Eau et gîtes minéraux

10

2.4 Transferts de fluide profonds

11

2.5 Rôle de l'eau dans le magmatisme

11

CHAPITRE 3 • DÉBOUCHÉS DE L'HYDROGÉOLOGIE

12

3.1 L'eau source de vie

12

3.2 L'eau source de gêne

13

3.3 Protection et gestion des ressources en eau

13

3.4 Place et débouchés de l'hydrogéologie

14

<b>CHAPITRE 4 • LES CYCLES DE L'EAU</b>	15
4.1 Le cycle interne	15
4.1.1 Origine de l'eau sur Terre	15
4.1.2 Cycle interne de l'eau	17
4.2 Répartition de l'eau	18
4.2.1 Le cycle de l'eau	20
4.2.2 Les systèmes hydrologiques et les bilans	22
4.2.3 L'évapotranspiration	24
<b>CHAPITRE 5 • L'INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOUS-SOL ET LA NOTION D'AQUIFÈRE</b>	29
5.1 Mécanisme de l'infiltration	29
5.2 Rôle de la structure et de la lithologie	31
5.3 Différents types d'aquifères (poreux, fissurés, karstiques)	33
5.4 Importance relative selon les ensembles structuraux	35
5.4.1 Massifs anciens magmatiques et métamorphiques	35
5.4.2 Bassins sédimentaires	35
5.4.3 Chaînes alpines et méditerranéennes	35
5.4.4 Piémonts des chaînes alpines	36
5.4.5 Pays volcaniques	36
5.4.6 Plateaux calcaires	36
<b>CHAPITRE 6 • LES AQUIFÈRES POREUX ET LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOUS-SOL</b>	38
6.1 Caractéristiques hydrodynamiques	39
6.2 La loi de Darcy, ses domaines d'application	39
6.3 Paramètres hydrodynamiques de la nappe	40
6.4 La circulation de l'eau dans le sous-sol : la piézométrie	41
<b>CHAPITRE 7 • LES AQUIFÈRES FISSURÉS</b>	43
7.1 Répartition mondiale et importance économique	43
7.2 L'hydrogéologie africaine	45
<b>CHAPITRE 8 • LES AQUIFÈRES KARSTIQUES</b>	48
8.1 La karstification	48
8.1.1 Phénomène	48
8.1.2 Polyphasage	50
8.2 L'hydrosystème karstique : organisation spatiale	51
8.2.1 Principe général	51
8.2.2 Exemples	52

<b>8.3</b>	<b>Conséquences pour le fonctionnement</b>	53
8.3.1	Fonctionnement hydraulique	53
8.3.2	Conséquences qualitatives	54
<b>8.4</b>	<b>Le plus grand aquifère karstique de France : la fontaine de Vaucluse</b>	55
8.4.1	Description générale	55
8.4.2	Origine du système	58

## **CHAPITRE 9 • LES AQUIFÈRES INSULAIRES ET LITTORAUX** 60

<b>9.1</b>	<b>L'affrontement de deux milieux</b>	60
9.1.1	Répartition et importance économique	60
9.1.2	Le biseau ou coin salé	61
9.1.3	Action anthropique	62
9.1.4	Incidence des variations de niveau de la mer	63
<b>9.2</b>	<b>Aquifères karstiques littoraux</b>	64
9.2.1	Particularités des sources karstiques littorales et sous-marines	65
9.2.2	Origine de sources karstiques sous-marines	66
9.2.3	Hypothèses sur le fonctionnement	67
9.2.4	L'exemple des Moulins d'Argostoli	70
9.2.5	L'exemple de Port Miou	71
<b>9.3</b>	<b>L'hypercunéisme et ses conséquences</b>	75

## **CHAPITRE 10 • LES EAUX THERMOMINÉRALES ET LA GÉOTHERMIE** 76

<b>10.1</b>	<b>Définition</b>	76
<b>10.2</b>	<b>Origine de la chaleur</b>	77
10.2.1	Eaux juvéniles	77
10.2.2	Réchauffement et minéralisation secondaires	77
<b>10.3</b>	<b>La géothermie</b>	80

## **CHAPITRE 11 • LA QUALITÉ DES EAUX** 84

<b>11.1</b>	<b>Caractéristiques naturelles</b>	84
<b>11.2</b>	<b>Les contaminants naturels</b>	85
11.2.1	Dissolution et altération	85
11.2.2	Biseau salé	85
11.2.3	Milieux confinés	86
11.2.4	Matière organique naturelle	86
<b>11.3</b>	<b>Les pollutions anthropiques</b>	86
11.3.1	Pollution domestique	86
11.3.2	Pollution urbaine	86
11.3.3	Pollution industrielle	87
11.3.4	Pollution agricole	87

11.4	Les contaminations induites par l'activité humaine	88
11.5	L'autoépuration	88

## PARTIE II

### OUTILS ET MÉTHODE DE L'HYDROGÉOLOGIE

<b>CHAPITRE 12 • DOCUMENTATION PRÉALABLE</b>		93
12.1	Cartes topographiques et géologiques	93
12.2	Inventaires et fichiers	94
12.3	Publications et rapports inédits	94
<b>CHAPITRE 13 • ÉTUDE DE LA GÉOMÉTRIE DES RÉSERVOIRS AQUIFÈRES</b>		96
13.1	Observations et reconnaissances de terrain	96
13.2	Prospection géophysique	99
13.2.1	Caractéristiques générales	99
13.2.2	Limites des méthodes géophysiques	104
13.3	Sondages de reconnaissance	105
13.4	Puits, tranchées et galeries de reconnaissance	106
13.5	Synthèse géométrique	106
<b>CHAPITRE 14 • CARACTÉRISATION DES AQUIFÈRES</b>		110
14.1	Infiltration de l'eau	110
14.2	Restitution de l'eau	112
14.2.1	Nature et localisation des sources	112
14.2.2	Conditions d'émergence	113
14.2.3	Débit et régime des sources	114
14.3	Échanges entre réservoirs aquifères	115
14.4	Piézométrie des nappes	117
14.4.1	Définitions et méthodes	117
14.4.2	Cartes piézométriques	118
14.4.3	Variations piézométriques	122
14.5	Essais d'eau et pompages d'essai	123
14.5.1	Mesures en laboratoire	123
14.5.2	Essais ponctuels en puits ou sondages	124
14.5.3	Pompages d'essais	125
14.6	Les analyses d'eau	129
14.6.1	Les analyses physico-chimiques	130

14.6.2 Les isotopes	135
14.6.3 Les analyses microbiologiques	137
<b>14.7 Les méthodes d'étude des aquifères karstiques</b>	138
14.7.1 Particularités du karst	138
14.7.2 Études paléogéographiques	138
14.7.3 Études hydrométriques et physico-chimiques	139
14.7.4 La spéléologie	140
14.7.5 Les traçages d'eau ou traçages d'essais	142
14.7.6 Les essais de vidange prolongée	146
<b>14.8 La modélisation des écoulements souterrains</b>	148
14.8.1 Modèles déterministes	148
14.8.2 Modèles stochastiques ou globaux	149

## **CHAPITRE 15 • SYNTHÈSES HYDROGÉOLOGIQUES ET BILANS** 151

## **CHAPITRE 16 • SOURCIERS ET SOURCELLERIE** 155

### **PARTIE III**

## **LA RESSOURCE EN EAU**

## **CHAPITRE 17 • LES BESOINS EN EAU ET LEUR ÉVOLUTION** 159

17.1 Consommation d'eau	159
17.2 Usages domestiques et agriculture	161
17.2.1 L'AEP : alimentation en eau potable	161
17.2.2 Fonctionnement urbain	162
17.2.3 Agriculture	163
17.2.4 Mise en bouteilles	163
17.3 Usages techniques de l'eau souterraine	164
17.3.1 Énergie hydraulique et hydroélectricité	164
17.3.2 Refroidissement des centrales thermiques et nucléaires	165
17.3.3 Pompes à chaleur et géothermie	165
17.3.4 Industrie	165

## **CHAPITRE 18 • L'EXPLOITATION DES AQUIFÈRES** 167

18.1 Recherches préalables	167
18.2 Méthodes de captage	168
18.2.1 Captages de sources	168
18.2.2 Tranchées drainantes et galeries drainantes	169
18.2.3 Puits et puits à drains rayonnants	170
18.2.4 Forages d'eau	171

18.3	Entretien des captages	172
18.4	L'exploitation des aquifères littoraux	173
18.4.1	Cas généraux	173
18.4.2	Les aquifères karstiques littoraux	175
<b>CHAPITRE 19 • LA PROTECTION DES AQUIFÈRES</b>		178
19.1	La réglementation européenne	178
19.2	Le contrôle sanitaire de l'eau potable	178
19.3	Vulnérabilité, aléa, risque	182
19.3.1	Vulnérabilité	182
19.3.2	Aléa et risque	182
19.4	Les périmètres de protection	183
19.4.1	Périmètre de protection immédiate (PPI)	184
19.4.2	Périmètre de protection rapprochée (PPR)	185
19.4.3	Périmètre de protection éloignée (PPE)	186
19.4.4	Périmètres de protection satellites (PPIs ou PPRs)	186
19.5	Le problème des nitrates	187
19.6	Effluents domestiques et assainissement	189
19.7	L'épuration	189
19.7.1	L'épuration autonome	190
19.7.2	L'épuration collective	190
<b>CHAPITRE 20 • LA GESTION DES AQUIFÈRES</b>		192
20.1	Définition	192
20.2	Les études	194
20.2.1	L'acquisition des données, les contrôles et les suivis sur les bassins	194
20.2.2	L'acquisition de la connaissance au niveau de l'aquifère	196
20.3	Les actions sur les aquifères	197
20.3.1	Actions quantitatives	197
20.3.2	Actions qualitatives	203
20.4	L'optimisation de l'exploitation des aquifères karstiques	204
20.4.1	Barrages souterrains	205
20.4.2	Le cas de la source du Lez	206
<b>CHAPITRE 21 • EXEMPLES DE RECHERCHE D'EAU POUR AEP</b>		208
21.1	Exploitation d'une nappe libre (Mouans-Sartoux, Alpes-Maritimes)	208
21.2	Exploitation d'une nappe captive (bassin du Paillon, Alpes-Maritimes)	211

## HYDROGÉOLOGIE DU GÉNIE CIVIL

<b>CHAPITRE 22 • L'EAU ET LA CONSTRUCTION</b>	217
22.1 Fluctuations naturelles de la nappe	217
22.2 Influence des ouvrages établis en terrain aquifère	219
22.2.1 Rôle de barrière hydraulique	219
22.2.2 Rabattement provoqué	220
<b>CHAPITRE 23 • LES MOUVEMENTS DE TERRAIN</b>	222
23.1 L'eau et les instabilités	222
23.2 Les glissements	223
23.2.1 Caractéristiques et particularités des glissements	223
23.2.2 Causes des glissements	224
23.2.3 Traitement des glissements	224
23.2.4 Exemple du glissement de la Clapière (Alpes-Maritimes, Saint-Étienne-de-Tinée)	228
23.2.5 Exemple du glissement d'Ardisson (Alpes-Maritimes, La Trinité)	230
23.2.6 Exemple du glissement du Quiaus (Alpes-Maritimes, Gorbio)	233
23.3 Les affaissements et effondrements	235
23.3.1 Caractérisation et causes	235
23.3.2 Évolution naturelle	236
23.3.3 Impact des actions humaines	239
23.3.4 Exemple d'effondrements à Mougins (Alpes-Maritimes) en 1998	242
<b>CHAPITRE 24 • LES TRAVAUX SOUTERRAINS</b>	248
24.1 Problèmes posés par l'eau souterraine	248
24.2 Incidence des eaux souterraines sur la conduite des travaux	248
24.3 Impact hydrogéologique des tunnels sur leur environnement	252
24.4 Exemple du tunnel ferroviaire de Braus (Alpes-Maritimes)	253
24.4.1 Caractéristiques générales	253
24.4.2 Conditions géologiques et hydrogéologiques	253
24.4.3 Problèmes hydrogéologiques posés par le creusement du tunnel	255
24.4.4 Enseignements à tirer de cette expérience	257
24.5 Exemple du tunnel ferroviaire de Monte-Carlo (principauté de Monaco)	257
24.5.1 Caractéristiques générales	257
24.5.2 Conditions géologiques et hydrogéologiques	258
24.5.3 Problèmes hydrogéologiques posés par le creusement du tunnel	259
24.5.4 Enseignements à tirer de cette expérience	260

<b>CHAPITRE 25 • LES BARRAGES ET LES RETENUES</b>	262
25.1 Caractéristiques générales	262
25.2 Stabilité des barrages	263
25.2.1 Effet de l'érosion régressive et des renards	264
25.2.2 Effet des sous-pressions	266
25.2.3 Prévention et traitement	268
25.3 Étanchéité des retenues	268
25.3.1 Phénomènes d'épigénie	269
25.3.2 Substratum karstique	270
25.4 Instabilités des rives de retenues	275
25.4.1 Instabilités naturelles	275
25.4.2 Rôle des vidanges	276
25.4.3 Exemple du glissement du Vajont (Italie)	276
<b>CHAPITRE 26 • LES STOCKAGES SOUTERRAINS</b>	279
26.1 Le stockage souterrain du gaz	279
26.2 Le stockage des déchets nucléaires	280
26.2.1 Nature des déchets	280
26.2.2 Contexte hydrogéologique des sites de stockage	281
<b>CONCLUSION</b>	283
1 L'entité eau	283
2 L'importance socio-économique de l'eau	283
3 Le rôle stratégique de l'eau et les risques de conflits internationaux	284
3.1 Exemples en Europe	284
3.2 Exemples dans le monde arabe	285
4 Eau et développement durable	288
4.1 Aspect quantitatif	288
4.2 Aspect qualitatif	289
5 L'hydrogéologue du futur : gestionnaire des eaux souterraines	289
<b>ANNEXE 1 • DIRECTIVE 2006/118/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL</b>	291
<b>PROBLÈMES</b>	295
<b>ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE</b>	328
<b>SITES INTERNET</b>	337
<b>INDEX</b>	338