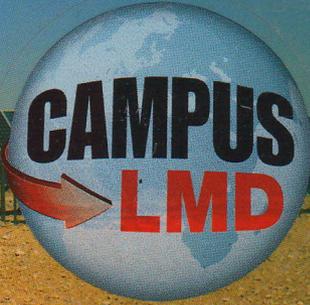


Éric Gilli
Christian Mangan
Jacques Mudry



CAMPUS
LMD

Hydrogéologie

Objets, méthodes,
applications

4^e édition

Licence 3
Master
CAPES
Agrégation

DUNOD

Table des matières

AVANT-PROPOS

IX

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

CHAPITRE 4 • LES CYCLES DE L'EAU	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
 CHAPITRE 5 • L'INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOUS-SOL ET LA NOTION D'AQUIFÈRE	 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
 CHAPITRE 6 • LES AQUIFÈRES POREUX ET LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOUS-SOL	 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
 CHAPITRE 7 • LES AQUIFÈRES FISSURÉS	 43
7.1 Répartition mondiale et importance économique	43
7.2 L'hydrogéologie africaine	45
 CHAPITRE 8 • LES AQUIFÈRES KARSTIQUES	 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

8.3	Conséquences pour le fonctionnement	53
8.3.1	Fonctionnement hydraulique	53
8.3.2	Conséquences qualitatives	54
8.4	Le plus grand aquifère karstique de France : la fontaine de Vaucluse	55
8.4.1	Description générale	55
8.4.2	Origine du système	58
CHAPITRE 9 • LES AQUIFÈRES INSULAIRES ET LITTORAUX		60
9.1	L'affrontement de deux milieux	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
9.2	Aquifères karstiques littoraux	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
9.3	L'hyperéustatisme et ses conséquences	75
CHAPITRE 10 • LES EAUX THERMOMINÉRALES ET LA GÉOTHERMIE		76
10.1	Définition	76
10.2	Origine de la chaleur	77
10.2.1	Eaux juvéniles	77
10.2.2	Réchauffement et minéralisation secondaires	77
10.3	La géothermie	80
CHAPITRE 11 • LA QUALITÉ DES EAUX		84
11.1	Caractéristiques naturelles	84
11.2	Les contaminants naturels	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
11.3	Les pollutions anthropiques	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		
CHAPITRE 12 • DOCUMENTATION PRÉALABLE		
12.1	Cartes topographiques et géologiques	93
12.2	Inventaires et fichiers	94
12.3	Publications et rapports inédits	94
12.4	Cartographie numérique	95
CHAPITRE 13 • ÉTUDE DE LA GÉOMÉTRIE DES RÉSERVOIRS AQUIFÈRES		
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	101
13.3	Sondages de reconnaissance	105
13.4	Puits, tranchées et galeries de reconnaissance	106
13.5	Synthèse géométrique	106
CHAPITRE 14 • CARACTÉRISATION DES AQUIFÈRES		
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'essai	125
14.6	Les analyses d'eau	129
14.6.1	Les analyses physico-chimiques	131

14.6.2 Les isotopes	135
14.6.3 Les analyses microbiologiques	137
14.7 Les méthodes d'étude des aquifères karstiques	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
14.8 La modélisation des écoulements souterrains	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
CHAPITRE 19 • LA PROTECTION DES AQUIFÈRES		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 (PPI _s ou PPR _s)	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
CHAPITRE 20 • LA GESTION DES AQUIFÈRES		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	204
20.4	L'optimisation de l'exploitation des aquifères karstiques	207
20.4.1	Barrages souterrains	207
20.4.2	Le cas de la source du Lez	207
CHAPITRE 21 • EXEMPLES DE RECHERCHE D'EAU POUR AEP		211
21.1	Exploitation d'une nappe libre (Mouans-Sartoux, Alpes-Maritimes)	211
21.2	Exploitation d'une nappe captive (bassin du Paillon, Alpes-Maritimes)	214

PARTIE IV

HYDROGÉOLOGIE DU GÉNIE CIVIL

CHAPITRE 22 • L'EAU ET LA CONSTRUCTION

22.1	Fluctuations naturelles de la nappe	219
22.2	Influence des ouvrages établis en terrain aquifère	221
22.2.1	Rôle de barrière hydraulique	221
22.2.2	Rabatement provoqué	222

CHAPITRE 23 • LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

23.1	L'eau et les instabilités	224
23.2	Les glissements	225
23.2.1	Caractéristiques et particularités des glissements	225
23.2.2	Causes des glissements	226
23.2.3	Traitement des glissements	226
23.2.4	Exemple du glissement de la Clapière (Alpes-Maritimes, Saint-Étienne-de-Tinée)	230
23.2.5	Exemple du glissement d'Ardisson (Alpes-Maritimes, La Trinité)	232
23.2.6	Exemple du glissement du Quiaus (Alpes-Maritimes, Gorbio)	235
23.3	Les affaissements et effondrements	237
23.3.1	Caractérisation et causes	237
23.3.2	Évolution naturelle	238
23.3.3	Impact des actions humaines	241
23.3.4	Exemple d'effondrements à Mougins (Alpes-Maritimes) en 1998	244

CHAPITRE 24 • LES TRAVAUX SOUTERRAINS

24.1	Problèmes posés par l'eau souterraine	250
24.2	Incidence des eaux souterraines sur la conduite des travaux	250
24.3	Impact hydrogéologique des tunnels sur leur environnement	254
24.4	Exemple du tunnel ferroviaire de Braus (Alpes-Maritimes)	255
24.4.1	Caractéristiques générales	255
24.4.2	Conditions géologiques et hydrogéologiques	255
24.4.3	Problèmes hydrogéologiques posés par le creusement du tunnel	257
24.4.4	Enseignements à tirer de cette expérience	259
24.5	Exemple du tunnel ferroviaire de Monte-Carlo (principauté de Monaco)	259
24.5.1	Caractéristiques générales	259
24.5.2	Conditions géologiques et hydrogéologiques	260
24.5.3	Problèmes hydrogéologiques posés par le creusement du tunnel	261
24.5.4	Enseignements à tirer de cette expérience	262

CHAPITRE 25 • LES BARRAGES ET LES RETENUES	264
25.1 Caractéristiques générales	264
25.2 Stabilité des barrages	265
25.2.1 Effet de l'érosion régressive et des renards	266
25.2.2 Effet des sous-pressions	268
25.2.3 Prévention et traitement	270
25.3 Étanchéité des retenues	270
25.3.1 Phénomènes d'épigénie	271
25.3.2 Substratum karstique	272
25.4 Instabilités des rives de retenues	277
25.4.1 Instabilités naturelles	277
25.4.2 Rôle des vidanges	278
25.4.3 Exemple du glissement du Vajont (Italie)	278
CHAPITRE 26 • LES STOCKAGES SOUTERRAINS ET LES GAZ DE SCHISTES	281
26.1 Le stockage souterrain du gaz	281
26.2 Le stockage des déchets nucléaires	282
26.2.1 Nature des déchets	282
26.2.2 Contexte hydrogéologique des sites de stockage	283
26.3 L'exploitation des gaz de schistes	284
CONCLUSION	286
1 L'entité eau	286
2 L'importance socio-économique de l'eau	286
3 Le rôle stratégique de l'eau et les risques de conflits internationaux	287
3.1 Exemples en Europe	287
3.2 Exemples dans le monde arabe	288
4 Eau et développement durable	291
4.1 Aspect quantitatif	291
4.2 Aspect qualitatif	292
5 L'hydrogéologie du futur : gestionnaire des eaux souterraines	292
ANNEXE • DIRECTIVE 2006/118/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL	294
PROBLÈMES	298
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE	333
LEXIQUE : ANGLAIS-FRANÇAIS	341
LEXIQUE : FRANÇAIS-ANGLAIS	343
SITES INTERNET	353
INDEX	353

Éric Gilli
Christian Mangan
Jacques Mudry



Hydrogéologie

Objets, méthodes, applications

L'hydrogéologie est la science de l'eau souterraine. Elle a pour objectif de planifier au mieux l'exploitation des ressources en eau. Elle doit non seulement caractériser des aquifères ou nappes d'eau souterraines, mais surtout, aujourd'hui, protéger et gérer les ressources en eau. L'hydrogéologie permet aussi d'identifier et de prévenir les sinistres lors de grands travaux d'aménagement.

Cet ouvrage présente les **notions fondamentales** (cycle de l'eau, différents types d'aquifères, qualité des eaux...) et les **outils et méthodes** indispensables à toute étude hydrogéologique. Il offre une approche pluridisciplinaire des applications et enjeux de l'hydrogéologie.

Cette quatrième édition actualisée a été complétée par un lexique anglais-français et français-anglais de 900 entrées qui rassemble les principaux termes employés en hydrogéologie.

Les

- Un cours complet
- Des méthodes et des outils

Le public :

- Étudiants en L3 et Master (Sciences de la Terre et de l'Univers, Environnement et Géographie physique)
- Candidats au CAPES ou à l'agrégation de SVT
- Professionnels

4^e édition

Éric Gilli

est professeur à l'université Paris 8 (Vincennes-Saint-Denis).

Christian Mangan

est géologue conseil, hydrogéologue et expert judiciaire.

Jacques Mudry

est professeur honoraire à l'université de Franche-Comté (Besançon).



7229780
ISBN 978-2-10-074741-2



Les actus



du savoir

