

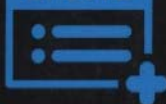
Licences ■ Écoles d'ingénieurs

Bases de données

Concepts, utilisation
et développement



LES + EN
LIGNE



Jean-Luc Hainaut

4^e édition

DUNOD

Table des matières

AVANT-PROPOS

27

CHAPITRE 1 • MOTIVATION ET INTRODUCTION

33

1.1	Des données et des hommes	33
1.2	Une première approche des données	34
1.3	Utiliser une base de données	38
1.4	Premières conclusions	39
1.5	Les systèmes de gestion de bases de données	40
1.6	Les défis des bases de données d'aujourd'hui	41
1.7	Un peu d'histoire	42
1.7.1	Le modèle collectiviste : CODASYL DBTG	43
1.7.2	La pensée unique : IMS	44
1.7.3	La naissance du modèle relationnel	44
1.7.4	Apparition d'un nouvel acteur : l'utilisateur final	45
1.7.5	La guerre des modèles	45
1.7.6	La chute d'Icare	46
1.7.7	Le modèle relationnel : la suite de l'histoire	46
1.7.8	Cronos dévore ses enfants	47

PARTIE 1

CONCEPTS DES BASES DE DONNÉES

CHAPITRE 2 • CONCEPTS DES BASES DE DONNÉES

49

2.1	Introduction	49
2.2	Tables, lignes et colonnes	50
2.3	La valeur null	51

2.4	Les identifiants	52
2.5	Les clés étrangères	53
2.6	Identifiants et clés étrangères facultatifs	54
2.7	Schéma et contenu d'une base de données	55
2.8	Représentation graphique d'un schéma	55
2.9	Un exemple de base de données	57
2.10	Modification et contraintes d'intégrité	58
2.10.1	Les colonnes obligatoires	58
2.10.2	Les contraintes d'unicité (identifiants)	60
2.10.3	Les contraintes référentielles (clés étrangères)	60
2.11	Redondances internes dans une table	62
2.11.1	Le phénomène de redondance interne	62
2.11.2	Normalisation par décomposition	63
2.12	Les structures physiques	65
2.13	Que retenir ?	66
2.14	Pour en savoir plus	67
2.15	Pratiquer les bases de données	67
2.16	Exercices	69
CHAPITRE 3 • MODÈLE RELATIONNEL ET NORMALISATION		71
3.1	Le phénomène de redondance interne	71
3.2	Le modèle relationnel de bases de données	72
3.2.1	Concepts de base	72
3.2.2	Opérateurs d'extraction de données	73
3.3	Identifiants	76
3.4	Dépendances fonctionnelles	77
3.4.1	Le phénomène de dépendance fonctionnelle	77
3.4.2	Un exemple plus complexe	78
3.4.3	Graphe ADF d'une relation (attributs et DF)	79
3.4.4	Propriétés des dépendances fonctionnelles	79
3.5	Contraintes d'inclusion et clés étrangères	82
3.6	Calcul des identifiants d'une relation	85
3.6.1	Relation entre identifiants et dépendances fonctionnelles	85
3.6.2	La relation possède un seul identifiant	86
3.6.3	La relation possède plusieurs identifiants	87
3.6.4	Rôle des attributs racines	88
3.7	Décomposition d'une relation	89

3.8	Normalisation d'une relation	90
3.8.1	Réexamen du phénomène de redondance interne	91
3.8.2	Analyse du phénomène	91
3.8.3	Relation normalisée	92
3.8.4	Normalisation d'une relation	92
3.8.5	Normalisation d'un noyau irréductible	95
3.8.6	SGBD et dépendances fonctionnelles	97
3.9	Les relations non en 1re forme normale	97
3.10	Que retenir ?	100
3.11	Pour en savoir plus	102
3.12	Exercices	102
CHAPITRE 4 • ÉLÉMENTS DE TECHNOLOGIE DES BASES DE DONNÉES		105
4.1	Introduction	105
4.2	Les composants d'un ordinateur	106
4.3	Mémoire externe : le disque magnétique	107
4.3.1	Géométrie d'un disque	107
4.3.2	Lecture et écriture de données sur un disque	109
4.3.3	Optimisation : tampon d'échange et lecture anticipée	111
4.4	Les technologies alternatives	113
4.4.1	Les disques RAID	113
4.4.2	Les disques électroniques (SSD)	115
4.4.3	Les disques hybrides	117
4.4.4	Les mémoires à bande	117
4.4.5	Les machines de bases de données	118
4.5	Organisation d'un espace de stockage	120
4.5.1	Structure d'un fichier	120
4.5.2	Allocation d'espace à un fichier	121
4.5.3	Structure des enregistrements d'un fichier	121
4.5.4	Rangement des enregistrements dans un fichier	121
4.5.5	Le phénomène de fragmentation d'un fichier	123
4.5.6	Organisation des fichiers sur le support	124
4.6	Traitement séquentiel d'un fichier	124
4.6.1	Lecture séquentielle d'un fichier	125
4.6.2	Tri d'un fichier séquentiel	128
4.7	Les index	132
4.8	Organisation séquentielle indexée	134
4.8.1	Structure d'un fichier séquentiel indexé	134
4.8.2	Lecture et modification d'un fichier séquentiel indexé	135

4.8.3	Caractéristiques et performances d'un fichier séquentiel indexé	138
4.8.4	Étude de cas	145
4.9	Organisation calculée	146
4.9.1	Principes de l'accès calculé	146
4.9.2	Fonction de calcul d'adresse	147
4.9.3	Gestion des débordements	149
4.9.4	Caractéristiques et performances d'un fichier à accès calculé	150
4.9.5	Chargement et réorganisation d'un fichier à organisation calculée	153
4.9.6	Comparaison des deux techniques d'index primaires	154
4.10	Les index secondaires	154
4.10.1	Structure d'un index secondaire par listes de pointeurs	155
4.10.2	Performances d'un index secondaire par listes de pointeurs	156
4.10.3	Structure d'un index bitmap	159
4.10.4	Les index partiels	159
4.10.5	Les index sur expression	159
4.10.6	Les index secondaires augmentés	159
4.10.7	Disponibilité des techniques d'indexation primaires et secondaires	161
4.11	Accès par index ou recherche séquentielle ?	161
4.12	Quand créer un index ?	161
4.13	Les techniques d'agrégation (clustering)	162
4.13.1	Clustering index	163
4.13.2	Clusters	163
4.13.3	Performances des techniques d'agrégation	164
4.14	Stabilité des adresses	165
4.15	Un exemple : SQL Server	167
4.16	Compléments sur les fonctions de hachage	169
4.16.1	Le prédicteur à hachage (filtre de Bloom)	169
4.16.2	Hachage cryptographique (Secure hashing)	170
4.16.3	Notion d'identifiant universel (UUID)	171
4.17	Futurologie : un peu de poésie dans ce monde brutes !	172
4.17.1	Les mémoires ADN	172
4.17.2	Les mémoires atomiques	173
4.17.3	Les bases de données quantiques	174
4.18	Que retenir ?	176
4.19	Pour en savoir plus	177
4.20	Exercices	177

CHAPITRE 5 • LES SYSTÈMES DE GESTION DE BASES DE DONNÉES	181
5.1 Introduction	181
5.2 Les fonctions des systèmes de gestion de bases de données	182
5.3 Architecture des SGBD	184
5.4 Les transactions	186
5.5 Régulation de la concurrence	188
5.5.1 Mise à jour perdue	189
5.5.2 Données instables	189
5.5.3 Régulation de la concurrence par verrouillage	190
5.5.4 Sérialisabilité et verrouillage en 2 phases (2PL)	191
5.5.5 Interblocage	191
5.5.6 Les niveaux d'isolation	192
5.6 Protection contre les accidents	193
5.6.1 Sauvegardes et journaux	193
5.6.2 Reprise à froid	194
5.6.3 Reprise à chaud	194
5.6.4 Les fichiers différentiels	195
5.7 Les bases de données distribuées	196
5.7.1 Un premier exemple	196
5.7.2 Les types de distribution	198
5.7.3 Partitionnement du réseau	199
5.7.4 Le <code>commit</code> en deux phases (2PC)	200
5.7.5 Distribution des traitements	200
5.8 Contrôle des accès	201
5.8.1 Les modèles de contrôle d'accès	201
5.8.2 Protection des données privées - Inférence statistique	202
5.9 Les bases de données in-memory	204
5.10 Le marché des SGBD relationnels	205
5.11 Pour en savoir plus	206
PARTIE 2	
UTILISATION DES BASES DE DONNÉES	
CHAPITRE 6 • LE LANGAGE SQL DDL	207
6.1 Introduction	207
6.2 Le langage SQL DDL	208
6.3 Création d'un schéma	208
6.4 Les noms SQL	209

6.5	Création d'une table	209
6.6	Les colonnes et leurs types	209
6.7	Caractère obligatoire/facultatif d'une colonne	211
6.8	Les identifiants	212
6.9	Les clés étrangères	212
6.10	Forme synthétique des contraintes	215
6.11	Exemple complet	215
6.12	Suppression d'une table	216
6.13	Ajout, retrait et modification d'une colonne	216
6.14	Ajout et retrait d'une contrainte	216
6.15	Les structures physiques	217
6.16	Que retenir ?	218
6.17	Pour en savoir plus	218
CHAPITRE 7 • LE LANGAGE SQL DML (1)		219
7.1	Introduction	219
7.2	Requêtes élémentaires	221
7.2.1	Extraction simple	221
7.2.2	Extraction de lignes sélectionnées	222
7.2.3	Lignes dupliquées dans le résultat	223
7.2.4	Des conditions de sélection plus complexes	224
7.2.5	Expressions composées	226
7.3	Données extraites et données dérivées	227
7.3.1	Les fonctions SQL	227
7.3.2	Les registres du système	229
7.4	Ordre des lignes du résultat	230
7.5	Les fonctions agrégatives (ou statistiques)	231
7.6	Les sous-requêtes	233
7.6.1	Condition d'association par sous-requête	234
7.6.2	Sous-requête et clé étrangère composite	235
7.6.3	Attention aux conditions d'association négatives	235
7.6.4	Références multiples à une même table	237
7.7	Les quantificateurs ensemblistes	239
7.8	Exercices	241

CHAPITRE 8 • LE LANGAGE SQL DML (2)	245
8.1 Introduction	245
8.2 Extraction de données de plusieurs tables (jointure)	246
8.2.1 La jointure de plusieurs tables	246
8.2.2 Conditions de jointure et conditions de sélection	247
8.2.3 Lignes célibataires et jointures externes	248
8.3 Les opérateurs ensemblistes	248
8.4 Le produit relationnel	250
8.5 Variantes syntaxiques de la jointure	251
8.6 Les tables statiques	253
8.7 Requêtes sur des structures cycliques	253
8.8 Compléments sur les jointures	258
8.8.1 Sous-requête ou jointure ?	258
8.8.2 Valeurs dérivées dans une jointure	260
8.8.3 Les jointures généralisées	260
8.8.4 Interprétation du résultat d'une jointure	262
8.9 Extraction de données groupées	265
8.9.1 Notion de groupe de lignes	265
8.9.2 Sélection de groupes et sélection de lignes	266
8.9.3 Groupes et jointures	267
8.9.4 Composition de la liste select	268
8.9.5 Composition du critère de groupement	269
8.9.6 Attention aux groupements multiniveaux	270
8.9.7 Peut-on éviter l'utilisation de données groupées ?	271
8.10 Extension de la structure des requêtes SFW	271
8.10.1 Extension de la clause select	271
8.10.2 Extension de la clause from	272
8.11 Limitation de la taille d'un résultat	273
8.12 Interprétation d'une requête	273
8.13 Modification des données	274
8.13.1 Ajout de lignes	274
8.13.2 Suppression de lignes	276
8.13.3 Modification de lignes	276
8.13.4 À propos de la gestion des verrous	277
8.13.5 Mise à jour et contraintes d'unicité	277
8.13.6 Mise à jour et contraintes référentielles	278
8.13.7 Déterminisme des requêtes SQL	278
8.14 Modification des structures de données	280
8.15 Que retenir ?	281

8.16	Pour en savoir plus	282
8.17	Exercices	282
CHAPITRE 9 • LE LANGAGE SQL AVANCÉ		287
9.1	Introduction	287
9.2	Le contrôle d'accès	287
9.3	Les vues SQL	290
9.3.1	Principes et objectifs des vues	290
9.3.2	Définition et utilisation d'une vue	290
9.3.3	Les vues comme interface pour des besoins particuliers	291
9.3.4	Les vues comme mécanisme de contrôle d'accès	291
9.3.5	Les vues comme mécanisme d'évolution de la base de données	292
9.3.6	Les vues comme aide à l'expression de requêtes complexes	292
9.3.7	Mise à jour des données via une vue	293
9.4	Les Common Table Expressions (CTE)	294
9.5	Les requêtes récursives	294
9.6	Les extensions objet de SQL3	297
9.6.1	Types de données complexes (row et array)	298
9.6.2	Type défini par l'utilisateur (TDU)	300
9.6.3	Table typée	300
9.6.4	Hierarchie de types	301
9.6.5	Hierarchie de tables typées	302
9.6.6	Références entre tables	304
9.6.7	Remarques finales	305
9.7	Les prédicats (check)	305
9.8	Les procédures SQL (stored procedures)	307
9.9	Les déclencheurs (triggers)	308
9.10	Le catalogue	313
9.11	Les interfaces SQL des programmes d'application	316
9.11.1	L'interface SQL statique classique	318
9.11.2	SQLJ : une interface statique pour Java	321
9.11.3	L'interface SQL dynamique classique	323
9.11.4	JDBC : une interface CLI-SQL dynamique pour Java	326
9.11.5	Comparaison des modèles d'interaction	328
9.11.6	Un problème de sécurité : l'injection de code SQL	329
9.12	SQL et l'information incomplète	331
9.12.1	Introduction	331
9.12.2	La valeur null de SQL	331
9.12.3	La logique ternaire de SQL	332

9.12.4	La propagation de null en SQL	332
9.12.5	La propagation de unknown en SQL	332
9.12.6	Les problèmes de l'information incomplète en SQL	334
9.12.7	Deux recommandations	339
9.13	Que retenir ?	340
9.14	Pour en savoir plus	341
CHAPITRE 10 • LES BASES DE DONNÉES NON RELATIONNELLES		343
10.1	Introduction	343
10.2	Les bases de données NoSQL	345
10.2.1	Modèles clé-valeur	346
10.2.2	Modèles orientés documents	347
10.2.3	Modèles orientés colonnes	347
10.3	Les autres modèles non relationnels	348
10.4	Les architectures de distribution	349
10.4.1	La cohérence finale	349
10.4.2	Les protocoles à quorum	350
10.4.3	Le théorème CAP	351
10.5	Un SGBD orienté colonnes : Cassandra	351
10.6	Un SGBD orienté documents : MongoDB	355
10.7	Les SGBD NewSQL : l'exemple de VoltDB	358
10.8	Conclusions sur les SGBD NoSQL	359
10.9	Les chaînes de blocs	361
10.9.1	Principes généraux	362
10.9.2	Le protocole BitCoin	366
10.9.3	Le protocole Ethereum	370
10.10	Pour en savoir plus	373
PARTIE 3		
DÉVELOPPEMENT DES BASES DE DONNÉES		
CHAPITRE 11 • CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNÉES		375
11.1	De l'artisanat à la méthode	375
11.2	Les acteurs et les métiers	376
11.3	Deux parcours	377
11.4	Une démarche simplifiée	377
11.5	Les outils	378

CHAPITRE 12 • LE MODÈLE ENTITÉ-ASSOCIATION DE BASE	379
12.1 Introduction	379
12.2 Les types d'entités	380
12.3 Les attributs	381
12.4 Les types d'associations	382
12.4.1 Rôles d'un type d'associations	382
12.4.2 Propriétés d'un type d'associations	383
12.4.3 Classe fonctionnelle d'un type d'associations	383
12.4.4 Type d'associations (ou rôle) obligatoire ou facultatif	385
12.4.5 Cardinalités d'un type d'associations	386
12.4.6 Type d'associations cyclique	386
12.4.7 Représentation graphique des populations	387
12.5 Une question de vocabulaire	387
12.6 Les identifiants	388
12.6.1 Identifiants hybrides	389
12.6.2 Composition des identifiants	390
12.6.3 Identifiants minimaux et identifiants implicites	391
12.6.4 Importance du concept d'identifiant	392
12.7 Les contraintes d'intégrité	393
12.7.1 Contraintes de base	393
12.7.2 Contraintes additionnelles	393
12.8 Contenu informationnel d'un schéma	393
12.9 Exemples	395
12.9.1 Une structure administrative	395
12.9.2 Gestion d'une bibliothèque	396
12.9.3 Voyages en train	397
12.10 Que retenir ?	398
12.11 Pour en savoir plus	399
12.12 Dessiner un schéma conceptuel à l'aide d'un outil	399
12.13 Exercices	400
CHAPITRE 13 • ÉLABORATION D'UN SCHÉMA CONCEPTUEL	403
13.1 Introduction	403
13.2 Un premier exemple	404
13.3 Décomposition de l'énoncé	406
13.3.1 Notion de proposition élémentaire	406
13.3.2 Cardinalités	407
13.3.3 Propositions générales et propositions particulières	408

13.3.4	Attention aux propositions complexes irréductibles !	408
13.3.5	Les propositions non binaires réductibles	411
13.4	Pertinence d'une proposition	411
13.5	Représentation d'une proposition	412
13.5.1	Nouveau type d'entités et son attribut	412
13.5.2	Type d'associations entre types d'entités existants	413
13.5.3	Attribut d'un type d'entités existant	413
13.5.4	Nouveau type d'entités et ses deux attributs	414
13.5.5	Restructuration pour intégration	414
13.5.6	Propriétés multivaluées	417
13.5.7	Recommandations pratiques	420
13.6	Non-redondance des propositions	421
13.6.1	Redondance explicite	421
13.6.2	Variantes d'expression	421
13.6.3	Redondance indirecte	421
13.6.4	Redondance apparente	422
13.6.5	Synonymes et homonymes	422
13.7	Non-contradiction des propositions	423
13.8	Les contraintes d'intégrité	424
13.9	Normalisation du schéma	425
13.9.1	Simplification du schéma	425
13.9.2	Élimination des redondances internes	425
13.10	Documentation du schéma	427
13.11	Complétude du schéma	428
13.12	Que retenir ?	428
13.13	Pour en savoir plus	429
13.14	Exercices	429
CHAPITRE 14 • PRODUCTION DU SCHÉMA DE LA BASE DE DONNÉES		433
14.1	Introduction	433
14.2	Représentation des types d'entités	434
14.3	Représentation des attributs	434
14.4	Représentation des types d'associations	434
14.4.1	Types d'associations un-à-plusieurs (1:N)	434
14.4.2	Types d'associations un-à-un (1:1)	436
14.4.3	Types d'associations plusieurs-à-plusieurs (N:N)	438
14.4.4	Types d'associations cycliques	439
14.5	Représentation des identifiants	439

14.6	Traduction des noms	440
14.7	Synthèse des règles de traduction	441
14.8	Les structures physiques	442
14.9	Traduction des structures en SQL	444
14.10	Que retenir ?	445
14.11	Pour en savoir plus	446
14.12	Produire un schéma de base de données à l'aide d'un outil	446
14.13	Exercices	447
CHAPITRE 15 • MÉTHODOLOGIE DES BASES DE DONNÉES		449
15.1	Introduction	449
15.2	Méthodes, processus et produits	450
15.3	Méthodes de développement d'une base de données	451
15.4	Les modèles de développement	456
15.5	Techniques transformationnelles	458
15.6	Rôle des outils	458
CHAPITRE 16 • LE MODÈLE ENTITÉ-ASSOCIATION ÉTENDU		459
16.1	Introduction	459
16.2	Le modèle de base - rappel	460
16.3	Sémantiques	461
16.4	Modèle, schéma et population	462
16.5	Les stéréotypes	464
16.6	Schéma de base de données	465
16.7	Attributs	465
16.7.1	Attributs composés	465
16.7.2	Attributs multivalués	466
16.7.3	Attributs complexes	466
16.7.4	Domaine et type d'un attribut	466
16.7.5	Cardinalité d'un attribut	468
16.8	Types d'associations	468
16.8.1	Types d'associations fonctionnels	468
16.8.2	Types d'associations n-aires	468
16.8.3	Types d'associations à rôles polymorphiques	469
16.8.4	Attributs de type d'associations	470
16.8.5	Généralisation des cardinalités des rôles	470
16.8.6	Taille de la population d'un type d'associations	470

16.9	Types d'entités	472
16.9.1	Relation de généralisation-spécialisation (relation is-a)	472
16.9.2	Propriétés et contraintes ensemblistes des sous-types	473
16.9.3	L'héritage	474
16.9.4	Les sous-types non disjoints sont-ils vraiment utiles ?	476
16.9.5	Surtypes et héritage multiples	477
16.9.6	Contraintes portant sur des composants hérités	479
16.9.7	Répartitions multiples	479
16.9.8	Règle de répartition en sous-types	479
16.10	Identifiants	481
16.10.1	Identifiants d'un type d'entités	481
16.10.2	Identifiants d'un type d'associations	483
16.10.3	Identifiants d'un attribut complexe	486
16.11	Contraintes d'intégrité	486
16.11.1	Contraintes de domaine	487
16.11.2	Contraintes entre valeurs	487
16.11.3	Contraintes d'existence	487
16.11.4	Dépendances fonctionnelles	489
16.12	Contraintes d'intégrité additionnelles	490
16.12.1	Expression des contraintes	490
16.12.2	Remarques sur les langages d'expression de contraintes	491
16.12.3	Cycles et contraintes cycliques	492
16.12.4	Propriétés des graphes d'instances	493
16.12.5	Contraintes de redondance	494
16.13	Les noms	494
16.13.1	Règles de dénomination	494
16.13.2	Dénomination des attributs	495
16.13.3	Dénomination des types d'associations	496
16.14	Classes d'objets génériques	497
16.14.1	Type d'associations de composition	497
16.14.2	Type d'associations de matérialisation	498
16.15	Exemple de schéma Entité-association	500
16.16	Métadonnées et métaschémas	500
16.16.1	Une première approche : le catalogue d'une base de données	501
16.16.2	Métaschéma du modèle Entité-association	502
16.17	Sémantique interne du modèle Entité-association	503
16.17.1	Types d'entités et relations is-a	503
16.17.2	Types d'associations	503
16.17.3	Attributs	504
16.17.4	Attributs et rôles obligatoires	504

16.17.5	Identifiants	504
16.17.6	Autres contraintes	505
16.17.7	Application de la théorie relationnelle au modèle Entité-association	505
16.18	Que retenir ?	506
16.19	Pour en savoir plus	506
16.20	Créer un schéma conceptuel à l'aide d'un outil (compléments)	508
16.21	Exercices	508
CHAPITRE 17 • LES DIAGRAMMES DE CLASSES UML		513
17.1	Introduction	513
17.2	UML et les bases de données	514
17.3	Les mécanismes d'extension	515
17.4	Les classes d'objets	516
17.5	Les associations binaires	516
17.6	Les associations n-aires	517
17.6.1	Multiplicité maximale (max)	518
17.6.2	Multiplicité minimale (min)	518
17.7	Les attributs	519
17.8	Les opérations	519
17.9	Les associations qualifiées	520
17.10	Les classes associations	522
17.11	Les associations d'agrégation et de composition	522
17.12	Les contraintes	523
17.13	Le langage de contraintes OCL	524
17.14	Une question de vocabulaire	527
17.15	Exemple de schéma de classes en UML	527
17.16	Le modèle de classes d'UML revisité (DB-UML)	527
17.17	Sémantique du modèle de classes DB-UML	529
17.18	Que retenir ?	531
17.19	Pour en savoir plus	531
17.20	Créer un schéma conceptuel UML à l'aide d'un outil	532
CHAPITRE 18 • ANALYSE CONCEPTUELLE DU DOMAINE D'APPLICATION		533
18.1	Introduction	533
18.2	Analyse des énoncés textuels	536
18.2.1	Proposition existentielle	536
18.2.2	Proposition relationnelle binaire	537

18.2.3	Proposition relationnelle n-aire	540
18.2.4	Intégration d'une proposition dans un schéma	544
18.3	Les patrons de conception	545
18.4	Analyse des documents structurés	547
18.4.1	Analyse des documents de l'organisation	547
18.4.2	Analyse d'un écran de saisie de données	549
18.4.3	Analyse d'un document papier	550
18.5	Dénomination des objets d'un schéma	551
18.6	Processus de correction d'un schéma	552
18.6.1	Constructions syntaxiquement incorrectes	553
18.6.2	Constructions non satisfiables et incohérentes	554
18.7	Processus de normalisation du schéma conceptuel	558
18.7.1	Simplification des constructions non minimales	560
18.7.2	Explicitation des constructions insuffisamment expressives	564
18.7.3	Élimination des redondances structurelles	570
18.7.4	Élimination des redondances internes	572
18.7.5	Autres critères de qualité	575
18.8	Évaluation d'un schéma	575
18.8.1	Paraphrase du schéma	576
18.8.2	Prototypage de la base de données	577
18.8.3	Inférence structurelle	577
18.8.4	Les heuristiques d'erreurs	578
18.8.5	Remarque	578
18.9	Intégration de schémas	579
18.9.1	Scénarios d'intégration	580
18.9.2	Principes de l'intégration binaire de schémas	580
18.9.3	Intégration basée sur les correspondances	581
18.9.4	Repérage des objets en correspondance	586
18.9.5	Unification : le cas des correspondances hétérogènes	587
18.9.6	Normalisation et résolution de conflits sémantiques	588
18.9.7	Compléments	589
18.9.8	Étude de cas	591
18.10	Analyse conceptuelle à l'aide d'un atelier	595
18.10.1	Transformation de schémas	595
18.10.2	Analyse de schémas	597
18.10.3	Intégration de schémas	597
18.11	Que retenir ?	598
18.12	Pour en savoir plus	598
18.13	Exercices	600

CHAPITRE 19 • CONCEPTION LOGIQUE D'UNE BASE DE DONNÉES RELATIONNELLE	605
19.1 Introduction	605
19.2 Le modèle logique relationnel	607
19.2.1 Le modèle relationnel de base	607
19.2.2 Le modèle relationnel enrichi	608
19.3 Représentation des attributs	610
19.3.1 Représentation d'un attribut simple	610
19.3.2 Représentation d'un attribut composé	613
19.3.3 Représentation d'un attribut multivalué	614
19.3.4 Représentation d'un attribut composé multivalué	615
19.3.5 Traduction des types et domaines de valeurs	616
19.3.6 Compléments	617
19.4 Retour aux types d'associations fonctionnels	618
19.5 Représentation des types d'associations complexes	618
19.5.1 Types d'associations n-aires, avec attributs et/ou contraintes	618
19.5.2 Représentation d'un type d'associations à rôle polymorphique	618
19.5.3 Clé étrangère et identifiant absent	620
19.6 Représentation des relations is-a	620
19.6.1 Les trois techniques de base	621
19.6.2 Représentation de relations is-a par matérialisation	622
19.6.3 Représentation de relations is-a par héritage descendant	626
19.6.4 Représentation de relations is-a par héritage ascendant	627
19.6.5 Évaluation comparative	628
19.6.6 Hiérarchies multiples et clés étrangères liées	629
19.7 Compléments	630
19.7.1 Les identifiants facultatifs	630
19.7.2 Les identifiants primaires complexes	631
19.7.3 Traduction des contraintes conceptuelles	632
19.7.4 Noms des objets	632
19.7.5 Delete et update modes des clés étrangères	632
19.7.6 Au sujet des rôles de cardinalité [1-N]	633
19.8 Traduction d'un schéma conceptuel	634
19.8.1 Choix des représentations privilégiées	634
19.8.2 Construction du plan de transformation	636
19.8.3 Limitations d'un plan de transformation	636
19.8.4 Validation d'un plan de transformation	637
19.9 Définition des vues	638
19.10 Conception logique : un exemple	638

19.11	Exploitation des constructions SQL3	640
19.11.1	Le modèle relationnel objet	642
19.11.2	Représentation des attributs complexes	642
19.11.3	Représentation des hiérarchies is-a de types d'entités	642
19.11.4	Conception logique relationnelle objet : un exemple	643
19.11.5	Extension de la méthode	643
19.12	Produire un schéma logique à l'aide d'un outil	644
19.12.1	Transformation de schémas	644
19.12.2	Analyse de schémas	646
19.13	Que retenir ?	646
19.14	Pour en savoir plus	647
19.15	Exercices	648
CHAPITRE 20 • CONCEPTION PHYSIQUE D'UNE BASE DE DONNÉES RELATIONNELLE		653
20.1	Introduction	653
20.2	Notion d'efficacité d'une base de données	655
20.3	Conception physique d'une base de données en 15 règles	656
20.4	Détermination des index	656
20.4.1	Index induits par les structures logiques	656
20.4.2	Index induits par l'utilisation des données	657
20.4.3	Index à écarter	658
20.4.4	Maintenance du jeu d'index	659
20.5	Technologie des index	660
20.6	Sélection des espaces de stockage	661
20.7	Optimisation avancée	661
20.7.1	Restructurations sans redondance	662
20.7.2	Redondances structurelles	664
20.7.3	Dénormalisation	665
20.8	Estimation des volumes et des temps de traitement	666
20.9	Complément : modèle de choix d'un index	666
20.10	Que retenir ?	667
20.11	Pour en savoir plus	668
20.12	Exercices	668
CHAPITRE 21 • PRODUCTION DU CODE D'UNE BASE DE DONNÉES		671
21.1	Introduction	671
21.2	Expression déclarative des structures	672
21.3	Les concepts SQL d'expression de contraintes	673

21.4	Les comportements non standard	675
21.5	Les contraintes d'intégrité de base	677
21.6	Les contraintes d'intégrité additionnelles	678
21.7	Les contraintes dérivées du modèle Entité-association	681
21.8	Les contraintes d'intégrité dynamiques	682
21.9	Traduction des relations is-a	683
21.9.1	Gestion à partir des tables de base	683
21.9.2	Gestion via des vues modifiables	685
21.10	Traduction des vues	688
21.11	Que retenir ?	689
21.12	Génération du code à l'aide d'un outil	689
21.13	Exercices	690
CHAPITRE 22 • RÉTRO-INGÉNIERIE D'UNE BASE DE DONNÉES		693
22.1	Introduction	693
22.2	Méthode générale de rétro-ingénierie	697
22.3	Extraction physique	698
22.4	Reconstruction du schéma logique	699
22.4.1	Les sources et leurs techniques d'analyse	699
22.4.2	Recherche des constructions implicites	703
22.5	Conceptualisation du schéma logique	705
22.6	Que retenir ?	709
22.7	Pour en savoir plus	710
22.8	Rétro-ingénierie à l'aide d'un outil	710
CHAPITRE 23 • ÉTUDE DE CAS		711
23.1	Les animaux du zoo	711
23.1.1	Énoncé	711
23.1.2	Construction du schéma conceptuel	712
23.1.3	Production du schéma de tables et du code SQL	713
23.1.4	Exploitation	715
23.2	Autres études de cas	718
CHAPITRE 24 • BIBLIOGRAPHIE		719
CHAPITRE 25 • INDEX		727