

## Avant-propos

<b>1. MySQL en quelques mots</b>	<b>17</b>
<b>2. Objectifs du livre</b>	<b>18</b>
<b>3. Description</b>	<b>18</b>

## Généralités sur MySQL

<b>1. Introduction</b>	<b>21</b>
<b>2. Architecture</b>	<b>22</b>
2.1 Le serveur et les clients	22
2.2 Les protocoles de communication	24
<b>3. Utilisation des ressources matérielles</b>	<b>25</b>
3.1 Utilisation du disque	25
3.2 Utilisation de la mémoire	27
3.3 Utilisation du processeur	28
3.4 Utilisation du réseau	29
<b>4. Variantes de MySQL</b>	

	<b>29</b>
4.1 MariaDB	29
4.2 Percona Server	30
4.3 Amazon RDS/Aurora	31
4.4 Galera	32
<b>5. Les moteurs de stockage</b>	<b>33</b>
5.1 InnoDB	35
5.1.1 Fonctionnement résumé	35
5.1.2 Fonctionnalités principales	39
5.2 MyISAM	41
5.3 Memory	42
5.4 Archive	44
5.5 XtraDB	44
5.6 TokuDB	45
5.7 RocksDB	45
5.8 Autres moteurs	46
<b>6. Verrous et transactions</b>	<b>47</b>
6.1 Verrous implicites	48
6.1.1 Généralités	48
6.1.2 Spécificités InnoDB	

6.2 Verrous explicites	48
6.2.1 Verrous de tables	49
6.2.2 Spécificités InnoDB	49
6.2.3 Modificateurs SKIP LOCKED et NOWAIT	51
6.3 Verrous coopératifs	53
6.4 Transactions	55
6.4.1 Généralités	56
6.4.2 InnoDB et les transactions	56
6.4.3 Mêler moteur transactionnel et moteur non transactionnel	57
6.4.4 Interblocages (deadlocks)	57
	59

## Installation du serveur

<b>1. Généralités</b>	<b>61</b>
1.1 Stabilité des versions	61
1.2 Version communautaire et version Enterprise	62
1.3 Cycle de développement	62
1.4 Choix du type d'installation	63
<b>2. Installation sous Linux/UNIX</b>	<b>63</b>
2.1 Installation par gestionnaire de paquets	63

2.2 Installation avec les binaires précompilés	66
2.3 Démarrage du serveur	68
2.3.1 Script mysql.server	68
2.3.2 Script mysqld_safe	68
2.3.3 Invocation directe de mysqld	69
2.4 Arrêt du serveur	69
2.4.1 systemd	69
2.4.2 Script mysql.server	70
2.4.3 mysqladmin	70
2.4.4 Commande kill	70
2.5 Résolution de problèmes d'installation courants	71
2.5.1 Erreurs InnoDB	71
2.5.2 Fichier errmsg.sys introuvable	72
2.6 Sécurisation de l'installation	72
2.7 Installation de plusieurs instances	73
2.7.1 Précautions à prendre	73
2.7.2 Installation de versions différentes	74
2.7.3 Utilisation du même binaire qu'une autre instance	74
2.7.4 Démarrage et arrêt des instances avec mysqld_multi	75
<b>3. Installation sous Windows</b>	<b>78</b>

3.1 Utilisation de l'installateur	78
3.2 Installation avec les binaires	81
3.3 Démarrage du serveur	82
3.3.1 Service	82
3.3.2 Invocation directe de mysqld	83
3.4 Arrêt du serveur	83
3.4.1 Service	83
3.4.2 mysqladmin	83
3.4.3 Gestionnaire des tâches	84
3.5 Résolution des problèmes d'installation	84
3.5.1 Droits insuffisants	84
3.5.2 Conflit avec une installation existante	84
3.5.3 Problèmes dans les chemins	84
3.6 Sécurisation de l'installation	85
3.7 Installation de plusieurs instances	85
3.7.1 Précautions à prendre	85
3.7.2 Versions différentes	85
3.7.3 Utilisation du même binaire	86
<b>4. Installations de test avec Docker</b>	<b>86</b>
4.1 Introduction	86

4.2 Installation	87
4.3 Utilisation	88
<b>5. Mise à jour de MySQL</b>	<b>89</b>
5.1 Précautions à prendre avant la mise à jour	89
5.1.1 Sauts de version	89
5.1.2 Changements apportés par une version	90
5.1.3 Sauvegarde des données	90
5.2 Processus de mise à jour	91
5.2.1 Stratégies possibles	91
5.2.2 Mise à jour des binaires	92
5.2.3 Vérification des tables	92
5.3 Vérifications après la mise à jour	92
<b>6. Installation des outils utilisés dans l'ouvrage</b>	<b>93</b>
6.1 Installation de la base world	93
6.2 Installation de la base sakila	94
<b>7. Installation du Percona Toolkit</b>	<b>95</b>

Configuration du serveur

<b>1. Introduction</b>	<b>97</b>
<b>2. Généralités</b>	<b>98</b>
2.1 Fichier de configuration	98
2.2 Structure du fichier de configuration	99
2.3 Paramétrage dynamique du serveur	101
2.3.1 Changement pour la session	101
2.3.2 Changement global	103
<b>3. Visualisation de la configuration</b>	<b>105</b>
<b>4. Configuration d'InnoDB</b>	<b>107</b>
4.1 Paramètres essentiels	107
4.2 Isolation et durabilité	110
4.2.1 Réglage de l'isolation	110
4.2.2 Réglage de la durabilité	112
4.3 Autres paramètres	113
<b>5. La journalisation</b>	<b>115</b>
5.1 Le journal binaire	115
5.2 Le journal des requêtes lentes	122
5.3 Le journal des erreurs	126

5.4 Le journal général	128
5.5 Rotation des journaux	129
5.6 Bonnes pratiques	129
5.6.1 Configuration	129
5.6.2 Surveiller l'utilisation du disque	130
5.6.3 Impact sur les performances	130
<b>6. Le mode SQL</b>	<b>130</b>
6.1 Les modes usuels	131
6.2 Les combinaisons de modes	135
6.3 Mode SQL par défaut	135
<b>7. Autres paramètres à configurer</b>	<b>137</b>
7.1 Autres variables	137
7.1.1 Nombre de connexions simultanées	137
7.1.2 Caches de table	137
7.1.3 Cache de threads	138
7.1.4 Paramètres MyISAM	139
7.2 Paramètres à ne pas modifier	140

## Sécurité et gestion des utilisateurs



<b>1. Introduction</b>	<b>141</b>
<b>2. Sécurisation du serveur</b>	<b>142</b>
2.1 Sécurisation de l'installation	142
2.1.1 Contrôler les droits	142
2.1.2 Ajouter un mot de passe au compte utilisateur root	143
2.1.3 Supprimer les comptes anonymes	144
2.1.4 Supprimer le schéma test	145
2.1.5 Sécuriser votre installation avec l'outil mysql_secure_installation	145
2.2 Chiffrement des données	146
2.3 Utilisation de SSL/TLS	149
2.4 Options liées à la sécurité	150
2.4.1 skip-networking	150
2.4.2 bind-address	151
2.4.3 skip-name-resolve	152
2.4.4 skip-show-database	153
2.4.5 secure-file-priv	154
<b>3. Gestion des comptes utilisateurs</b>	<b>154</b>
3.1 Introduction	154
3.2 Comptes utilisateurs	156
3.2.1 Créer un compte	

3.2.2 Modifier le mot de passe	156
3.2.3 Utilitaire de configuration des mots de passe	158
3.2.4 Récupérer le mot de passe administrateur	158
3.3 Rôles	160
3.4 Attribution des droits	161
3.4.1 Les droits d'administration	164
3.4.2 Les droits au niveau des schémas	165
3.4.3 Les droits au niveau des tables	166
3.4.4 Les droits au niveau des colonnes	167
3.4.5 Les droits pour les routines stockées	168
3.4.6 Limitation de l'utilisation des ressources	169
3.4.7 Visualisation des droits	170
3.4.8 Prise d'effet des droits	171
3.4.9 Suppression des droits	171
3.4.10 Bonnes pratiques de la gestion des droits	173
3.4.11 Sécurisation des vues et des routines stockées	175
<b>4. Plugins de sécurité avancée</b>	<b>176</b>
4.1 Validation des mots de passe	177
4.2 Expiration du mot de passe	180
4.3 Contrôle des connexions	

182

## Sauvegarde et restauration

### 1. Généralités

**183**

#### 1.1 Introduction

183

#### 1.2 Différents types de sauvegarde

185

##### 1.2.1 Sauvegarde logique

185

##### 1.2.2 Sauvegarde physique

186

##### 1.2.3 Sauvegarde complète/incrémentale

187

#### 1.3 Autres facteurs influençant la sauvegarde

189

##### 1.3.1 Réplication

189

##### 1.3.2 Moteurs de stockage

191

##### 1.3.3 Utilisation combinée de MyISAM et InnoDB

192

#### 1.4 Restauration

193

### 2. En pratique

**194**

#### 2.1 Import/export manuel

194

#### 2.2 mysqldump

198

#### 2.3 Percona XtraBackup

204

#### 2.4 Autres solutions

206

##### 2.4.1 mysqlpump

206

2.4.2 mydumper	206
2.4.3 Snapshots (clichés)	207

## Optimisation

<b>1. Matériel et système d'exploitation</b>	<b>209</b>
1.1 Processeur	209
1.2 Mémoire vive	211
1.3 Disque dur	213
1.3.1 Éléments de choix	213
1.3.2 RAID	213
1.3.3 SSD	215
1.4 Système d'exploitation	216
<b>2. Optimisation du schéma</b>	<b>216</b>
2.1 Types de données	216
2.1.1 Principes généraux	216
2.1.2 Nombres	217
2.1.3 Chaînes de caractères	218
2.1.4 Données binaires	222
2.1.5 Dates et heures	222

2.1.6 ENUM et SET	223
2.1.7 JSON	224
2.2 Normalisation	225
2.2.1 Rôle de la normalisation	225
2.2.2 Première forme normale	225
2.2.3 Deuxième forme normale	227
2.2.4 Troisième forme normale	229
2.2.5 Résumé des avantages de la normalisation	232
2.2.6 Inconvénients de la normalisation	232
2.3 Dénormalisation	233
2.4 Modification du schéma en production	234
<b>3. Indexation</b>	<b>237</b>
3.1 Généralités sur les index	237
3.1.1 Rôle d'un index	237
3.1.2 Clés et index	238
3.1.3 Colonnes pouvant bénéficier d'un index	238
3.1.4 Création/suppression d'un index	239
3.1.5 Quelles colonnes indexer ?	240
3.2 Types d'index	241
3.2.1 Index uniques	241

3.2.2 Clés primaires	242
3.2.3 Index non uniques	243
3.2.4 Index sur plusieurs colonnes	243
3.2.5 Index sur un préfixe de colonne	244
3.2.6 Index redondants	245
3.2.7 Clés étrangères	249
3.2.8 Index invisibles	251
3.3 Notions avancées	252
3.3.1 Index B-Tree	252
3.3.2 Index hash	258
3.3.3 Autres algorithmes d'indexation	260
3.3.4 Sélectivité et distribution des valeurs	260
3.3.5 Index cluster InnoDB	264
3.3.6 Index couvrant	267
<b>4. La commande EXPLAIN</b>	<b>269</b>
4.1 Rôle	269
4.2 Accès aux données	270
4.2.1 Accès séquentiel ou aléatoire	270
4.2.2 Accès en mémoire ou sur disque	270
4.2.3 En résumé	271

4.3 Lire le plan d'exécution	272
4.3.1 Exemple simple	272
4.3.2 Jointures	273
4.3.3 Unions	273
4.3.4 Sous-requêtes	274
4.4 Colonnes principales	278
4.4.1 Types d'accès aux données	278
4.4.2 Index examinés	281
4.4.3 Nombre de lignes parcourues	282
4.4.4 La colonne filtered	284
4.4.5 La colonne Extra	285
4.5 EXPLAIN EXTENDED	286
<b>5. Optimisation des requêtes</b>	<b>287</b>
5.1 Isolation des colonnes	287
5.2 Jointures	288
5.3 Filtrages	292
5.4 Tris	293
5.5 Agrégations	294
5.6 Réécriture de requêtes	295
5.7 Utilisation de plusieurs index	295

5.8 Autres techniques	296
<b>6. Autres optimisations</b>	<b>297</b>
6.1 Index Condition Pushdown	297
6.2 Multi Range Read	299
<b>7. Maintenance des tables</b>	<b>300</b>
7.1 Mise à jour des statistiques d'index	300
7.2 Défragmentation des tables	301
7.3 Autres commandes	302
Réplication	
<b>1. Généralités sur la réplication</b>	<b>303</b>
1.1 Utilité de la réplication	304
1.2 Fonctionnement de la réplication	305
1.3 Formats de réplication	306
<b>2. Mise en place de la réplication</b>	<b>309</b>
2.1 Réplication maître-esclave(s)	309
2.1.1 Configuration	309
2.1.2 Forces et faiblesses de cette configuration	312



2.2 Réplication maître-maître	312
2.2.1 Configuration	313
2.2.2 Forces et faiblesses de cette configuration	314
2.3 Réplication sur plusieurs niveaux	317
2.3.1 Configuration	318
2.3.2 Forces et faiblesses de cette configuration	318
2.4 Principales variables	319
<b>3. Résolution des problèmes opérationnels courants</b>	<b>321</b>
3.1 Empêcher la réplication de certaines requêtes	321
3.2 Non-réplication d'une requête	323
3.3 Éviter le retard de réplication	324
3.4 Corriger une erreur de réplication	325
3.5 Récupérer l'espace disque des journaux binaires	327
3.6 Supprimer la configuration de réplication	328
3.7 Vérifier la cohérence des données entre maître et esclaves	329
3.8 Quelques commandes utiles	330
3.8.1 SHOW SLAVE STATUS	330
3.8.2 START/STOP SLAVE {IO_THREAD SQL_THREAD}	332
3.8.3 RESET MASTER	334
<b>4. Réplication et scalabilité</b>	

	<b>335</b>
4.1 Scalabilité en lecture	335
4.2 Scalabilité en écriture	336
<b>5. Fonctionnalités avancées</b>	<b>337</b>
5.1 Identifiants de transaction	337
5.2 Réplication parallèle	339
5.3 Réplication multisource	340
5.3.1 Introduction	340
5.3.2 Mise en place	341
5.4 Réplication semi-synchrone	342
5.4.1 Introduction	342
5.4.2 Mise en place	343
5.4.3 Améliorations à partir de MySQL 5.7	346
5.5 Réplication retardée	347
Haute disponibilité	
<b>1. Introduction</b>	<b>349</b>
<b>2. Utilisation de la réplication classique</b>	<b>350</b>
2.1 Mécanisme de promotion d'un esclave	350

2.2 Automatisation de la promotion	356
------------------------------------	-----

### **3. Réplication de groupe et InnoDB Cluster** **357**

3.1 Introduction	357
3.2 Bénéfices/limitations	358
3.3 Réplication virtuellement synchrone	359
3.4 Écritures sur plusieurs nœuds	361
3.5 Le flow control	362
3.6 Choix du nombre de nœuds	364
3.7 Nœuds géographiquement éloignés	366
3.8 Mise en place	366
3.9 InnoDB Cluster	370

## Support JSON et Document Store

### **1. Colonnes générées** **373**

1.1 Introduction	373
1.2 Colonnes virtuelles	374
1.3 Colonnes persistantes	375

### **2. Support JSON** **376**

2.1 Le type de données JSON	
-----------------------------	--

	376
<b>3. Exemple d'opérations sur des colonnes JSON</b>	<b>378</b>
3.1 Indexation	379
<b>4. Document Store</b>	<b>379</b>
4.1 SQL et NoSQL	379
4.2 Installation et vocabulaire associé	382
4.2.1 Installation du Document Store	382
4.2.2 Installation du MySQL Shell	383
4.2.3 Collections et documents	384
4.2.4 La base exemple world_x	385
4.3 Exemple d'utilisation	385
Autres fonctionnalités	
<b>1. Partitionnement</b>	<b>391</b>
1.1 Intérêt et limitations	391
1.1.1 Gestion des gros volumes	391
1.1.2 Partition pruning	392
1.1.3 Suppression rapide d'un gros volume de données	392
1.1.4 Limitations	394

1.2 Types de partitionnement	396
1.2.1 Le partitionnement de type RANGE	397
1.2.2 Le partitionnement de type RANGE COLUMNS	400
1.2.3 Le partitionnement de type LIST	401
1.2.4 Le partitionnement de type LIST COLUMNS	403
1.2.5 Le partitionnement de type HASH	405
1.2.6 Le partitionnement de type KEY	409
1.2.7 Les variantes LINEAR HASH/KEY	411
1.2.8 Choix explicite d'une partition	414
1.2.9 Sous-partitionnement	415
1.2.10 Fonctions du partitionnement	419
1.2.11 Import et export d'une partition dans une table	421
1.3 Gestion du partitionnement	425
1.4 Maintenance	429
<b>2. Routines stockées</b>	<b>430</b>
2.1 Rôle	430
2.2 Syntaxe	432
2.2.1 Procédures stockées	432
2.2.2 Fonctions stockées	438
2.3 Utilisation	440

2.4 Métadonnées	443
2.5 Restrictions	446
<b>3. Déclencheurs (triggers)</b>	<b>447</b>
3.1 Rôle	447
3.2 Syntaxe	447
3.3 Restrictions	450
<b>4. Événements</b>	<b>451</b>
4.1 Rôle	451
4.2 Syntaxe	452
4.3 Restrictions	456
<b>5. Vues</b>	<b>456</b>
5.1 Rôle	456
5.2 Syntaxe	458
<b>6. Nouvelles fonctionnalités de MySQL 8.0</b>	<b>464</b>
6.1 Fonctions de fenêtrage	464
6.2 Requêtes avec WITH (Common Table Expressions)	467

Outils de surveillance

<b>1. Introduction</b>	<b>471</b>
<b>2. Accès aux métadonnées</b>	<b>472</b>
2.1 Commandes spécifiques MySQL	472
2.1.1 Commandes SHOW	472
2.1.2 Commande DESCRIBE	474
2.2 Base information_schema	475
<b>3. Outils de base pour la surveillance</b>	<b>477</b>
3.1 SHOW PROCESSLIST	477
3.2 SHOW GLOBAL STATUS	478
3.3 SHOW ENGINE INNODB STATUS	482
3.3.1 SEMAPHORES	483
3.3.2 LAST FOREIGN KEY ERROR	483
3.3.3 LAST DETECTED DEADLOCK	483
3.3.4 TRANSACTIONS	483
3.3.5 FILE I/O	484
3.3.6 INSERT BUFFER AND ADAPTATIVE HASH INDEX	484
3.3.7 LOG	484
3.3.8 BUFFER POOL AND MEMORY	484
3.3.9 ROW OPERATIONS	484

<b>4. Performance Schema</b>	<b>485</b>
4.1 Rôle	485
4.2 Configuration	486
4.3 Schéma sys	487
<b>5. Identification des problèmes de requêtes</b>	<b>489</b>
5.1 Requêtes lentes	489
5.2 Deadlocks	492
<b>6. Outils de surveillance du système</b>	<b>495</b>
6.1 Cacti	495
6.2 Grafana	495
6.3 Nagios	496
6.4 Identification des problèmes système sous Linux	496
6.4.1 vmstat	496
6.4.2 iostat	498
6.4.3 mpstat	499
<b>Index</b>	<b>501</b>