

Formation DEV42

Développement avancé



25.07

Table des matières

Sur ce document	1
Chers lectrices & lecteurs, ...	1
À propos de DALIBO	1
Remerciements	2
Forme de ce manuel	2
Licence Creative Commons CC-BY-NC-SA	2
Marques déposées	3
Versions de PostgreSQL couvertes	3
1/ SQL pour l'analyse de données	5
1.1 Préambule	6
1.1.1 Menu	6
1.1.2 Objectifs	6
1.2 Agrégats	7
1.2.1 Agrégats avec GROUP BY	8
1.2.2 GROUP BY : principe	10
1.2.3 GROUP BY : exemples	10
1.2.4 Agrégats et ORDER BY	11
1.2.5 Utiliser ORDER BY avec un agrégat	12
1.3 Clause FILTER	13
1.3.1 Filtrer avec <code>CASE</code>	13
1.3.2 Filtrer avec FILTER	13
1.4 Fonctions de fenêtrage	15
1.4.1 Regroupement	16
1.4.2 Regroupement : exemple	17
1.4.3 Regroupement : principe	17
1.4.4 Regroupement : syntaxe	18
1.4.5 Tri	18
1.4.6 Tri : exemple	18
1.4.7 Tri : exemple avec une somme	19
1.4.8 Tri : principe	20
1.4.9 Tri : syntaxe	20
1.4.10 Regroupement et tri	21
1.4.11 Regroupement et tri : exemple	21
1.4.12 Regroupement et tri : principe	22
1.4.13 Regroupement et tri : syntaxe	23
1.4.14 Fonctions analytiques	23
1.4.15 <code>lead()</code> et <code>lag()</code>	24
1.4.16 <code>lead()</code> et <code>lag()</code> : exemple	24

1.4.17	<code>lead()</code> et <code>lag()</code> : principe	25
1.4.18	<code>first/last/nth_value</code>	25
1.4.19	<code>first</code> / <code>last</code> / <code>nth_value</code> : exemple	26
1.4.20	Clause <code>WINDOW</code>	27
1.4.21	Clause <code>WINDOW</code> : syntaxe	28
1.4.22	Définition de la fenêtre	28
1.4.23	Définition de la fenêtre : RANGE	28
1.4.24	Définition de la fenêtre : ROWS	29
1.4.25	Définition de la fenêtre : <code>GROUPS</code>	29
1.4.26	Définition de la fenêtre : <code>EXCLUDE</code>	30
1.4.27	Définition de la fenêtre : exemple	30
1.5	WITHIN GROUP	31
1.5.1	<code>WITHIN GROUP</code> : exemple	31
1.6	Grouping Sets	32
1.6.1	GROUPING SETS : jeu de données	32
1.6.2	GROUPING SETS : exemple visuel	34
1.6.3	GROUPING SETS : exemple ordre sql	34
1.6.4	GROUPING SETS : équivalent	35
1.6.5	ROLLUP	36
1.6.6	ROLLUP : exemple visuel	36
1.6.7	ROLLUP : exemple ordre sql	36
1.6.8	CUBE	39
1.6.9	CUBE : exemple visuel	39
1.6.10	CUBE : exemple ordre sql	40
1.7	Travaux pratiques	43
1.8	Travaux pratiques (solutions)	45
2/	Types avancés	55
2.1	UUID	56
2.1.1	UUID : principe	56
2.1.2	UUID : avantages	57
2.1.3	UUID : inconvénients	58
2.1.4	UUID : utilisation sous PostgreSQL	59
2.1.5	UUID : une indexation facile	62
2.1.6	UUID : résumé	62
2.2	Types tableaux	64
2.2.1	Tableaux : principe	64
2.2.2	Tableaux : recherche de valeurs	65
2.2.3	Tableaux : performances	66
2.2.4	Tableaux : indexation	68
2.3	Types composés	71
2.3.1	Types composés : généralités	71

2.4	hstore	73
2.4.1	hstore : principe	73
2.4.2	hstore : exemple	73
2.5	JSON	75
2.5.1	JSON & PostgreSQL	75
2.5.2	Type json	76
2.5.3	Type jsonb	77
2.5.4	Validation du format JSON	77
2.5.5	JSON : Exemple d'utilisation	80
2.5.6	JSON : construction	81
2.5.7	JSON : Affichage des attributs	81
2.5.8	Modifier un JSON	83
2.5.9	JSON, tableaux et agrégation	84
2.5.10	Conversions jsonb / relationnel (1)	87
2.5.11	Conversions jsonb / relationnel (2) : JSON_TABLE	90
2.5.12	JSON : performances	94
2.5.13	Recherche dans un champ JSON (1)	95
2.5.14	Recherche dans un champ JSON (2) : SQL/JSON et JSONPath	96
2.5.15	Recherche dans un champ JSON (3) : Exemples SQL/JSON & JSONPath	96
2.5.16	jsonb : indexation (1/2)	98
2.5.17	jsonb : indexation (2/2)	99
2.5.18	Pour aller plus loin....	100
2.6	XML	101
2.6.1	XML : présentation	101
2.7	Objets binaires	103
2.7.1	Objets binaires : les types	103
2.7.2	bytea	103
2.7.3	Large Object	105
2.8	Quiz	107
2.9	Travaux pratiques	108
2.9.1	UUID	108
2.9.2	jsonb	109
2.9.3	Large Objects	112
2.10	Travaux pratiques (solutions)	113
2.10.1	UUID	113
2.10.2	jsonb : lecture de champs	123
2.10.3	jsonb : index GIN jsonb_path_ops	125
2.10.4	jsonb et tableaux	127
2.10.5	Accès JSONPath	129
2.10.6	Index fonctionnel, colonne générée et JSON	132
2.10.7	jsonb et mise à jour	136
2.10.8	Large Objects	139

3/ PL/pgSQL : les bases	141
3.1 Préambule	142
3.1.1 Au menu	142
3.1.2 Objectifs	142
3.2 Introduction	143
3.2.1 Qu'est-ce qu'un PL?	143
3.2.2 Quels langages PL sont disponibles?	143
3.2.3 Langages <i>trusted</i> vs <i>untrusted</i>	144
3.2.4 Les langages PL de PostgreSQL	144
3.2.5 Intérêts de PL/pgSQL en particulier	146
3.2.6 Les autres langages PL ont toujours leur intérêt	146
3.2.7 Routines / Procédures stockées / Fonctions	148
3.3 Installation	149
3.3.1 Installation des binaires nécessaires	149
3.3.2 Activer un langage	150
3.4 Exemples de fonctions & procédures	151
3.4.1 Fonction PL/pgSQL simple	151
3.4.2 Exemple de fonction SQL	151
3.4.3 Exemple de fonction PL/pgSQL utilisant la base	153
3.4.4 Exemple de fonction PL/Perl complexe	153
3.4.5 Exemple de fonction PL/pgSQL complexe	155
3.4.6 Exemple de procédure	156
3.4.7 Exemple de bloc anonyme en PL/pgSQL	157
3.5 Utiliser une fonction ou une procédure	158
3.5.1 Invocation d'une fonction ou procédure	158
3.6 Contrôle transactionnel dans les procédures	160
3.7 Création et maintenance des fonctions et procédures	162
3.7.1 Création	162
3.7.2 Structure d'une routine PL/pgSQL	163
3.7.3 Structure d'une routine PL/pgSQL (suite)	163
3.7.4 Blocs nommés	164
3.7.5 Modification du code d'une routine	164
3.7.6 Modification des méta-données d'une routine	165
3.7.7 Suppression d'une routine	165
3.7.8 Utilisation des guillemets	165
3.8 Paramètres et retour des fonctions et procédures	167
3.8.1 Version minimaliste	167
3.8.2 Paramètres IN, OUT, INOUT & retour	167
3.8.3 Type en retour : 1 valeur simple	168
3.8.4 Type en retour : 1 ligne, plusieurs champs (exemple)	168
3.8.5 Type en retour : 1 ligne, plusieurs champs	169
3.8.6 Retour multiligne	170
3.8.7 Gestion des valeurs NULL	173
3.9 Variables en PL/pgSQL	174
3.9.1 Clause DECLARE	174

3.9.2	Constantes	175
3.9.3	Types de variables	175
3.9.4	Type ROW - 1	175
3.9.5	Type ROW - 2	176
3.9.6	Type RECORD	176
3.9.7	Type RECORD : exemple	177
3.10	Exécution de requête dans un bloc PL/pgSQL	178
3.10.1	Requête dans un bloc PL/pgSQL	178
3.10.2	Affectation d'une valeur à une variable	178
3.10.3	Exécution d'une requête	179
3.10.4	Exécution d'une requête sans besoin du résultat	180
3.11	SQL dynamique	182
3.11.1	EXECUTE d'une requête	182
3.11.2	EXECUTE & requête dynamique : injection SQL	182
3.11.3	EXECUTE & requête dynamique : 3 possibilités	183
3.11.4	EXECUTE & requête dynamique (suite)	184
3.11.5	Outils pour construire une requête dynamique	185
3.12	Structures de contrôle en PL/pgSQL	186
3.12.1	Tests conditionnels - 2	186
3.12.2	Tests conditionnels : CASE	186
3.12.3	Boucle LOOP/EXIT/CONTINUE : syntaxe	187
3.12.4	Boucle LOOP/EXIT/CONTINUE : exemple	187
3.12.5	Boucle WHILE	188
3.12.6	Boucle FOR : syntaxe	188
3.12.7	Boucle FOR ... IN ... LOOP : parcours de résultat de requête	188
3.12.8	Boucle FOREACH	189
3.13	Autres propriétés des fonctions	191
3.13.1	Politique de sécurité	191
3.13.2	Optimisation des fonctions	194
3.13.3	Parallélisation	194
3.14	Utilisation de fonctions dans les index	196
3.15	Conclusion	201
3.15.1	Pour aller plus loin	201
3.15.2	Questions	201
3.16	Quiz	202
3.17	Travaux pratiques	203
3.17.1	Hello	203
3.17.2	Division	203
3.17.3	SELECT sur des tables dans les fonctions	204
3.17.4	Multiplication	204
3.17.5	Salutations	205
3.17.6	Inversion de chaîne	205
3.17.7	Jours fériés	205
3.17.8	Index fonctionnels	207

3.18	Travaux pratiques (solutions)	208
3.18.1	Hello	208
3.18.2	Division	208
3.18.3	SELECT sur des tables dans les fonctions	210
3.18.4	Multiplication	211
3.18.5	Salutations	215
3.18.6	Inversion de chaîne	216
3.18.7	Jours fériés	217
3.18.8	Index fonctionnel	222
4/	PL/pgSQL avancé	225
4.1	Préambule	226
4.1.1	Au menu	226
4.1.2	Objectifs	226
4.2	Routines variadic	227
4.2.1	Routines variadic : introduction	227
4.2.2	Routines variadic : exemple	227
4.2.3	Routines variadic : exemple PL/pgSQL	228
4.3	Routines polymorphes	229
4.3.1	Routines polymorphes : introduction	229
4.3.2	Routines polymorphes : anyelement	229
4.3.3	Routines polymorphes : anyarray	230
4.3.4	Routines polymorphes : exemple	230
4.3.5	Routines polymorphes : tests	230
4.3.6	Routines polymorphes : problème	231
4.4	Fonctions trigger	232
4.4.1	Fonctions trigger : introduction	232
4.4.2	Fonctions trigger : variables (1/5)	232
4.4.3	Fonctions trigger : variables (2/5)	233
4.4.4	Fonctions trigger : variables (3/5)	233
4.4.5	Fonctions trigger : variables (4/5)	233
4.4.6	Fonctions trigger : variables (5/5)	234
4.4.7	Fonctions trigger : retour	235
4.4.8	Fonctions trigger : exemple - 1	236
4.4.9	Fonctions trigger : exemple - 2	236
4.4.10	Options de CREATE TRIGGER	236
4.4.11	Tables de transition	237
4.5	Curseurs	240
4.5.1	Curseurs : introduction	240
4.5.2	Curseurs : déclaration d'un curseur	240
4.5.3	Curseurs : ouverture d'un curseur	241
4.5.4	Curseurs : ouverture d'un curseur lié	241
4.5.5	Curseurs : récupération des données	242
4.5.6	Curseurs : récupération des données	242
4.5.7	Curseurs : modification des données	242

4.5.8	Curseurs : fermeture d'un curseur	243
4.5.9	Curseurs : renvoi d'un curseur	243
4.6	Gestion des erreurs	244
4.6.1	Gestion des erreurs : introduction	244
4.6.2	Gestion des erreurs : une exception	244
4.6.3	Gestion des erreurs : flot dans une fonction	244
4.6.4	Gestion des erreurs : flot dans une exception	245
4.6.5	Gestion des erreurs : codes d'erreurs	245
4.6.6	Messages d'erreurs : RAISE - 1	247
4.6.7	Messages d'erreurs : RAISE - 2	247
4.6.8	Messages d'erreurs : configuration des logs	247
4.6.9	Messages d'erreurs : RAISE EXCEPTION - 1	248
4.6.10	Messages d'erreurs : RAISE EXCEPTION - 2	248
4.6.11	Flux des erreurs dans du code PL	248
4.6.12	Flux des erreurs dans du code PL - 2	249
4.6.13	Flux des erreurs dans du code PL - 3	250
4.6.14	Flux des erreurs dans du code PL - 4	251
4.6.15	Abus des exceptions	252
4.7	Sécurité	253
4.7.1	Sécurité : droits	253
4.7.2	Sécurité : ajout	253
4.7.3	Sécurité : suppression	253
4.7.4	Sécurité : SECURITY INVOKER/DEFINER	254
4.7.5	Sécurité : LEAKPROOF	254
4.7.6	Sécurité : visibilité des sources - 1	255
4.7.7	Sécurité : visibilité des sources - 2	255
4.7.8	Sécurité : Injections SQL	255
4.8	Optimisation	258
4.8.1	Fonctions immutables, stables ou volatiles - 1	258
4.8.2	Fonctions immutables, stables ou volatiles - 2	258
4.8.3	Fonctions immutables, stables ou volatiles - 3	260
4.8.4	Optimisation : rigueur	260
4.8.5	Optimisation : EXCEPTION	261
4.8.6	Requête statique ou dynamique?	261
4.8.7	Requête statique ou dynamique? - 2	262
4.8.8	Requête statique ou dynamique? -3	262
4.9	Outils	264
4.9.1	pldebugger	264
4.9.2	pldebugger - Compilation	264
4.9.3	pldebugger - Activation	265
4.9.4	auto_explain	266
4.9.5	pldebugger - Utilisation	270
4.9.6	log_functions	271
4.9.7	log_functions - Compilation	272
4.9.8	log_functions - Activation	273

4.9.9	log_functions - Configuration	273
4.9.10	log_functions - Utilisation	274
4.10	Conclusion	275
4.10.1	Pour aller plus loin	275
4.10.2	Questions	275
4.11	Travaux pratiques	276
4.11.1	Exceptions	276
4.11.2	Triggers	276
4.11.3	Curseur	277
4.12	Travaux pratiques (solutions)	278
4.12.1	Exceptions	278
4.12.2	Triggers	279
4.12.3	Curseur	289
5/	Extensions PostgreSQL pour l'utilisateur	293
5.1	Qu'est-ce qu'une extension ?	294
5.2	Administration des extensions	295
5.2.1	Installation des extensions	295
5.3	Contribs - Fonctionnalités	297
5.4	Quelques extensions	298
5.4.1	pgcrypto	298
5.4.2	hstore : stockage clé/valeur	299
5.4.3	PostgreSQL Anonymizer	299
5.4.4	PostGIS	301
5.4.5	Mais encore...	302
5.4.6	Autres extensions connues	302
5.5	Extensions pour de nouveaux langages	303
5.6	Accès distants	304
5.7	Contribs orientés DBA	305
5.8	PGXN	306
5.9	Créer son extension	310
5.10	Conclusion	311
5.10.1	Questions	311
5.11	Travaux pratiques	312
5.11.1	Masquage statique de données avec PostgreSQL Anonymizer	312
5.11.2	Masquage dynamique de données avec PostgreSQL Anonymizer	313
5.12	Travaux pratiques (solutions)	314
5.12.1	Masquage statique de données avec PostgreSQL Anonymizer	314
5.12.2	Masquage dynamique de données avec PostgreSQL Anonymizer	315
6/	Partitionnement sous PostgreSQL	319
6.1	Principe & intérêts du partitionnement	320
6.1.1	Pourquoi partitionner?	320
6.2	Partitionnement applicatif	322
6.2.1	Partitionnement applicatif	322

6.3	Partitionnement par héritage	323
6.3.1	Partitionnement par héritage	323
6.4	Partitionnement déclaratif	328
6.4.1	Partitionnement déclaratif	328
6.4.2	Partitionnement par liste	329
6.4.3	Partitionnement par liste : implémentation	329
6.4.4	Partitionnement par intervalle	331
6.4.5	Partitionnement par intervalle : implémentation	331
6.4.6	Partitionnement par hachage	333
6.4.7	Partitionnement par hachage : principe	333
6.4.8	Clé de partitionnement multicolonne	334
6.4.9	Sous-partitionnement	336
6.4.10	Partition par défaut	338
6.4.11	Attacher une partition	339
6.4.12	Détacher une partition	341
6.4.13	Changer la définition d'une partition	341
6.4.14	Supprimer une partition	342
6.4.15	Fonctions de gestion et vues système	342
6.4.16	Clé primaire et clé de partitionnement	344
6.4.17	Indexation	349
6.4.18	Planification & performances	349
6.4.19	Opérations de maintenance	354
6.4.20	Sauvegardes	355
6.4.21	Limitations du partitionnement déclaratif et versions	356
6.5	Tables distantes & sharding	359
6.6	Extensions & outils	365
6.7	Conclusion	366
6.8	Quiz	367
6.9	Travaux pratiques	368
6.9.1	Partitionnement	368
6.9.2	Partitionner pendant l'activité	369
6.10	Travaux pratiques (solutions)	372
6.10.1	Partitionnement	372
6.10.2	Partitionner pendant l'activité	375
7/	Connexions distantes	383
7.1	Accès à distance à d'autres sources de données	384
7.2	SQL/MED	385
7.2.1	Objets proposés par SQL/MED	385
7.2.2	Foreign Data Wrapper	386
7.2.3	Fonctionnalités disponibles pour un FDW (1/2)	387
7.2.4	Fonctionnalités disponibles pour un FDW (2/2)	388
7.2.5	Foreign Server	388
7.2.6	User Mapping	389
7.2.7	Foreign Table	389

7.2.8	Exemple : file_fdw	390
7.2.9	Exemple : postgres_fdw	391
7.2.10	SQL/MED : Performances	394
7.2.11	SQL/MED : héritage	395
7.3	dblink	401
7.4	PL/Proxy	403
7.5	Conclusion	404
7.6	Travaux pratiques	405
7.6.1	Foreign Data Wrapper sur un fichier	405
7.6.2	Foreign Data Wrapper sur une autre base	405
7.7	Travaux pratiques (solutions)	406
7.7.1	Foreign Data Wrapper sur un fichier	406
7.7.2	Foreign Data Wrapper sur une autre base	406
8/	Fonctionnalités avancées pour la performance	409
8.1	Préambule	410
8.1.1	Au menu	410
8.2	Tables temporaires	411
8.2.1	Tables temporaires : utilité	411
8.2.2	Tables temporaires : limites et paramétrage	411
8.3	Tables non journalisées (unlogged)	414
8.3.1	Tables non journalisées : utilité	414
8.3.2	Tables non journalisées : mise en place	415
8.3.3	Basculer d'une table en/depuis unlogged	415
8.4	Colonnes générées	416
8.4.1	Colonnes générées : principe	416
8.4.2	Colonnes générées vs DEFAULT	416
8.5	JIT	420
8.5.1	JIT : la compilation à la volée	420
8.5.2	JIT : qu'est-ce qui est compilé ?	421
8.5.3	JIT : algorithme « naïf »	422
8.5.4	Quand le JIT est-il utile ?	423
8.6	Recherche plein texte	424
8.6.1	Full Text Search : principe	424
8.6.2	Full Text Search : exemple	425
8.6.3	Full Text Search : dictionnaires	427
8.6.4	Full Text Search : stockage & indexation	430
8.6.5	Full Text Search sur du JSON	432
8.7	Quiz	434
8.8	Travaux pratiques	435
8.8.1	Tables non journalisées	435
8.8.2	Indexation Full Text	436
8.9	Travaux pratiques (solutions)	437
8.9.1	Tables non journalisées	437
8.9.2	Indexation Full Text	440

9/ Masquage de données & postgresql_anonymizer	443
9.1 Cas d'usage	444
9.1.1 Objectifs	444
10/ PostgreSQL Anonymizer	445
10.0.1 Principe	445
10.0.2 4 méthodes de masquage	445
11/ Prérequis	447
11.1 Installation	448
11.1.1 Sous Rocky Linux 8	448
11.1.2 Sous Debian / Ubuntu	448
11.2 Base d'exemple	450
11.2.1 Ouverture des accès	450
11.2.2 Activer l'extension	451
12/ Masquage statique	453
12.1 L'histoire	454
12.2 Comment ça marche?	455
12.3 Objectifs	456
12.4 Table « customer »	457
12.4.1 Quelques clients	457
12.5 Table « payout »	458
12.5.1 Quelques données	458
12.6 Déclarer et appliquer les règles de masquage	459
12.7 Déclarer les règles de masquage	460
12.8 Appliquer les règles de manière permanente	461
12.9 Gestion des SECURITY LABEL	462
12.10 Exercices	463
12.10.1 E101 - Masquer les prénoms des clients	463
12.10.2 E102 - Masquer les 3 derniers chiffres du code postal	463
12.10.3 E103 - Compter le nombre de clients dans chaque département.	463
12.10.4 E104 - Ne garder que l'année dans les dates de naissance	463
12.10.5 E105 - Identifier un client particulier	463
12.11 Solutions	465
12.11.1 S101	465
12.11.2 S102	465
12.11.3 S103	465
12.11.4 S104	466
12.11.5 S105	466
13/ Masquage dynamique	469
13.1 Principe du masquage dynamique	470
13.2 L'histoire	471
13.3 Comment ça marche	472
13.4 Objectifs de la section	473

13.5	Table « company »	474
13.5.1	Quelques données	474
13.6	Table « supplier »	475
13.6.1	Quelques données	475
13.7	Activer l'extension	476
13.8	Activer le masquage dynamique	477
13.9	Rôle masqué	478
13.10	Lister les rôles masqués	479
13.11	Masquer le nom des fournisseurs	480
13.12	Exercices	481
13.12.1	E201 - Deviner qui est le PDG de « Johnny's Shoe Store »	481
13.12.2	E202 - Anonymiser les sociétés	481
13.12.3	E203 - Pseudonymiser le nom des sociétés	481
13.13	Solutions	483
13.13.1	S201	483
13.13.2	S202	483
13.13.3	S203	484
14/	Sauvegardes anonymes	485
14.1	L'histoire	486
14.2	Comment ça marche?	487
14.3	Objectifs	488
14.4	Table « website_comment »	489
14.4.1	Quelques données	489
14.5	Activer l'extension	490
14.6	Masquer une colonne de type JSON	491
14.6.1	Fonctions de masquage personnalisées	491
14.6.2	Utilisation de la fonction de masquage personnalisée	492
14.6.3	Sauvegarde anonymisée (1/2)	492
14.6.4	Sauvegarde anonymisée (2/2)	493
14.7	Exercices	494
14.7.1	E301 - Exporter les données anonymisées dans une nouvelle base de données	494
14.7.2	E302 - Pseudonymiser les métadonnées du commentaire	494
14.8	Solutions	495
14.8.1	S301	495
14.8.2	S302	495
15/	Vues de masquage	497
15.1	Principe	498
15.1.1	Généralisation	498
15.2	L'histoire	499
15.3	Comment ça marche?	500
15.4	Objectifs	501
15.5	Table « employee »	502
15.6	Quelques données	503
15.7	Suppression de données	504

15.8	Calculer le k-anonymat	505
15.9	Fonctions d'intervalle et de généralisation	506
15.9.1	Déclarer les identifiants indirects	506
15.10	Exercices	508
15.10.1	E401 - Simplifier la vue v_staff_per_month pour en réduire la granularité.	508
15.10.2	E402 - Progression du personnel au fil des années	508
15.10.3	E403 - Atteindre le facteur 2-anonymity sur la vue v_staff_per_year	508
15.11	Solutions	509
15.11.1	S401	509
15.11.2	S402	509
15.11.3	S403	510
16/	Conclusion sur postgresql_anonymizer	511
16.1	Beaucoup de stratégies de masquage	512
16.2	Beaucoup de fonctions de masquage	513
16.3	Avantages	514
16.4	Limites	515
16.5	Échantillonnage	516
16.6	Contribuez!	517
16.7	Questions	518
17/	Pooling	519
17.1	Au menu	520
17.1.1	Objectifs	520
17.2	Pool de connexion	521
17.2.1	Serveur de pool de connexions	521
17.2.2	Serveur de pool de connexions	521
17.2.3	Intérêts du pool de connexions	522
17.2.4	Inconvénients du pool de connexions	523
17.3	Pooling de sessions	525
17.3.1	Pooling de sessions : principe	525
17.3.2	Intérêts du pooling de sessions	525
17.4	Pooling de transactions	527
17.4.1	Pooling de transactions : principe	527
17.4.2	Avantages & inconvénients du pooling de transactions	527
17.5	Pooling de requêtes	529
17.5.1	Pooling de requêtes : principe	529
17.5.2	Avantages & inconvénients du pooling de requêtes	529
17.6	Pooling avec PgBouncer	531
17.6.1	PgBouncer : Fonctionnalités	531
17.6.2	PgBouncer : Installation	532
17.6.3	PgBouncer : Fichier de configuration	532
17.6.4	PgBouncer : Connexions	533
17.6.5	PgBouncer : Définition des accès aux bases	534
17.6.6	PgBouncer : Définition par utilisateurs	535
17.6.7	PgBouncer : Authentification par fichier de mots de passe	535

17.6.8 PgBouncer : Authentification par délégation	536
17.6.9 PgBouncer : autre authentification	537
17.6.10 PgBouncer : Nombre de connexions	538
17.6.11 PgBouncer : Types de connexions	540
17.6.12 PgBouncer : Instructions préparées	541
17.6.13 PgBouncer : Durée de vie	542
17.6.14 PgBouncer : Traces	543
17.6.15 PgBouncer : Administration	543
17.7 Conclusion	547
17.7.1 Questions	547
17.8 Travaux pratiques	548
17.8.1 Pooling par session	548
17.8.2 Pooling par transaction	548
17.8.3 Pooling par requête	548
17.8.4 pgbench	549
17.9 Travaux pratiques (solutions)	550
17.9.1 Pooling par session	553
17.9.2 Pooling par transaction	553
17.9.3 Pooling par requête	556
17.9.4 Pgbench	556
Les formations Dalibo	561
Cursus des formations	561
Les livres blancs	562
Téléchargement gratuit	562

Sur ce document

Formation	Formation DEV42
Titre	Développement avancé
Révision	25.07
ISBN	N/A
PDF	https://dali.bo/dev42_pdf
EPUB	https://dali.bo/dev42_epub
HTML	https://dali.bo/dev42_html
Slides	https://dali.bo/dev42_slides

Vous trouverez en ligne les différentes versions complètes de ce document. Les solutions de TP ne figurent pas forcément dans la version imprimée, mais sont dans les versions numériques (PDF ou HTML).

Chers lectrices & lecteurs,

Nos formations PostgreSQL sont issues de nombreuses années d'études, d'expérience de terrain et de passion pour les logiciels libres. Pour Dalibo, l'utilisation de PostgreSQL n'est pas une marque d'opportunisme commercial, mais l'expression d'un engagement de longue date. Le choix de l'Open Source est aussi le choix de l'implication dans la communauté du logiciel.

Au-delà du contenu technique en lui-même, notre intention est de transmettre les valeurs qui animent et unissent les développeurs de PostgreSQL depuis toujours : partage, ouverture, transparence, créativité, dynamisme... Le but premier de nos formations est de vous aider à mieux exploiter toute la puissance de PostgreSQL mais nous espérons également qu'elles vous inciteront à devenir un membre actif de la communauté en partageant à votre tour le savoir-faire que vous aurez acquis avec nous.

Nous mettons un point d'honneur à maintenir nos manuels à jour, avec des informations précises et des exemples détaillés. Toutefois malgré nos efforts et nos multiples relectures, il est probable que ce document contienne des oublis, des coquilles, des imprécisions ou des erreurs. Si vous constatez un souci, n'hésitez pas à le signaler via l'adresse formation@dalibo.com¹ !

À propos de DALIBO

DALIBO est le spécialiste français de PostgreSQL. Nous proposons du support, de la formation et du conseil depuis 2005.

Retrouvez toutes nos formations sur <https://dalibo.com/formations>

¹<mailto:formation@dalibo.com>

Remerciements

Ce manuel de formation est une aventure collective qui se transmet au sein de notre société depuis des années. Nous remercions chaleureusement ici toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à cet ouvrage, notamment :

Alexandre Anriot, Jean-Paul Argudo, Carole Arnaud, Alexandre Baron, David Bidoc, Sharon Bonan, Franck Boudehen, Arnaud Bruniquel, Pierrick Chovelon, Damien Clochard, Christophe Courtois, Marc Cousin, Gilles Darold, Ronan Dunklau, Vik Fearing, Stefan Fercot, Dimitri Fontaine, Pierre Giraud, Nicolas Gollet, Nizar Hamadi, Florent Jardin, Virginie Jourdan, Luc Lamarle, Denis Laxalde, Guillaume Lelarge, Alain Lesage, Benoit Lobréau, Jean-Louis Louër, Thibaut Madelaine, Adrien Nayrat, Alexandre Pereira, Flavie Perette, Robin Portigliatti, Thomas Reiss, Maël Rimbault, Jehan-Guillaume de Rorthais, Julien Rouhaud, Stéphane Schildknecht, Julien Tachaires, Nicolas Thauvin, Be Hai Tran, Christophe Truffier, Arnaud de Vathaire, Cédric Villemain, Thibaud Walkowiak, Frédéric Yhuel.

Forme de ce manuel

Les versions PDF, EPUB ou HTML de ce document sont structurées autour des slides de nos formations. Le texte suivant chaque slide contient le cours et de nombreux détails qui ne peuvent être donnés à l'oral.

Licence Creative Commons CC-BY-NC-SA

Cette formation est sous licence **CC-BY-NC-SA**². Vous êtes libre de la redistribuer et/ou modifier aux conditions suivantes :

- Paternité
- Pas d'utilisation commerciale
- Partage des conditions initiales à l'identique

Vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales.

Si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci.

Vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre). À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. La meilleure manière de les indiquer est un lien vers cette page web. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur ou des auteurs.

Le texte complet de la licence est disponible sur <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/legalcode>

²<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/legalcode>

Cela inclut les diapositives, les manuels eux-mêmes et les travaux pratiques. Cette formation peut également contenir quelques images et schémas dont la redistribution est soumise à des licences différentes qui sont alors précisées.

Marques déposées

PostgreSQL® Postgres® et le logo Slonik sont des marques déposées³ par PostgreSQL Community Association of Canada.

Versions de PostgreSQL couvertes

Ce document ne couvre que les versions supportées de PostgreSQL au moment de sa rédaction, soit les versions 13 à 17.

Sur les versions précédentes susceptibles d'être encore rencontrées en production, seuls quelques points très importants sont évoqués, en plus éventuellement de quelques éléments historiques.

Sauf précision contraire, le système d'exploitation utilisé est Linux.

³<https://www.postgresql.org/about/policies/trademarks/>

1/ SQL pour l'analyse de données

1.1 PRÉAMBULE



- Analyser des données est facile avec PostgreSQL
 - opérations d'agrégation disponibles
 - fonctions OLAP avancées

1.1.1 Menu



- Agrégation de données
- Clause `FILTER`
- Fonctions `WINDOW`
- `GROUPING SETS`, `ROLLUP`, `CUBE`
- `WITHIN GROUPS`

1.1.2 Objectifs



- Écrire des requêtes encore plus complexes
- Analyser les données en amont
 - pour ne récupérer que le résultat

1.2 AGRÉGATS



- SQL dispose de fonctions de calcul d'agrégats
- Utilité :
 - calcul de sommes, moyennes, valeur minimale et maximale
 - nombreuses fonctions statistiques disponibles

À l'aide des fonctions de calcul d'agrégats, on peut réaliser un certain nombre de calculs permettant d'analyser les données d'une table.

La plupart des exemples utilisent une table `employes` définie telle que :

```
CREATE TABLE employes (
  matricule char(8) primary key,
  nom       text    not null,
  service   text,
  salaire   numeric(7,2)
);

INSERT INTO employes (matricule, nom, service, salaire)
VALUES ('00000001', 'Dupuis', 'Direction', 10000.00);
INSERT INTO employes (matricule, nom, service, salaire)
VALUES ('00000004', 'Fantasio', 'Courrier', 4500.00);
INSERT INTO employes (matricule, nom, service, salaire)
VALUES ('00000006', 'Prunelle', 'Publication', 4000.00);
INSERT INTO employes (matricule, nom, service, salaire)
VALUES ('00000020', 'Lagaffe', 'Courrier', 3000.00);
INSERT INTO employes (matricule, nom, service, salaire)
VALUES ('00000040', 'Lebrac', 'Publication', 3000.00);
```

```
SELECT * FROM employes ;
```

matricule	nom	service	salaire
00000001	Dupuis	Direction	10000.00
00000004	Fantasio	Courrier	4500.00
00000006	Prunelle	Publication	4000.00
00000020	Lagaffe	Courrier	3000.00
00000040	Lebrac	Publication	3000.00

(5 lignes)

Ainsi, on peut déduire le salaire moyen avec la fonction `avg()`, les salaires maximum et minimum versés par la société avec les fonctions `max()` et `min()`, ainsi que la somme totale des salaires versés avec la fonction `sum()` :

```
SELECT avg(salaire) AS salaire_moyen,
       max(salaire) AS salaire_maximum,
       min(salaire) AS salaire_minimum,
       sum(salaire) AS somme_salaires
FROM employes;
```

salaire_moyen	salaire_maximum	salaire_minimum	somme_salaires
4900.000000000000000000	10000.00	3000.00	24500.00

La base de données réalise les calculs sur l'ensemble des données de la table et n'affiche que le résultat du calcul.

Si l'on applique un filtre sur les données, par exemple pour ne prendre en compte que le service *Courrier*, alors PostgreSQL réalise le calcul uniquement sur les données issues de la lecture :

```
SELECT avg(salaire) AS salaire_moyen,
       max(salaire) AS salaire_maximum,
       min(salaire) AS salaire_minimum,
       sum(salaire) AS somme_salaires
FROM   employes
WHERE  service = 'Courrier';
```

salaire_moyen	salaire_maximum	salaire_minimum	somme_salaires
3750.000000000000000000	4500.00	3000.00	7500.00

(1 ligne)

En revanche, il n'est pas possible de référencer d'autres colonnes pour les afficher à côté du résultat d'un calcul d'agrégation à moins de les utiliser comme critère de regroupement avec `GROUP BY` :

```
SELECT avg(salaire), nom FROM employes;
```

ERROR: column "employes.nom" must appear in the GROUP BY clause or be used in an aggregate function

```
LIGNE 1 : SELECT avg(salaire), nom FROM employes;
                        ^
```

1.2.1 Agrégats avec GROUP BY



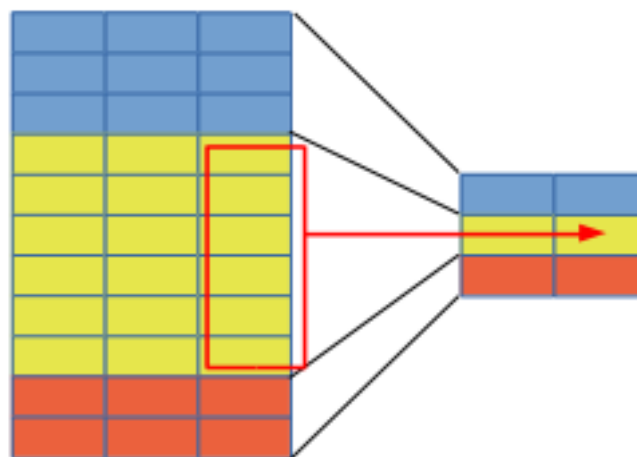
- agrégat + `GROUP BY`
- Utilité
 - effectue des calculs sur des regroupements : moyenne, somme, comptage, etc.
 - regroupement selon un critère défini par la clause `GROUP BY`
 - exemple : calcul du salaire moyen de chaque service

L'opérateur d'agrégat `GROUP BY` indique à la base de données que l'on souhaite regrouper les données selon les mêmes valeurs d'une colonne.

matricule	nom	service	salaire
00000004	Fantasio	Courrier	4500.00
00000020	Lagaffe	Courrier	3000.00
00000001	Dupuis	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	Publication	4000.00
00000040	Lebrac	Publication	3000.00

FIGURE 1/ .1 – Opérateur GROUP BY

Des calculs pourront être réalisés sur les données agrégées selon le critère de regroupement donné. Le résultat sera alors représenté en n'affichant que les colonnes de regroupement puis les valeurs calculées par les fonctions d'agrégation :

**FIGURE 1/ .2** – Aggrégats

1.2.2 GROUP BY : principe

matricule	nom	service	salaire
00000004	Fantasio	Courrier	4500.00
00000020	Lagaffe	Courrier	3000.00
00000001	Dupuis	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	Publication	4000.00
00000040	Lebrac	Publication	3000.00

service	salaires_par_service
Courrier	7500.00
Direction	10000.00
Publication	7000.00

L'agrégation est ici réalisée sur la colonne `service`. En guise de calcul d'agrégation, une somme est réalisée sur les salaires payés dans chaque service.

1.2.3 GROUP BY : exemples



```
SELECT service,
       sum(salaire) AS salaires_par_service
FROM   employes
GROUP BY service;
```

service	salaires_par_service
Courrier	7500.00
Direction	10000.00
Publication	7000.00

(3 lignes)

SQL permet depuis le début de réaliser des calculs d'agrégation. Pour cela, la base de données observe les critères de regroupement définis dans la clause `GROUP BY` de la requête et effectue l'opération sur l'ensemble des lignes qui correspondent au critère de regroupement.

On peut bien entendu combiner plusieurs opérations d'agrégations :

```
SELECT service,
       sum(salaire) salaires_par_service,
       avg(salaire) AS salaire_moyen_service
FROM   employes
GROUP BY service;
```

service	salaires_par_service	salaire_moyen_service
Courrier	7500.00	3750.00000000000000000000
Direction	10000.00	10000.00000000000000000000
Publication	7000.00	3500.00000000000000000000

(3 lignes)

On peut combiner le résultat de deux requêtes d'agrégation avec `UNION ALL`, si les ensembles retournés sont de même type :

```
SELECT service,
       sum(salaire) AS salaires_par_service
FROM   employes GROUP BY service
UNION ALL
SELECT 'Total' AS service,
       sum(salaire) AS salaires_par_service
FROM   employes;
```

service	salaires_par_service
Courrier	7500.00
Direction	10000.00
Publication	7000.00
Total	24500.00

(4 lignes)

On le verra plus loin, cette dernière requête peut être écrite plus simplement avec les `GROUPING SETS`.

1.2.4 Agrégats et ORDER BY



- Extension propriétaire de PostgreSQL
- `ORDER BY` dans la fonction d'agrégat
- Utilité :
 - ordonner les données agrégées
 - surtout utile avec `array_agg`, `string_agg` et `xmlagg`

Les fonctions `array_agg`, `string_agg` et `xmlagg` permettent d'agréger des éléments dans un tableau, dans une chaîne ou dans une arborescence XML. Autant l'ordre dans lequel les données sont utilisées n'a pas d'importance lorsque l'on réalise un calcul d'agrégat classique, autant cet ordre va influencer la façon dont les données seront produites par les trois fonctions citées plus haut. En effet, le tableau généré par `array_agg` est composé d'éléments ordonnés, de même que la chaîne de caractères ou l'arborescence XML.

1.2.5 Utiliser ORDER BY avec un agrégat



```
SELECT service,
       string_agg(nom, ' ' ORDER BY nom) AS liste_employes
FROM   employes
GROUP BY service;
```

service	liste_employes
Courrier	Fantasio, Lagaffe
Direction	Dupuis
Publication	Lebrac, Prunelle

(3 lignes)

La requête suivante permet d'obtenir, pour chaque service, la liste des employés dans un tableau, trié par ordre alphabétique :

```
SELECT service,
       string_agg(nom, ' ' ORDER BY nom) AS liste_employes
FROM   employes
GROUP BY service;
```

service	liste_employes
Courrier	Fantasio, Lagaffe
Direction	Dupuis
Publication	Lebrac, Prunelle

(3 lignes)

Il est possible de réaliser la même chose mais pour obtenir un tableau plutôt qu'une chaîne de caractère :

```
SELECT service,
       array_agg(nom ORDER BY nom) AS liste_employes
FROM   employes
GROUP BY service;
```

service	liste_employes
Courrier	{Fantasio,Lagaffe}
Direction	{Dupuis}
Publication	{Lebrac,Prunelle}

1.3 CLAUSE FILTER



- Clause `FILTER`
- Utilité :
 - filtrer les données sur les agrégats
 - évite les expressions `CASE` complexes
- SQL :2003

La clause `FILTER` permet de remplacer des expressions complexes écrites avec `CASE` et donc de simplifier l'écriture de requêtes réalisant un filtrage dans une fonction d'agrégat.

1.3.1 Filtrer avec `CASE`



- La syntaxe suivante était utilisée :

```
SELECT count(*) AS compte_pays,
       count(CASE WHEN r.nom_region='Europe' THEN 1
              ELSE NULL
              END) AS compte_pays_europeens
FROM pays p
JOIN regions r
ON (p.region_id = r.region_id);
```

Avec cette syntaxe, dès que l'on a besoin d'avoir de multiples filtres ou de filtres plus complexes, la requête devient très rapidement peu lisible et difficile à maintenir. Le risque d'erreur est également élevé.

1.3.2 Filtrer avec `FILTER`



- La même requête écrite avec la clause `FILTER` :

```
SELECT count(*) AS compte_pays,
       count(*) FILTER (WHERE r.nom_region='Europe')
       AS compte_pays_europeens
FROM pays p
JOIN regions r
ON (p.region_id = r.region_id);
```

L'exemple suivant montre l'utilisation de la clause `FILTER` et son équivalent écrit avec une expression `CASE` :

```
SELECT count(*) AS compte_pays,  
       count(*) FILTER (WHERE r.nom_region='Europe') AS compte_pays_europeens,  
       count(CASE WHEN r.nom_region='Europe' THEN 1 END)  
         AS oldscool_compte_pays_europeens  
FROM pays p  
JOIN regions r  
  ON (p.region_id = r.region_id);
```

	compte_pays	compte_pays_europeens	oldscool_compte_pays_europeens
(1 ligne)	25	5	5

1.4 FONCTIONS DE FENÊTRAGE



- Fonctions `WINDOW`
 - travaille sur des ensembles de données regroupés et triés indépendamment de la requête principale
- Utilisation :
 - utiliser plusieurs critères d'agrégation dans la même requête
 - utiliser des fonctions de classement
 - faire référence à d'autres lignes de l'ensemble de données

PostgreSQL supporte les fonctions de fenêtrage. Elles apportent des fonctionnalités analytiques à PostgreSQL, et permettent d'écrire beaucoup plus simplement certaines requêtes.

Prenons un exemple.

```
SELECT service, AVG(salaire)
FROM employe
GROUP BY service
```

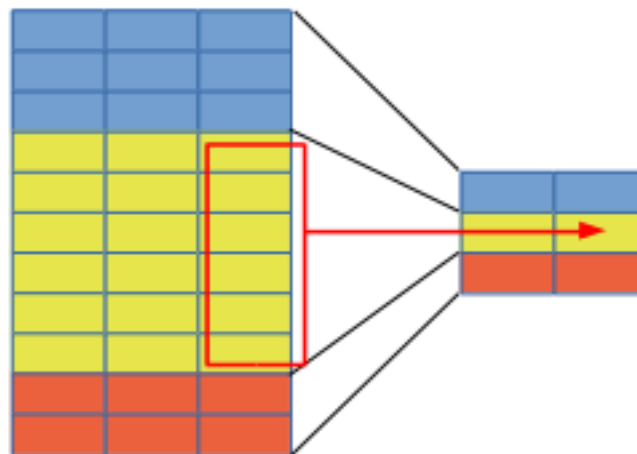


FIGURE 1/.3 – Aggrégation

```
SELECT service, id_employe, salaire,
       AVG(salaire) OVER (
         PARTITION BY service
         ORDER BY age
         ROWS BETWEEN 2 PRECEDING AND 2 FOLLOWING
       )
FROM employes
```

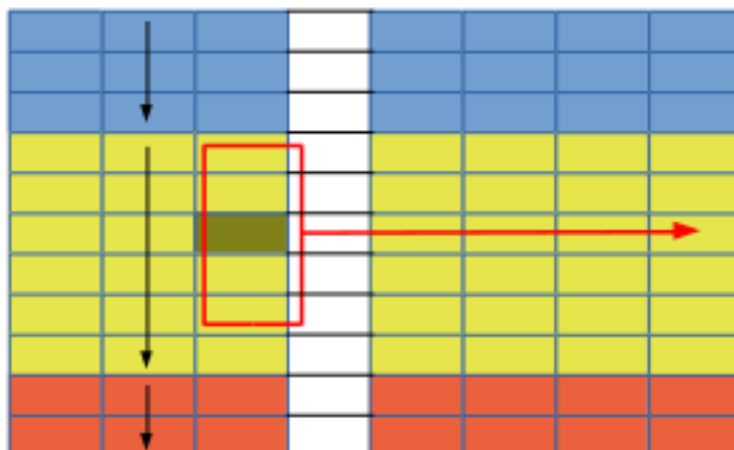


FIGURE 1/ .4 – Aggrégation

1.4.1 Regroupement



- Regroupement
- clause `OVER (PARTITION BY ...)`
- Utilité :
 - plusieurs critères de regroupement différents
 - avec des fonctions de calcul d'agrégats

La clause `OVER` permet de définir la façon dont les données sont regroupées - uniquement pour la colonne définie - avec la clause `PARTITION BY`.

Les exemples vont utiliser cette table `employees` :

```
SELECT * FROM employees ;
```

matricule	nom	service	salaire
00000001	Dupuis	Direction	10000.00
00000004	Fantasio	Courrier	4500.00
00000006	Prunelle	Publication	4000.00
00000020	Lagaffe	Courrier	3000.00
00000040	Lebrac	Publication	3000.00

(5 lignes)

1.4.2 Regroupement : exemple



```
SELECT matricule, salaire, service,
       SUM(salaire) OVER (PARTITION BY service)
       AS total_salaire_service
FROM employes;
```

matricule	salaire	service	total_salaire_service
00000004	4500.00	Courrier	7500.00
00000020	3000.00	Courrier	7500.00
00000001	10000.00	Direction	10000.00
00000006	4000.00	Publication	7000.00
00000040	3000.00	Publication	7000.00

Les calculs réalisés par cette requête sont identiques à ceux réalisés avec une agrégation utilisant `GROUP BY`. La principale différence est que l'on évite ici de perdre le détail des données tout en disposant des données agrégées dans le résultat de la requête.

1.4.3 Regroupement : principe



```
SUM(salaire) OVER (PARTITION BY service)
```

matricule	nom	service	salaire
00000004	Fantasio	Courrier	4500.00
00000020	Lagaffe	Courrier	3000.00
00000001	Dupuis	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	Publication	4000.00
00000040	Lebrac	Publication	3000.00

matricule	nom	salaire	service	total_salaire_service
00000004	Fantasio	4500.00	Courrier	7500.00
00000020	Lagaffe	3000.00	Courrier	7500.00
00000001	Dupuis	10000.00	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	4000.00	Publication	7000.00
00000040	Lebrac	3000.00	Publication	7000.00

Entouré de noir, le critère de regroupement et entouré de rouge, les données sur lesquelles sont appliqués le calcul d'agrégat.

1.4.4 Regroupement : syntaxe



```
SELECT ...
  agregation OVER (PARTITION BY <colonnes>)
FROM <liste_tables>
WHERE <predicats>
```

Le terme `PARTITION BY` permet d'indiquer les critères de regroupement de la fenêtre sur laquelle on souhaite travailler.

1.4.5 Tri



- Tri
 - `OVER (ORDER BY ...)`
- Utilité :
 - numéroté les lignes : `row_number()`
 - classer des résultats : `rank()`, `dense_rank()`
 - faire appel à d'autres lignes du résultat : `lead()`, `lag()`

1.4.6 Tri : exemple



- Pour numéroté des lignes :

```
SELECT row_number() OVER (ORDER BY matricule),
       matricule, nom
FROM employees;
```

row_number	matricule	nom
1	00000001	Dupuis
2	00000004	Fantasio
3	00000006	Prunelle
4	00000020	Lagaffe
5	00000040	Lebrac

(5 lignes)

La fonction `row_number()` permet de numéroté les lignes selon un critère de tri défini dans la clause `OVER`.

L'ordre de tri de la clause `OVER` n'influence pas l'ordre de tri explicite d'une requête :

```
SELECT row_number() OVER (ORDER BY matricule),
       matricule, nom
FROM   employes
ORDER BY nom;
```

row_number	matricule	nom
1	00000001	Dupuis
2	00000004	Fantasio
4	00000020	Lagaffe
5	00000040	Lebrac
3	00000006	Prunelle

(5 lignes)

On dispose aussi de fonctions de classement, pour déterminer par exemple les employés les moins bien payés :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       rank() OVER (ORDER BY salaire),
       dense_rank() OVER (ORDER BY salaire)
FROM   employes ;
```

matricule	nom	salaire	service	rank	dense_rank
00000020	Lagaffe	3000.00	Courrier	1	1
00000040	Lebrac	3000.00	Publication	1	1
00000006	Prunelle	4000.00	Publication	3	2
00000004	Fantasio	4500.00	Courrier	4	3
00000001	Dupuis	10000.00	Direction	5	4

(5 lignes)

La fonction de fenêtrage `rank()` renvoie le classement en autorisant des trous dans la numérotation, et `dense_rank()` le classement sans trous.

1.4.7 Tri : exemple avec une somme



— Calcul d'une somme glissante :

```
SELECT matricule, salaire,
       SUM(salaire) OVER (ORDER BY matricule)
FROM   employes;
```

matricule	salaire	sum
00000001	10000.00	10000.00
00000004	4500.00	14500.00
00000006	4000.00	18500.00
00000020	3000.00	21500.00
00000040	3000.00	24500.00

1.4.8 Tri : principe



`SUM(salaire) OVER (ORDER BY matricule)`

matricule	salaire	
00000001	10000.00	
00000004	4500.00	
00000006	4000.00	
00000020	3000.00	
00000040	3000.00	

Fenêtre de calcul pour la ligne courante

SUM(salaire)

matricule	salaire	sum
00000001	10000.00	10000.00
00000004	4500.00	14500.00
00000006	4000.00	18500.00
00000020	3000.00	21500.00
00000040	3000.00	24500.00

Lorsque l'on utilise une clause de tri, la portion de données visible par l'opérateur d'agrégat correspond aux données comprises entre la première ligne examinée et la ligne courante. La fenêtre est définie selon le critère `RANGE BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING AND CURRENT ROW`.

Nous verrons plus loin que nous pouvons modifier ce comportement.

1.4.9 Tri : syntaxe



```
SELECT ...
  aggregation OVER (ORDER BY <colonnes>)
FROM <liste_tables>
WHERE <predicats>
```

Le terme `ORDER BY` permet d'indiquer les critères de tri de la fenêtre sur laquelle on souhaite travailler.

1.4.10 Regroupement et tri



- On peut combiner les deux
 - `OVER (PARTITION BY .. ORDER BY ..)`
- Utilité :
 - travailler sur des jeux de données ordonnés et isolés les uns des autres

Il est possible de combiner les clauses de fenêtrage `PARTITION BY` et `ORDER BY`. Cela permet d'isoler des jeux de données entre eux avec la clause `PARTITION BY`, tout en appliquant un critère de tri avec la clause `ORDER BY`. Beaucoup d'applications sont possibles si l'on associe à cela les nombreuses fonctions analytiques disponibles.

1.4.11 Regroupement et tri : exemple



```
SELECT continent, pays, population,
       rank() OVER (PARTITION BY continent
                    ORDER BY population DESC)
       AS rang
FROM population;
```

continent	pays	population	rang
Afrique	Nigéria	173.6	1
Afrique	Éthiopie	94.1	2
Afrique	Égypte	82.1	3
Afrique	Rép. dém. du Congo	67.5	4
(...)			
Amérique du Nord	États-Unis	320.1	1
Amérique du Nord	Canada	35.2	2
(...)			

Si l'on applique les deux clauses `PARTITION BY` et `ORDER BY` à une fonction de fenêtrage, alors le critère de tri est appliqué dans la partition et chaque partition est indépendante l'une de l'autre.

Voici un extrait plus complet du résultat de la requête présentée ci-dessus :

continent	pays	population	rang_pop
Afrique	Nigéria	173.6	1
Afrique	Éthiopie	94.1	2
Afrique	Égypte	82.1	3
Afrique	Rép. dém. du Congo	67.5	4
Afrique	Afrique du Sud	52.8	5
Afrique	Tanzanie	49.3	6

Afrique	Kenya	44.4	7
Afrique	Algérie	39.2	8
Afrique	Ouganda	37.6	9
Afrique	Maroc	33.0	10
Afrique	Ghana	25.9	11
Afrique	Mozambique	25.8	12
Afrique	Madagascar	22.9	13
Afrique	Côte-d'Ivoire	20.3	14
Afrique	Niger	17.8	15
Afrique	Burkina Faso	16.9	16
Afrique	Zimbabwe	14.1	17
Afrique	Soudan	14.1	17
Afrique	Tunisie	11.0	19
Amérique du Nord	États-Unis	320.1	1
Amérique du Nord	Canada	35.2	2
Amérique latine. Caraïbes	Brésil	200.4	1
Amérique latine. Caraïbes	Mexique	122.3	2
Amérique latine. Caraïbes	Colombie	48.3	3
Amérique latine. Caraïbes	Argentine	41.4	4
Amérique latine. Caraïbes	Pérou	30.4	5
Amérique latine. Caraïbes	Venezuela	30.4	5
Amérique latine. Caraïbes	Chili	17.6	7
Amérique latine. Caraïbes	Équateur	15.7	8
Amérique latine. Caraïbes	Guatemala	15.5	9
Amérique latine. Caraïbes	Cuba	11.3	10

(...)

1.4.12 Regroupement et tri : principe



OVER (**PARTITION BY** continent
ORDER BY population **DESC**)

pays	continent	population
Chine	Asie	1385.6
Iraq	Asie	33.8
Ouzbékistan	Asie	28.9
Arabie Saoudite	Asie	28.8
France métropolitaine	Europe	64.3
Finlande	Europe	5.4
Lettonie	Europe	2.1

1.4.13 Regroupement et tri : syntaxe



```
SELECT ...
  <agregation> OVER (PARTITION BY <colonnes>
                      ORDER BY <colonnes>)
  FROM <liste_tables>
 WHERE <predicats>
```

Cette construction ne pose aucune difficulté syntaxique. La norme impose de placer la clause `PARTITION BY` avant la clause `ORDER BY`, c'est la seule chose à retenir au niveau de la syntaxe.

1.4.14 Fonctions analytiques



- PostgreSQL dispose d'un certain nombre de fonctions analytiques
- Utilité :
 - faire référence à d'autres lignes du même ensemble
 - évite les auto-jointures complexes et lentes

Sans les fonctions analytiques, il était difficile en SQL d'écrire des requêtes nécessitant de faire appel à des données provenant d'autres lignes que la ligne courante.

Par exemple, pour renvoyer la liste détaillée de tous les employés ET le salaire le plus élevé du service auquel il appartient, on peut utiliser la fonction `first_value()` :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       first_value(salaire) OVER (PARTITION BY service ORDER BY salaire DESC)
       AS salaire_maximum_service
FROM   employes ;
```

matricule	nom	salaire	service	salaire_maximum_service
00000004	Fantasio	4500.00	Courrier	4500.00
00000020	Lagaffe	3000.00	Courrier	4500.00
00000001	Dupuis	10000.00	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	4000.00	Publication	4000.00
00000040	Lebrac	3000.00	Publication	4000.00

(5 lignes)

Il existe également les fonctions suivantes :

- `last_value(colonne)` : renvoie la dernière valeur pour la colonne;
- `nth(colonne, n)` : renvoie la n-ème valeur (en comptant à partir de **1**) pour la colonne;
- `lag(colonne, n)` : renvoie la valeur située en n-ème position **avant** la ligne en cours pour la colonne;

- `lead(colonne, n)` : renvoie la valeur située en n-ème position **après** la ligne en cours pour la colonne;
- pour ces deux fonctions, le n est facultatif et vaut **1** par défaut;
- ces deux fonctions acceptent un 3ème argument facultatif spécifiant la valeur à renvoyer si aucune valeur n'est trouvée en n-ème position avant ou après. Par défaut, `NULL` sera renvoyé.

1.4.15 `lead()` et `lag()`



- `lead(colonne, n)`
 - retourne la valeur d'une colonne, n lignes **après** la ligne courante
- `lag(colonne, n)`
 - retourne la valeur d'une colonne, n lignes **avant** la ligne courante

La construction `lead(colonne)` est équivalente à `lead(colonne, 1)`. De même, la construction `lag(colonne)` est équivalente à `lag(colonne, 1)`. Il s'agit d'un raccourci pour utiliser la valeur précédente ou la valeur suivante d'une colonne dans la fenêtre définie.

1.4.16 `lead()` et `lag()` : exemple



```
SELECT pays, continent, population,
       lag(population) OVER (PARTITION BY continent
                             ORDER BY population DESC)
FROM population;
```

pays	continent	population	lag
Chine	Asie	1385.6	
Iraq	Asie	33.8	1385.6
Ouzbékistan	Asie	28.9	33.8
Arabie Saoudite	Asie	28.8	28.9
France métropolitaine	Europe	64.3	
Finlande	Europe	5.4	64.3
Lettonie	Europe	2.1	5.4

La requête présentée en exemple ne s'appuie que sur un jeu réduit de données afin de montrer un résultat compréhensible.

1.4.17 `lead()` et `lag()` : principe



```
lag(population) OVER (PARTITION BY continent
                     ORDER BY population DESC)
```


`NULL` est renvoyé lorsque la valeur n'est pas accessible dans la fenêtre de données, comme par exemple si l'on souhaite utiliser la valeur d'une colonne appartenant à la ligne précédant la première ligne de la partition.

1.4.18 `first/last/nth_value`



- `first_value(colonne)`
— retourne la première valeur pour la colonne
- `last_value(colonne)`
— retourne la dernière valeur pour la colonne
- `nth_value(colonne, n)`
— retourne la n-ème valeur (en comptant à partir de 1) pour la colonne

Utilisé avec `ORDER BY` et `PARTITION BY`, la fonction `first_value()` permet par exemple d'obtenir le salaire le plus élevé d'un service :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       first_value(salaire) OVER (PARTITION BY service ORDER BY salaire DESC)
       AS salaire_maximum_service
FROM   employes ;
```

matricule	nom	salaire	service	salaire_maximum_service
00000004	Fantasio	4500.00	Courrier	4500.00
00000020	Lagaffe	3000.00	Courrier	4500.00
00000001	Dupuis	10000.00	Direction	10000.00
00000006	Prunelle	4000.00	Publication	4000.00
00000040	Lebrac	3000.00	Publication	4000.00

(5 lignes)

1.4.19 `first / last / nth_value` : exemple

```
SELECT pays, continent, population,
       first_value(population)
         OVER (PARTITION BY continent
              ORDER BY population DESC)
FROM population;
```

pays	continent	population	first_value
Chine	Asie	1385.6	1385.6
Iraq	Asie	33.8	1385.6
Ouzbékistan	Asie	28.9	1385.6
Arabie Saoudite	Asie	28.8	1385.6
France	Europe	64.3	64.3
Finlande	Europe	5.4	64.3
Lettonie	Europe	2.1	64.3



Lorsque que la clause `ORDER BY` est utilisée pour définir une fenêtre, la fenêtre visible depuis la ligne courante commence par défaut à la première ligne de résultat et s'arrête à la ligne courante.

Par exemple, si l'on exécute la même requête en utilisant `last_value()` plutôt que `first_value()`, on récupère à chaque fois la valeur de la colonne sur la ligne courante :

```
SELECT pays, continent, population,
       last_value(population) OVER (PARTITION BY continent
                                   ORDER BY population DESC)
FROM population;
```

pays	continent	population	last_value
Chine	Asie	1385.6	1385.6
Iraq	Asie	33.8	33.8
Ouzbékistan	Asie	28.9	28.9
Arabie Saoudite	Asie	28.8	28.8
France métropolitaine	Europe	64.3	64.3
Finlande	Europe	5.4	5.4
Lettonie	Europe	2.1	2.1

(7 rows)

Il est alors nécessaire de redéfinir le comportement de la fenêtre visible pour que la fonction se comporte comme attendu, en utilisant `RANGE BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING AND UNBOUNDED FOLLOWING` - cet aspect sera décrit dans la section sur les possibilités de modification de la définition de la fenêtre.

1.4.20 Clause `WINDOW`

— Pour factoriser la définition d'une fenêtre :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       rank() OVER w,
       dense_rank() OVER w
FROM   employes
WINDOW w AS (ORDER BY salaire);
```

Il arrive que l'on ait besoin d'utiliser plusieurs fonctions de fenêtrage au sein d'une même requête qui utilisent la même définition de fenêtre (même clause `PARTITION BY` et/ou `ORDER BY`). Afin d'éviter de dupliquer cette clause, il est possible de définir une fenêtre nommée et de l'utiliser à plusieurs endroits de la requête. Par exemple, l'exemple précédent des fonctions de classement pourrait s'écrire :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       rank() OVER w,
       dense_rank() OVER w
FROM   employes
WINDOW w AS (ORDER BY salaire);
```

matricule	nom	salaire	service	rank	dense_rank
00000020	Lagaffe	3000.00	Courrier	1	1
00000040	Lebrac	3000.00	Publication	1	1
00000006	Prunelle	4000.00	Publication	3	2
00000004	Fantasio	4500.00	Courrier	4	3
00000001	Dupuis	10000.00	Direction	5	4

(5 lignes)

À noter qu'il est possible de définir de multiples définitions de fenêtres au sein d'une même requête, et qu'une définition de fenêtre peut surcharger la clause `ORDER BY` si la définition parente ne l'a pas définie. Par exemple, la requête SQL suivante est correcte :

```
SELECT matricule, nom, salaire, service,
       rank() OVER w_asc,
       dense_rank() OVER w_desc
FROM   employes
WINDOW w AS (PARTITION BY service),
       w_asc AS (w ORDER BY salaire),
       w_desc AS (w ORDER BY salaire DESC);
```

1.4.21 Clause `WINDOW` : syntaxe



```
SELECT fonction_agregat OVER nom,
       fonction_agregat_2 OVER nom ...
...
FROM <liste_tables>
WHERE <predicats>
WINDOW nom AS (PARTITION BY ... ORDER BY ...)
```

1.4.22 Définition de la fenêtre



- La fenêtre de travail par défaut est :

RANGE BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING AND CURRENT ROW

- Trois modes possibles :

- `RANGE`
- `ROWS`
- `GROUPS` (v11+)

- Nécessite une clause `ORDER BY`

1.4.23 Définition de la fenêtre : RANGE



- Indique un intervalle à bornes *flou*
- Borne de départ :
 - `UNBOUNDED PRECEDING` : depuis le début de la partition
 - `CURRENT ROW` : depuis la ligne courante
- Borne de fin :
 - `UNBOUNDED FOLLOWING` : jusqu'à la fin de la partition
 - `CURRENT ROW` : jusqu'à la ligne courante

```
OVER (PARTITION BY ...
      ORDER BY ...
      RANGE BETWEEN CURRENT ROW AND UNBOUNDED FOLLOWING)
```

1.4.24 Définition de la fenêtre : ROWS



- Indique un intervalle borné par un nombre de ligne défini avant et après la ligne courante
 - Borne de départ :
 - `xxx PRECEDING` : depuis les xxx valeurs devant la ligne courante
 - `CURRENT ROW` : depuis la ligne courante
 - Borne de fin :
 - `xxx FOLLOWING` : depuis les xxx valeurs derrière la ligne courante
 - `CURRENT ROW` : jusqu'à la ligne courante
- OVER (PARTITION BY ...
ORDER BY ...
ROWS BETWEEN 2 PRECEDING AND 1 FOLLOWING**

1.4.25 Définition de la fenêtre : GROUPS



- Indique un intervalle borné par un groupe de lignes de valeurs identiques défini avant et après la ligne courante
 - Borne de départ :
 - `xxx PRECEDING` : depuis les xxx groupes de valeurs identiques devant la ligne courante
 - `CURRENT ROW` : depuis la ligne courante ou le premier élément identique dans le tri réalisé par `ORDER BY`
 - Borne de fin :
 - `xxx FOLLOWING` : depuis les xxx groupes de valeurs identiques derrière la ligne courante
 - `CURRENT ROW` : jusqu'à la ligne courante ou le dernier élément identique dans le tri réalisé par `ORDER BY`
- OVER (PARTITION BY ...
ORDER BY ...
GROUPS BETWEEN 2 PRECEDING AND 1 FOLLOWING**

Ceci n'est disponible que depuis la version 11.

1.4.26 Définition de la fenêtre : `EXCLUDE`



- Indique des lignes à exclure de la fenêtre de données (v11+)
- `EXCLUDE CURRENT ROW` : exclut la ligne courante
- `EXCLUDE GROUP` : exclut la ligne courante et le groupe de valeurs identiques dans l'ordre
- `EXCLUDE TIES` : exclut et le groupe de valeurs identiques à la ligne courante dans l'ordre mais pas la ligne courante
- `EXCLUDE NO OTHERS` : pas d'exclusion (valeur par défaut)

Ceci n'est disponible que depuis la version 11.

1.4.27 Définition de la fenêtre : exemple



```
SELECT pays, continent, population,
       last_value(population)
       OVER (PARTITION BY continent ORDER BY population
            RANGE BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING
                    AND UNBOUNDED FOLLOWING)
FROM population;
```

pays	continent	population	last_value
Arabie Saoudite	Asie	28.8	1385.6
Ouzbékistan	Asie	28.9	1385.6
Iraq	Asie	33.8	1385.6
Chine (4)	Asie	1385.6	1385.6
Lettonie	Europe	2.1	64.3
Finlande	Europe	5.4	64.3
France métropolitaine	Europe	64.3	64.3

1.5 WITHIN GROUP



- `WITHIN GROUP`
- Utilité :
 - calcul de médianes, centiles

La clause `WITHIN GROUP` est une clause pour les agrégats utilisant des fonctions dont les données doivent être triées. Quelques fonctions ont été ajoutées pour profiter au mieux de cette nouvelle clause.

1.5.1 `WITHIN GROUP` : exemple



```
SELECT continent,
  percentile_disc(0.5)
    WITHIN GROUP (ORDER BY population) AS "mediane",
  percentile_disc(0.95)
    WITHIN GROUP (ORDER BY population) AS "95pct",
  ROUND(AVG(population), 1) AS moyenne
FROM population
GROUP BY continent;
```

continent	mediane	95pct	moyenne
Afrique	33.0	173.6	44.3
Amérique du Nord	35.2	320.1	177.7
Amérique latine. Caraïbes	30.4	200.4	53.3
Asie	53.3	1252.1	179.9
Europe	9.4	82.7	21.8

Cet exemple permet d'afficher le continent, la médiane de la population par continent et la population du pays le moins peuplé parmi les 5% de pays les plus peuplés de chaque continent.

Pour rappel, la table contient les données suivantes :

```
SELECT * FROM population ORDER BY continent, population;
```

pays	population	superficie	densite	continent
Tunisie	11.0	164	67	Afrique
Zimbabwe	14.1	391	36	Afrique
Soudan	14.1	197	72	Afrique
Burkina Faso	16.9	274	62	Afrique
(...)				

1.6 GROUPING SETS



- `GROUPING SETS/ROLLUP/CUBE`
- Extension de `GROUP BY`
- Utilité :
 - présente le résultat de plusieurs agrégations différentes
 - réaliser plusieurs agrégations différentes dans la même requête

Les `GROUPING SETS` permettent de définir plusieurs clauses d'agrégation `GROUP BY`. Les résultats seront présentés comme si plusieurs requêtes d'agrégation avec les clauses `GROUP BY` mentionnées étaient assemblées avec `UNION ALL`.

1.6.1 GROUPING SETS : jeu de données

stock		
piece	region	quantite
ecrous	est	50
ecrous	ouest	0
ecrous	sud	40
clous	est	70
clous	nord	40
vis	ouest	50
vis	sud	50
vis	nord	60

stock				
piece/region	est	ouest	sud	nord
ecrous	50	0	40	
clous	70			0
vis		50	50	60

```
CREATE TABLE stock AS SELECT * FROM (
  VALUES ('ecrous', 'est', 50),
  ('ecrous', 'ouest', 0),
```

```

('ecrous', 'sud', 40),
('clous', 'est', 70),
('clous', 'nord', 0),
('vis', 'ouest', 50),
('vis', 'sud', 50),
('vis', 'nord', 60)
) AS VALUES(piece, region, quantite);

```

1.6.2 GROUPING SETS : exemple visuel

sum (quantite) ... grouping sets (piece,region)

piece/region	est	ouest	sud	nord	Total
ecrous	50	0	40		90
clous	70			0	70
vis		50	50	60	160
Total	120	50	90	60	



1.6.3 GROUPING SETS : exemple ordre sql



```

SELECT piece,region,sum(quantite)
FROM stock GROUP BY GROUPING SETS (piece,region);

```

piece	region	sum
clous		70
ecrous		90
vis		160
	est	120
	nord	60
	ouest	50
	sud	90

1.6.4 GROUPING SETS : équivalent



- On peut se passer de la clause `GROUPING SETS`
- mais la requête sera plus lente

```
SELECT piece, NULL as region, sum(quantite)
FROM stock
GROUP BY piece
UNION ALL
SELECT NULL, region, sum(quantite)
FROM STOCK
GROUP BY region;
```

Le comportement de la clause `GROUPING SETS` peut être émulée avec deux requêtes utilisant chacune une clause `GROUP BY` sur les colonnes de regroupement souhaitées.

Cependant, le plan d'exécution de la requête équivalente conduit à deux lectures et peut être particulièrement coûteux si le jeu de données sur lequel on souhaite réaliser les agrégations est important :

```
EXPLAIN SELECT piece, NULL as region, sum(quantite)
FROM stock
GROUP BY piece
UNION ALL
SELECT NULL, region, sum(quantite)
FROM STOCK
GROUP BY region;
```

QUERY PLAN

```
Append (cost=1.12..2.38 rows=7 width=44)
-> HashAggregate (cost=1.12..1.15 rows=3 width=45)
    Group Key: stock.piece
    -> Seq Scan on stock (cost=0.00..1.08 rows=8 width=9)
-> HashAggregate (cost=1.12..1.16 rows=4 width=44)
    Group Key: stock_1.region
    -> Seq Scan on stock stock_1 (cost=0.00..1.08 rows=8 width=8)
```

La requête utilisant la clause `GROUPING SETS` propose un plan bien plus efficace :

```
EXPLAIN SELECT piece, region, sum(quantite)
FROM stock GROUP BY GROUPING SETS (piece, region);
```

QUERY PLAN

```
GroupAggregate (cost=1.20..1.58 rows=14 width=17)
  Group Key: piece
  Sort Key: region
  Group Key: region
  -> Sort (cost=1.20..1.22 rows=8 width=13)
      Sort Key: piece
      -> Seq Scan on stock (cost=0.00..1.08 rows=8 width=13)
```

1.6.5 ROLLUP



- `ROLLUP`
- Utilité :
 - calcul de totaux dans la même requête

La clause `ROLLUP` est une fonctionnalité d'analyse type OLAP du langage SQL. Elle s'utilise dans la clause `GROUP BY`, tout comme `GROUPING SETS`

1.6.6 ROLLUP : exemple visuel



`sum (quantite) ... ROLLUP (piece,region)`

piece/region	est	ouest	sud	nord	Total
ecrous	50	0	40		90
clous	70			0	70
vis		50	50	60	160
Total					320

1.6.7 ROLLUP : exemple ordre sql



```
SELECT piece,region,sum(quantite)
FROM stock GROUP BY ROLLUP (piece,region);
```

Cette requête est équivalente à la requête suivante utilisant `GROUPING SETS` :

```
SELECT piece,region,sum(quantite)
FROM stock
GROUP BY GROUPING SETS ((),(piece),(piece,region));
```

Sur une requête un peu plus intéressante, effectuant des statistiques sur des ventes :

```

SELECT type_client, code_pays, SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant
FROM commandes c
JOIN lignes_commandes l
  ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN clients cl
  ON (c.client_id = cl.client_id)
JOIN contacts co
  ON (cl.contact_id = co.contact_id)
WHERE date_commande BETWEEN '2014-01-01' AND '2014-12-31'
GROUP BY ROLLUP (type_client, code_pays);

```

Elle produit le résultat suivant :

type_client	code_pays	montant
A	CA	6273168.32
A	CN	7928641.50
A	DE	6642061.57
A	DZ	6404425.16
A	FR	55261295.52
A	IN	7224008.95
A	PE	7356239.93
A	RU	6766644.98
A	US	7700691.07
A		111557177.00
(...)		
P	RU	287605812.99
P	US	296424154.49
P		4692152751.08
		5217862160.65

Une fonction `GROUPING`, associée à `ROLLUP`, permet de déterminer si la ligne courante correspond à un regroupement donné. Elle est de la forme d'un masque de bit converti au format décimal :

```

SELECT row_number()
  OVER ( ORDER BY grouping(piece,region)) AS ligne,
  grouping(piece,region)::bit(2) AS g,
  piece,
  region,
  sum(quantite)
FROM stock
GROUP BY CUBE (piece,region)
ORDER BY g ;

```

ligne	g	piece	region	sum
1	00	clous	est	150
2	00	clous	nord	10
3	00	ecrous	est	110
4	00	ecrous	ouest	10
5	00	ecrous	sud	90
6	00	vis	nord	130
7	00	vis	ouest	110
8	00	vis	sud	110
9	01	vis		350
10	01	ecrous		210
11	01	clous		160

12	10		ouest	120
13	10		sud	200
14	10		est	260
15	10		nord	140
16	11			720

Voici un autre exemple :

```
SELECT COALESCE(service,
CASE
WHEN GROUPING(service) = 0 THEN 'Unknown' ELSE 'Total'
END) AS service,
sum(salaire) AS salaires_service, count(*) AS nb_employes
FROM employes
GROUP BY ROLLUP (service);
```

service	salaires_service	nb_employes
Courrier	7500.00	2
Direction	50000.00	1
Publication	7000.00	2
Total	64500.00	5

(4 rows)

Ou appliqué à l'exemple un peu plus complexe :

```
SELECT COALESCE(type_client,
CASE
WHEN GROUPING(type_client) = 0 THEN 'Unknown' ELSE 'Total'
END) AS type_client,
COALESCE(code_pays,
CASE
WHEN GROUPING(code_pays) = 0 THEN 'Unknown' ELSE 'Total'
END) AS code_pays,
SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant
FROM commandes c
JOIN lignes_commandes l
ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN clients cl
ON (c.client_id = cl.client_id)
JOIN contacts co
ON (cl.contact_id = co.contact_id)
WHERE date_commande BETWEEN '2014-01-01' AND '2014-12-31'
GROUP BY ROLLUP (type_client, code_pays);
```

type_client	code_pays	montant
A	CA	6273168.32
A	CN	7928641.50
A	DE	6642061.57
A	DZ	6404425.16
A	FR	55261295.52
A	IN	7224008.95
A	PE	7356239.93
A	RU	6766644.98
A	US	7700691.07
A	Total	111557177.00

(...)

P	US	296424154.49
P	Total	4692152751.08
Total	Total	5217862160.65

1.6.8 CUBE



- CUBE
- Utilité :
 - calcul de totaux dans la même requête
 - sur toutes les clauses de regroupement

La clause `CUBE` est une autre fonctionnalité d'analyse type OLAP du langage SQL. Tout comme `ROLLUP`, elle s'utilise dans la clause `GROUP BY`.

1.6.9 CUBE : exemple visuel



sum (quantite) ... CUBE (piece,region)					
piece/region	est	ouest	sud	nord	Total
ecrous	50	0	40		90
clous	70			0	70
vis		50	50	60	160
Total	120	50	90	60	320

1.6.10 CUBE : exemple ordre sql



```
SELECT piece,region,sum(quantite)
FROM stock GROUP BY CUBE (piece,region);
```

Cette requête est équivalente à la requête suivante utilisant `GROUPING SETS` :

```
SELECT piece,region,sum(quantite)
FROM stock
GROUP BY GROUPING SETS (
    (),
    (piece),
    (region),
    (piece,region)
);
```

Elle permet de réaliser des regroupements sur l'ensemble des combinaisons possibles des clauses de regroupement indiquées. Pour de plus amples détails, se référer à cet article Wikipédia¹.

En reprenant la requête de l'exemple précédent :

```
SELECT type_client,
        code_pays,
        SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant
FROM commandes c
JOIN lignes_commandes l
    ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN clients cl
    ON (c.client_id = cl.client_id)
JOIN contacts co
    ON (cl.contact_id = co.contact_id)
WHERE date_commande BETWEEN '2014-01-01' AND '2014-12-31'
GROUP BY CUBE (type_client, code_pays);
```

Elle retournera le résultat suivant :

type_client	code_pays	montant
A	CA	6273168.32
A	CN	7928641.50
A	DE	6642061.57
A	DZ	6404425.16
A	FR	55261295.52
A	IN	7224008.95
A	PE	7356239.93
A	RU	6766644.98
A	US	7700691.07
A		111557177.00
E	CA	28457655.81

¹https://en.wikipedia.org/wiki/OLAP_cube

E	CN	25537539.68
E	DE	25508815.68
E	DZ	24821750.17
E	FR	209402443.24
E	IN	26788642.27
E	PE	24541974.54
E	RU	25397116.39
E	US	23696294.79
E		414152232.57
P	CA	292975985.52
P	CN	287795272.87
P	DE	287337725.21
P	DZ	302501132.54
P	FR	2341977444.49
P	IN	295256262.73
P	PE	300278960.24
P	RU	287605812.99
P	US	296424154.49
P		4692152751.08
		5217862160.65
	CA	327706809.65
	CN	321261454.05
	DE	319488602.46
	DZ	333727307.87
	FR	2606641183.25
	IN	329268913.95
	PE	332177174.71
	RU	319769574.36
	US	327821140.35

Dans ce genre de contexte, lorsque le regroupement est réalisé sur l'ensemble des valeurs d'un critère de regroupement, alors la valeur qui apparaît est `NULL` pour la colonne correspondante. Si la colonne possède des valeurs `NULL` légitimes, il est alors difficile de les distinguer. On utilise alors la fonction `GROUPING()` qui permet de déterminer si le regroupement porte sur l'ensemble des valeurs de la colonne. L'exemple suivant montre une requête qui exploite cette fonction :

```
SELECT GROUPING(type_client,code_pays)::bit(2),
       GROUPING(type_client)::boolean g_type_cli,
       GROUPING(code_pays)::boolean g_code_pays,
       type_client,
       code_pays,
       SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant
FROM   commandes c
JOIN   lignes_commandes l
      ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN   clients cl
      ON (c.client_id = cl.client_id)
JOIN   contacts co
      ON (cl.contact_id = co.contact_id)
WHERE  date_commande BETWEEN '2014-01-01' AND '2014-12-31'
GROUP BY CUBE (type_client, code_pays);
```

Elle produit le résultat suivant :

grouping	g_type_cli	g_code_pays	type_client	code_pays	montant
-----	-----	-----	-----	-----	-----

00	f	f	A	CA	6273168.32
00	f	f	A	CN	7928641.50
00	f	f	A	DE	6642061.57
00	f	f	A	DZ	6404425.16
00	f	f	A	FR	55261295.52
00	f	f	A	IN	7224008.95
00	f	f	A	PE	7356239.93
00	f	f	A	RU	6766644.98
00	f	f	A	US	7700691.07
01	f	t	A		111557177.00
(...)					
01	f	t	P		4692152751.08
11	t	t			5217862160.65
10	t	f		CA	327706809.65
10	t	f		CN	321261454.05
10	t	f		DE	319488602.46
10	t	f		DZ	333727307.87
10	t	f		FR	2606641183.25
10	t	f		IN	329268913.95
10	t	f		PE	332177174.71
10	t	f		RU	319769574.36
10	t	f		US	327821140.35

(40 rows)

L'application sera alors à même de gérer la présentation des résultats en fonction des valeurs de `grouping` ou `g_type_client` et `g_code_pays`.

1.7 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/s7_solutions.

La table `brno2015` peut être téléchargée et restaurée ainsi :

```
curl -kL https://dali.bo/tp_brno2015 -o /tmp/brno2015.dump
createdb brno2015
pg_restore -O -d brno2015 /tmp/brno2015.dump
# une erreur sur l'existence du schéma public est normale
```

Le schéma `brno2015` dispose d'une table `pilotes` ainsi que les résultats tour par tour de la course de MotoGP de Brno (CZ) de la saison 2015.

La table `brno2015` indique pour chaque tour, pour chaque pilote, le temps réalisé dans le tour :

Table "public.brno_2015"		
Column	Type	Modifiers
no_tour	integer	
no_pilote	integer	
lap_time	interval	

Une table `pilotes` permet de connaître les détails d'un pilote :

Table "public.pilotes"		
Column	Type	Modifiers
no	integer	
nom	text	
nationalite	text	
ecurie	text	
moto	text	

Précisions sur les données à manipuler : la course est réalisée en plusieurs tours; certains coureurs n'ont pas terminé la course, leur relevé de tours s'arrête donc brutalement.

Agrégation

Quel est le pilote qui a le moins gros écart entre son meilleur tour et son moins bon tour ?

Déterminer quel est le pilote le plus régulier (écart-type).

Window Functions

Afficher la place sur le podium pour chaque coureur.

À partir de la requête précédente, afficher également la différence du temps de chaque coureur par rapport à celui de la première place.

Pour chaque tour, afficher :

- le nom du pilote;
- son rang dans le tour;
- son temps depuis le début de la course;
- dans le tour, la différence de temps par rapport au premier.

Pour chaque coureur, quel est son meilleur tour et quelle place avait-il sur ce tour ?

Déterminer quels sont les coureurs ayant terminé la course qui ont gardé la même position tout au long de la course.

En quelle position a terminé le coureur qui a doublé le plus de personnes ? Combien de personnes a-t-il doublées ?

Grouping Sets

Ce TP nécessite PostgreSQL 9.5 ou supérieur. Il s'appuie sur les tables présentes dans le schéma `magasin`.

En une seule requête, afficher le montant total des commandes par année et pays et le montant total des commandes uniquement par année.

Ajouter également le montant total des commandes depuis le début de l'activité.

Ajouter également le montant total des commandes par pays.

1.8 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

La table `brno2015` peut être téléchargée et restaurée ainsi :

```
curl -kL https://dali.bo/tp_brno2015 -o /tmp/brno2015.dump
createdb brno2015
pg_restore -O -d brno2015 /tmp/brno2015.dump
# une erreur sur l'existence du schéma public est normale
```

Le schéma `brno2015` dispose d'une table pilotes ainsi que les résultats tour par tour de la course de MotoGP de Brno (CZ) de la saison 2015.

La table `brno2015` indique pour chaque tour, pour chaque pilote, le temps réalisé dans le tour :

Table "public.brno_2015"		
Column	Type	Modifiers
no_tour	integer	
no_pilote	integer	
lap_time	interval	

Une table `pilotes` permet de connaître les détails d'un pilote :

Table "public.pilotes"		
Column	Type	Modifiers
no	integer	
nom	text	
nationalite	text	
ecurie	text	
moto	text	

Précisions sur les données à manipuler : la course est réalisée en plusieurs tours; certains coureurs n'ont pas terminé la course, leur relevé de tours s'arrête donc brutalement.

Agrégation

Tout d'abord, nous positionnons le `search_path` pour chercher les objets du schéma `brno2015` :

```
SET search_path = brno2015;
```

Quel est le pilote qui a le moins gros écart entre son meilleur tour et son moins bon tour?

Le coureur :

```
SELECT nom, max(lap_time) - min(lap_time) as ecart
FROM brno_2015
JOIN pilotes
ON (no_pilote = no)
GROUP BY 1
ORDER BY 2
LIMIT 1;
```

La requête donne le résultat suivant :

nom	ecart
Jorge LORENZO	00:00:04.661

Déterminer quel est le pilote le plus régulier (écart-type).

Nous excluons le premier tour car il s'agit d'une course avec départ arrêté, donc ce tour est plus lent que les autres, ici d'au moins 8 secondes :

```
SELECT nom, stddev(extract (epoch from lap_time)) as stddev
FROM brno_2015
JOIN pilotes
ON (no_pilote = no)
WHERE no_tour > 1
GROUP BY 1
ORDER BY 2
LIMIT 1;
```

Le résultat montre le coureur qui a abandonné en premier :

nom	stddev
Alex DE ANGELIS	0.130107647741847

On s'aperçoit qu'Alex De Angelis n'a pas terminé la course. Il semble donc plus intéressant de ne prendre en compte que les pilotes qui ont terminé la course et toujours en excluant le premier tour (il y a 22 tours sur cette course, on peut le positionner soit en dur dans la requête, soit avec un sous-select permettant de déterminer le nombre maximum de tours) :

```
SELECT nom, stddev(extract (epoch from lap_time)) as stddev
FROM brno_2015
JOIN pilotes
ON (no_pilote = no)
WHERE no_tour > 1
AND no_pilote in (SELECT no_pilote FROM brno_2015 WHERE no_tour=22)
GROUP BY 1
ORDER BY 2
LIMIT 1;
```

Le pilote 19 a donc été le plus régulier :

nom	stddev
Alvaro BAUTISTA	0.222825823492654

Window Functions

Si ce n'est pas déjà fait, nous positionnons le search_path pour chercher les objets du schéma brno2015 :

```
SET search_path = brno2015;
```

Afficher la place sur le podium pour chaque coureur.

Les coureurs qui ne franchissent pas la ligne d'arrivée sont dans le classement malgré tout. Il faut donc tenir compte de cela dans l'affichage des résultats.

```
SELECT rank() OVER (ORDER BY max_lap desc, total_time asc) AS rang,
       nom, ecurie, total_time
FROM (SELECT no_pilote,
             sum(lap_time) over (PARTITION BY no_pilote) as total_time,
             max(no_tour) over (PARTITION BY no_pilote) as max_lap
       FROM brno_2015
       ) AS race_data
JOIN pilotes
  ON (race_data.no_pilote = pilotes.no)
GROUP BY nom, ecurie, max_lap, total_time
ORDER BY max_lap desc, total_time asc;
```

La requête affiche le résultat suivant :

rang	nom	ecurie	total_time
1	Jorge LORENZO	Movistar Yamaha MotoGP	00:42:53.042
2	Marc MARQUEZ	Repsol Honda Team	00:42:57.504
3	Valentino ROSSI	Movistar Yamaha MotoGP	00:43:03.439
4	Andrea IANNONE	Ducati Team	00:43:06.113
5	Dani PEDROSA	Repsol Honda Team	00:43:08.692
6	Andrea DOVIZIOSO	Ducati Team	00:43:08.767
7	Bradley SMITH	Monster Yamaha Tech 3	00:43:14.863
8	Pol ESPARGARO	Monster Yamaha Tech 3	00:43:16.282
9	Aleix ESPARGARO	Team SUZUKI ECSTAR	00:43:36.826
10	Danilo PETRUCCI	Octo Pramac Racing	00:43:38.303
11	Yonny HERNANDEZ	Octo Pramac Racing	00:43:43.015
12	Scott REDDING	EG 0,0 Marc VDS	00:43:43.216
13	Alvaro BAUTISTA	Aprilia Racing Team Gresini	00:43:47.479
14	Stefan BRADL	Aprilia Racing Team Gresini	00:43:47.666
15	Loris BAZ	Forward Racing	00:43:53.358
16	Hector BARBERA	Avintia Racing	00:43:54.637
17	Nicky HAYDEN	Aspar MotoGP Team	00:43:55.43
18	Mike DI MEGLIO	Avintia Racing	00:43:58.986
19	Jack MILLER	CWM LCR Honda	00:44:04.449
20	Claudio CORTI	Forward Racing	00:44:43.075
21	Karel ABRAHAM	AB Motoracing	00:44:55.697
22	Maverick VIÑALES	Team SUZUKI ECSTAR	00:29:31.557
23	Cal CRUTCHLOW	CWM LCR Honda	00:27:38.315
24	Eugene LAVERTY	Aspar MotoGP Team	00:08:04.096
25	Alex DE ANGELIS	E-Motion IodaRacing Team	00:06:05.782

(25 rows)

À partir de la requête précédente, afficher également la différence du temps de chaque coureur par rapport à celui de la première place.

La requête n'est pas beaucoup modifiée, seule la fonction `first_value()` est utilisée pour déterminer le temps du vainqueur, temps qui sera ensuite retranché au temps du coureur courant.

```
SELECT rank() OVER (ORDER BY max_lap desc, total_time asc) AS rang,
       nom, ecurie, total_time,
       total_time - first_value(total_time)
```

```

        OVER (ORDER BY max_lap desc, total_time asc) AS difference
FROM (SELECT no_pilote,
            sum(lap_time) over (PARTITION BY no_pilote) as total_time,
            max(no_tour) over (PARTITION BY no_pilote) as max_lap
      FROM brno_2015
     ) AS race_data
JOIN pilotes
  ON (race_data.no_pilote = pilotes.no)
GROUP BY nom, ecurie, max_lap, total_time
ORDER BY max_lap desc, total_time asc;

```

La requête affiche le résultat suivant :

r	nom	ecurie	total_time	difference
1	Jorge LORENZO	Movistar Yamaha [...]	00:42:53.042	00:00:00
2	Marc MARQUEZ	Repsol Honda Team	00:42:57.504	00:00:04.462
3	Valentino ROSSI	Movistar Yamaha [...]	00:43:03.439	00:00:10.397
4	Andrea IANNONE	Ducati Team	00:43:06.113	00:00:13.071
5	Dani PEDROSA	Repsol Honda Team	00:43:08.692	00:00:15.65
6	Andrea DOVIZIOSO	Ducati Team	00:43:08.767	00:00:15.725
7	Bradley SMITH	Monster Yamaha Tech 3	00:43:14.863	00:00:21.821
8	Pol ESPARGARO	Monster Yamaha Tech 3	00:43:16.282	00:00:23.24
9	Aleix ESPARGARO	Team SUZUKI ECSTAR	00:43:36.826	00:00:43.784
10	Danilo PETRUCCI	Octo Pramac Racing	00:43:38.303	00:00:45.261
11	Yonny HERNANDEZ	Octo Pramac Racing	00:43:43.015	00:00:49.973
12	Scott REDDING	EG 0,0 Marc VDS	00:43:43.216	00:00:50.174
13	Alvaro BAUTISTA	Aprilia Racing [...]	00:43:47.479	00:00:54.437
14	Stefan BRADL	Aprilia Racing [...]	00:43:47.666	00:00:54.624
15	Loris BAZ	Forward Racing	00:43:53.358	00:01:00.316
16	Hector BARBERA	Avintia Racing	00:43:54.637	00:01:01.595
17	Nicky HAYDEN	Aspar MotoGP Team	00:43:55.43	00:01:02.388
18	Mike DI MEGLIO	Avintia Racing	00:43:58.986	00:01:05.944
19	Jack MILLER	CWM LCR Honda	00:44:04.449	00:01:11.407
20	Claudio CORTI	Forward Racing	00:44:43.075	00:01:50.033
21	Karel ABRAHAM	AB Motoracing	00:44:55.697	00:02:02.655
22	Maverick VIÑALES	Team SUZUKI ECSTAR	00:29:31.557	-00:13:21.485
23	Cal CRUTCHLOW	CWM LCR Honda	00:27:38.315	-00:15:14.727
24	Eugene LAVERTY	Aspar MotoGP Team	00:08:04.096	-00:34:48.946
25	Alex DE ANGELIS	E-Motion Ioda [...]	00:06:05.782	-00:36:47.26

(25 rows)

Pour chaque tour, afficher :

- le nom du pilote;
- son rang dans le tour;
- son temps depuis le début de la course;
- dans le tour, la différence de temps par rapport au premier.

Pour construire cette requête, nous avons besoin d'obtenir le temps cumulé tour après tour pour chaque coureur. Nous commençons donc par écrire une première requête :

```

SELECT *,
       SUM(lap_time)
       OVER (PARTITION BY no_pilote ORDER BY no_tour) AS temps_tour_glissant
FROM brno_2015

```


Elle retourne le résultat suivant :

no_tour	no_pilote	lap_time	temps_tour_glissant
1	4	00:02:02.209	00:02:02.209
2	4	00:01:57.57	00:03:59.779
3	4	00:01:57.021	00:05:56.8
4	4	00:01:56.943	00:07:53.743
5	4	00:01:57.012	00:09:50.755
6	4	00:01:57.011	00:11:47.766
7	4	00:01:57.313	00:13:45.079
8	4	00:01:57.95	00:15:43.029
9	4	00:01:57.296	00:17:40.325
10	4	00:01:57.295	00:19:37.62
11	4	00:01:57.185	00:21:34.805
12	4	00:01:57.45	00:23:32.255
13	4	00:01:57.457	00:25:29.712
14	4	00:01:57.362	00:27:27.074
15	4	00:01:57.482	00:29:24.556
16	4	00:01:57.358	00:31:21.914
17	4	00:01:57.617	00:33:19.531
18	4	00:01:57.594	00:35:17.125
19	4	00:01:57.412	00:37:14.537
20	4	00:01:57.786	00:39:12.323
21	4	00:01:58.087	00:41:10.41
22	4	00:01:58.357	00:43:08.767

(...)

Cette requête de base est ensuite utilisée dans une CTE qui sera utilisée par la requête répondant à la question de départ. La colonne `temps_tour_glissant` est utilisée pour calculer le rang du pilote dans la course, est affiché et le temps cumulé du meilleur pilote est récupéré avec la fonction

`first_value` :

```
WITH temps_glissant AS (
    SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,
           sum(lap_time)
             OVER (PARTITION BY no_pilote
                   ORDER BY no_tour
                  ) AS temps_tour_glissant
    FROM brno_2015
    ORDER BY no_pilote, no_tour
)

SELECT no_tour, nom,
       rank() OVER (PARTITION BY no_tour
                    ORDER BY temps_tour_glissant ASC
                   ) AS place_course,
       temps_tour_glissant,
       temps_tour_glissant - first_value(temps_tour_glissant)
       OVER (PARTITION BY no_tour
            ORDER BY temps_tour_glissant asc
           ) AS difference
FROM temps_glissant t
JOIN pilotes p ON p.no = t.no_pilote;
```

On pouvait également utiliser une simple sous-requête pour obtenir le même résultat :

```

SELECT no_tour,
       nom,
       rank()
         OVER (PARTITION BY no_tour
              ORDER BY temps_tour_glissant ASC
              ) AS place_course,
       temps_tour_glissant,
       temps_tour_glissant - first_value(temps_tour_glissant)
         OVER (PARTITION BY no_tour
              ORDER BY temps_tour_glissant asc
              ) AS difference
FROM (
  SELECT *, SUM(lap_time)
    OVER (PARTITION BY no_pilote
         ORDER BY no_tour)
    AS temps_tour_glissant
  FROM brno_2015) course
JOIN pilotes
  ON (pilotes.no = course.no_pilote)
ORDER BY no_tour;

```

La requête fournit le résultat suivant :

no.	nom	place_c.	temps_tour_glissant	difference
1	Jorge LORENZO	1	00:02:00.83	00:00:00
1	Marc MARQUEZ	2	00:02:01.058	00:00:00.228
1	Andrea DOVIZIOSO	3	00:02:02.209	00:00:01.379
1	Valentino ROSSI	4	00:02:02.329	00:00:01.499
1	Andrea IANNONE	5	00:02:02.597	00:00:01.767
1	Bradley SMITH	6	00:02:02.861	00:00:02.031
1	Pol ESPARGARO	7	00:02:03.239	00:00:02.409
(...)				
2	Jorge LORENZO	1	00:03:57.073	00:00:00
2	Marc MARQUEZ	2	00:03:57.509	00:00:00.436
2	Valentino ROSSI	3	00:03:59.696	00:00:02.623
2	Andrea DOVIZIOSO	4	00:03:59.779	00:00:02.706
2	Andrea IANNONE	5	00:03:59.9	00:00:02.827
2	Bradley SMITH	6	00:04:00.355	00:00:03.282
2	Pol ESPARGARO	7	00:04:00.87	00:00:03.797
2	Maverick VIÑALES	8	00:04:01.187	00:00:04.114
(...)				
(498 rows)				

Pour chaque coureur, quel est son meilleur tour et quelle place avait-il sur ce tour?

Il est ici nécessaire de sélectionner pour chaque tour le temps du meilleur tour. On peut alors sélectionner les tours pour lesquels le temps du tour est égal au meilleur temps :

```

WITH temps_glissant AS (
  SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,
         sum(lap_time)
           OVER (PARTITION BY no_pilote
                ORDER BY no_tour
                ) as temps_tour_glissant
  FROM brno_2015

```

```

ORDER BY no_pilote, no_tour
),
classement_tour AS (
  SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,
  rank() OVER (
    PARTITION BY no_tour
    ORDER BY temps_tour_glissant
  ) as place_course,
  temps_tour_glissant,
  min(lap_time) OVER (PARTITION BY no_pilote) as meilleur_temps
  FROM temps_glissant
)

SELECT no_tour, nom, place_course, lap_time
FROM classement_tour t
JOIN pilotes p ON p.no = t.no_pilote
WHERE lap_time = meilleur_temps;

```

Ce qui donne le résultat suivant :

no_tour	nom	place_course	lap_time
4	Jorge LORENZO	1	00:01:56.169
4	Marc MARQUEZ	2	00:01:56.048
4	Valentino ROSSI	3	00:01:56.747
6	Andrea IANNONE	5	00:01:56.86
6	Dani PEDROSA	7	00:01:56.975
4	Andrea DOVIZIOSO	4	00:01:56.943
3	Bradley SMITH	6	00:01:57.25
17	Pol ESPARGARO	8	00:01:57.454
4	Aleix ESPARGARO	12	00:01:57.844
4	Daniilo PETRUCCI	11	00:01:58.121
9	Yonny HERNANDEZ	14	00:01:58.53
2	Scott REDDING	14	00:01:57.976
3	Alvaro BAUTISTA	21	00:01:58.71
3	Stefan BRADL	16	00:01:58.38
3	Loris BAZ	19	00:01:58.679
2	Hector BARBERA	15	00:01:58.405
2	Nicky HAYDEN	16	00:01:58.338
3	Mike DI MEGLIO	18	00:01:58.943
4	Jack MILLER	22	00:01:59.007
2	Claudio CORTI	24	00:02:00.377
14	Karel ABRAHAM	23	00:02:01.716
3	Maverick VIÑALES	8	00:01:57.436
3	Cal CRUTCHLOW	11	00:01:57.652
3	Eugene LAVERTY	20	00:01:58.977
3	Alex DE ANGELIS	23	00:01:59.257

(25 rows)

Déterminer quels sont les coureurs ayant terminé la course qui ont gardé la même position tout au long de la course.

```

WITH nb_tour AS (
  SELECT max(no_tour) FROM brno_2015
),

```

```
temps_glissant AS (  
    SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,  
    sum(lap_time) OVER (  
        PARTITION BY no_pilote  
        ORDER BY no_tour  
    ) as temps_tour_glissant,  
    max(no_tour) OVER (PARTITION BY no_pilote) as total_tour  
    FROM brno_2015  
),  
classement_tour AS (  
    SELECT no_tour, no_pilote, lap_time, total_tour,  
    rank() OVER (  
        PARTITION BY no_tour  
        ORDER BY temps_tour_glissant  
    ) as place_course  
    FROM temps_glissant  
)  
SELECT no_pilote  
FROM classement_tour t  
JOIN nb_tour n ON n.max = t.total_tour  
GROUP BY no_pilote  
HAVING count(DISTINCT place_course) = 1;
```

Elle retourne le résultat suivant :

```
no_pilote  
-----  
      93  
      99
```

En quelle position a terminé le coureur qui a doublé le plus de personnes? Combien de personnes a-t-il doublées?

```
WITH temps_glissant AS (  
    SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,  
    sum(lap_time) OVER (  
        PARTITION BY no_pilote  
        ORDER BY no_tour  
    ) as temps_tour_glissant  
    FROM brno_2015  
),  
classement_tour AS (  
    SELECT no_tour, no_pilote, lap_time,  
    rank() OVER (  
        PARTITION BY no_tour  
        ORDER BY temps_tour_glissant  
    ) as place_course,  
    temps_tour_glissant  
    FROM temps_glissant  
)  
dépassement AS (  
    SELECT no_pilote,  
    last_value(place_course) OVER (PARTITION BY no_pilote) as rang,  
    CASE  
        WHEN lag(place_course) OVER (  
            PARTITION BY no_pilote  
            ORDER BY no_tour
```

```

        ) - place_course < 0
    THEN 0
    ELSE lag(place_course) OVER (
        PARTITION BY no_pilote
        ORDER BY no_tour
    ) - place_course
    END AS depasse
FROM classement_tour t
)

SELECT no_pilote, rang, sum(depasse)
FROM depassement
GROUP BY no_pilote, rang
ORDER BY sum(depasse) DESC
LIMIT 1;

```

Grouping Sets

La suite de ce TP est maintenant réalisé avec la base de formation habituelle. Attention, ce TP nécessite l'emploi d'une version 9.5 ou supérieure de PostgreSQL.

Tout d'abord, nous positionnons le search_path pour chercher les objets du schéma `magasin` :

```
SET search_path = magasin;
```

En une seule requête, afficher le montant total des commandes par année et pays et le montant total des commandes uniquement par année.

```

SELECT extract('year' from date_commande) AS annee, code_pays,
       SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant_total_commande
FROM commandes c
JOIN lignes_commandes l
  ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN clients
  ON (c.client_id = clients.client_id)
JOIN contacts co
  ON (clients.contact_id = co.contact_id)
GROUP BY GROUPING SETS (
    (extract('year' from date_commande), code_pays),
    (extract('year' from date_commande))
);

```

Le résultat attendu est :

annee	code_pays	montant_total_commande
2003	DE	49634.24
2003	FR	10003.98
2003		59638.22
2008	CA	1016082.18
2008	CN	801662.75
2008	DE	694787.87
2008	DZ	663045.33
2008	FR	5860607.27
2008	IN	741850.87
2008	PE	1167825.32

2008		RU		577164.50
2008		US		928661.06
2008				12451687.15
(...)				

Ajouter également le montant total des commandes depuis le début de l'activité.

L'opérateur de regroupement `ROLL UP` amène le niveau d'agrégation sans regroupement :

```
SELECT extract('year' from date_commande) AS annee, code_pays,
       SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant_total_commande
FROM   commandes c
JOIN   lignes_commandes l
      ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN   clients
      ON (c.client_id = clients.client_id)
JOIN   contacts co
      ON (clients.contact_id = co.contact_id)
GROUP BY ROLLUP (extract('year' from date_commande), code_pays);
```

Ajouter également le montant total des commandes par pays.

Cette fois, l'opérateur `CUBE` permet d'obtenir l'ensemble de ces informations :

```
SELECT extract('year' from date_commande) AS annee, code_pays,
       SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant_total_commande
FROM   commandes c
JOIN   lignes_commandes l
      ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN   clients
      ON (c.client_id = clients.client_id)
JOIN   contacts co
      ON (clients.contact_id = co.contact_id)
GROUP BY CUBE (extract('year' from date_commande), code_pays);
```

12. À partir de la requête précédente, ajouter une colonne par critère de regroupement, de type booléen, qui est positionnée à `true` lorsque le regroupement est réalisé sur l'ensemble des valeurs de la colonne.

Ces colonnes booléennes permettent d'indiquer à l'application comment gérer la présentation des résultats.

```
SELECT grouping(extract('year' from date_commande))::boolean AS g_annee,
       grouping(code_pays)::boolean AS g_pays,
       extract('year' from date_commande) AS annee,
       code_pays,
       SUM(quantite*prix_unitaire) AS montant_total_commande
FROM   commandes c
JOIN   lignes_commandes l
      ON (c.numero_commande = l.numero_commande)
JOIN   clients
      ON (c.client_id = clients.client_id)
JOIN   contacts co
      ON (clients.contact_id = co.contact_id)
GROUP BY CUBE (extract('year' from date_commande), code_pays);
```

2/ Types avancés



PostgreSQL offre des types avancés :

- UUID
- Tableaux
- Composés :
 - `hstore`
 - JSON : `json`, `jsonb`
 - XML
- Pour les objets binaires :
 - `bytea`
 - Large Objects

2.1 UUID

2.1.1 UUID : principe



- Ex : `d67572bf-5d8c-47a7-9457-a9ddce259f05`
- Un identifiant universellement unique sur 128 bits
- Type : `uuid`
- Avec des inconvénients...

Les UUID (pour *Universally Unique Identifier*) sont nés d'un besoin d'avoir des identifiants uniques au niveau mondial pour divers objets, avec un risque de collision théoriquement négligeable. Ce sont des identifiants sur 128 bits.

Le standard propose plusieurs versions à cause d'un historique déjà long depuis les années 1980, et de différents algorithmes de création ou d'utilisation dans des bases de données. Il existe aussi des versions dérivées liées à certains éditeurs.

Dans une base, les clés primaires « techniques » (*surrogate*), servent à identifier de manière unique une ligne, sans posséder de sens propre : les UUID peuvent donc parfaitement remplacer les numéros de séquence traditionnels. Ce n'est pas toujours une bonne idée.

Références :

- Pages Wikipédia francophone¹ et anglophone² ;
- RFC 4122³, ISO/IEC 9834-8 :2005 (juillet 2005), définissant les UUID versions 1 à 5 et leurs utilisations ;
- RFC 9562⁴ (mai 2024), définissant les UUID versions 1 à 8 ;
- Un excellent article de Victor Adossi sur le choix de différents types de clés primaires⁵, les différents types d'UUID, et des benchmarks de génération d'UUID en masse (septembre 2022).

¹https://fr.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier

²https://fr.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier

³<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4122>

⁴<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9562>

⁵<https://supabase.com/blog/choosing-a-postgres-primary-key>

2.1.2 UUID : avantages



- Faciles à générer
 - `gen_random_uuid()` et d'autres
- Pouvoir désigner des entités arbitrairement
- Pouvoir exporter des données de sources différentes
 - au contraire des séquences traditionnelles
- Pouvoir fusionner des bases
- Pour toutes les clés primaires?

Sous PostgreSQL, nous verrons que de simples fonctions comme `gen_random_uuid()`, ou celles de l'extension standard `uuid-oss`, permettent de générer des UUID aussi facilement que des numéros de séquences. Il est bien sûr possible que ces UUID soient fournis par des applications extérieures.

Généralement, les clés primaires des tables proviennent d'entiers générés successivement (séquences), généralement en partant de 1. L'unicité des identifiants est ainsi facilement garantie. Cela ne pose aucun souci jusqu'au jour où les données sont à rapprocher de données d'une autre base. Il y a de bonnes chances que les deux bases utilisent les mêmes identifiants pour des choses différentes. Souvent, une clé fonctionnelle (unique aussi) permet de faire le lien (commande `DALIBO-CRA-1234`, personne de numéro `25502123123` ...) mais ce n'est pas toujours le cas et des erreurs de génération sont possibles. Un UUID arbitraire et unique est une solution facile pour nommer n'importe quelle entité logique ou physique sans risque de collision avec les identifiants d'un autre système.

Les UUID sont parfaits s'il y a des cas où il faut fusionner des bases de données issues de plusieurs bases de même structure. Cela peut arriver dans certains contextes distribués ou multitenants.

Hormis ce cas particulier, ils sont surtout utiles pour identifier un ensemble de données échangés entre deux systèmes (que ce soit en JSON, CSV ou un autre moyen) : l'UUID devient une sorte de clé primaire publique. En interne, les deux bases peuvent continuer à utiliser des séquences classiques pour leurs jointures.

Il est techniquement possible de pousser la logique jusqu'au bout et de décider que chaque clé primaire d'une ligne sera un UUID et non un entier, et de joindre sur ces UUID.

Des numéros de séquence consécutifs peuvent se deviner (dans l'URL d'un site web par exemple), ce qui peut être une faille de sécurité. Des UUID (apparemment) aléatoires ne présentent pas ce problème... si l'on a bien choisi la version d'UUID (voir plus loin).

2.1.3 UUID : inconvénients



- Lisibilité
- Temps de génération (mineur)
- Taille
 - 16 octets...
- Surtout : fragmentation des index
 - mauvais pour le cache
 - sauf UUID v7 (tout récent)

Lisibilité :

Le premier inconvénient n'est pas technique mais humain : il est plus aisé de lire et retenir des valeurs courtes comme un ticket 10023, une commande 2024-67 ou une immatriculation AT-389-RC que « d67572bf-5d8c-47a7-9457-a9ddce259f05 ». Les UUID sont donc à réserver aux clés techniques. De même, un développeur qui consulte une base retiendra et discernera plus facilement des valeurs entre 1 000 et 100 000 que des UUID à première vue aléatoires, et surtout à rallonge.

Pour la base de données, il y a d'autres inconvénients :

Taille :

Le type `uuid` de PostgreSQL prend 128 bits, donc 16 octets. Les types numériques entiers de PostgreSQL⁶ utilisent 2 octets pour un `smallint` (`int2`, de -32768 à +32767), 4 pour un `integer` (de -2 à +2 milliards environ), 8 pour un `bigint` (`int8`, de -9.10^{18} à $+9.10^{18}$ environ). Ces types entiers suffisent généralement à combler les besoins, tout en permettant de choisir le type le plus petit possible. On a donc une différence de 8 octets par ligne entre `uuid` et `bigint`, à multiplier par autant de lignes, parfois des milliards.

Cette différence s'amplifie tout le long de l'utilisation de la clé :

- index plus gros (puisque ces champs sont toujours indexés) ;
- clés étrangères plus grosses, avec leurs index ;
- jointures plus gourmandes en CPU, mémoire, voire disque ;
- avec un impact sur le cache.

Ce n'est pas forcément bloquant si votre utilisation le nécessite.



Le pire est le stockage d'UUID dans un champ `varchar` : la taille passe à 36, les jointures sont bien plus lourdes, et la garantie d'avoir un véritable UUID disparaît !

Temps de génération :

Selon l'algorithme de génération utilisé, la création d'un UUID peut être plusieurs fois plus lente que celle d'un numéro de séquence. Mais ce n'est pas vraiment un souci avec les processeurs modernes,

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/datatype-numeric.html>

qui sont capables de générer des dizaines, voire des centaines de milliers d'UUID, aléatoires ou pas, par seconde.

Fragmentation des index :

Le plus gros problème des UUID vient de leur apparence aléatoire. Cela a un impact sur la fragmentation des index et leur utilisation du cache.

Parlons d'abord de l'insertion de nouvelles lignes. Par défaut, les UUID sont générés en utilisant la version 4. Elle repose sur un algorithme générant des nombres aléatoires. Par conséquent, les UUID produits sont imprévisibles. Cela peut entraîner de fréquents *splits* des pages d'index (division d'une page pleine qui doit accueillir de nouvelles entrées). Les conséquences directes sont la fragmentation de l'index, une augmentation de sa taille (avec un effet négatif sur le cache), et l'augmentation du nombre d'accès disques (en lecture et écriture).

De plus, toujours avec des UUID version 4, comme les mises à jour sont réparties sur toute la longueur des index, ceux-ci tendent à rester entièrement dans le cache de PostgreSQL. Si celui-ci est insuffisant, des accès disques aléatoires fréquents peuvent devenir gênants.

À l'inverse, une séquence génère des valeurs strictement croissantes, donc toujours insérées à la fin de l'index. Non seulement la fragmentation reste basse, mais la partie utile de l'index, en cache, reste petite.

Évidemment, tout cela devient plus complexe quand on modifie ensuite les lignes. Mais beaucoup d'applications ont tendance à modifier surtout les lignes récentes, et délaissent les blocs d'index des lignes anciennes.

Pour un index qui reste petit, donc une table statique ou dont les anciennes lignes sont vite supprimées, ce n'est pas vraiment un problème. Mais un modèle où chaque clé de table et chaque clé étrangère est un index a intérêt à pouvoir garder tous ces index en mémoire.

Récemment, une solution standardisée est apparue avec les UUID version 7 (standardisés dans la RFC 9562⁷ en 2024) : ces UUID utilisent l'heure de génération et sont donc triés. Le souci de pollution du cache disparaît donc.

2.1.4 UUID : utilisation sous PostgreSQL



- `uuid` :
 - type simple (16 octets)
 - garantit le format
- Génération :
 - `gen_random_uuid` (v4, aléatoire)
 - extension `uuid-oss` (v1,3,4,5)
 - extension (`pg_idkit` ...) ou fonction en SQL (v7)

⁷<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9562>

Le type `uuid` est connu de PostgreSQL, c'est un champ simple de taille fixe. Si l'UUID provient de l'extérieur, le type garantit qu'il s'agit d'un UUID valide.

gen_random_uuid() :

Générer un UUID depuis le SQL est très simple avec la fonction `gen_random_uuid()`⁸ :

```
SELECT gen_random_uuid() FROM generate_series (1,4) ;
```

```
-----
gen_random_uuid
-----
d1ac1da0-4c0c-4e56-9302-72362cc5726c
c32fa82d-a2c1-4520-8b70-95919c6cb15f
dd980a9c-05a8-4659-a1e7-ca7836bc7da7
27de59d3-60bc-43b9-8d03-4779a1a01e47
```

Les UUID générés sont de version 4, c'est-à-dire totalement aléatoires, avec tous les inconvénients vus ci-dessus.

uuid-ossdp :

La fonction `gen_random_uuid()` n'est disponible directement que depuis PostgreSQL 13. Auparavant, il fallait forcément utiliser une extension : soit `pgcrypto`⁹, qui fournissait cette fonction, soit `uuid-ossdp`¹⁰, toutes deux livrées avec PostgreSQL. `uuid-ossdp` reste utile car elle fournit plusieurs algorithmes de génération d'UUID avec les fonctions suivantes.

Avec `uuid_generate_v1()`, l'UUID généré est lié à l'adresse MAC de la machine et à l'heure.



Cette propriété peut faciliter la prédiction de futures valeurs d'UUID. Les UUID v1 peuvent donc être considérés comme une faille de sécurité dans certains contextes.

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS "uuid-ossdp" ;
```

```
SELECT uuid_generate_v1() from generate_series(1,5) ;
```

```
-----
uuid_generate_v1
-----
82e94192-45e3-11ef-92e5-04cf4b21f39a
82e94193-45e3-11ef-92e5-04cf4b21f39a
82e94194-45e3-11ef-92e5-04cf4b21f39a
82e94195-45e3-11ef-92e5-04cf4b21f39a
```

Sur une autre machine :

```
SELECT uuid_generate_v1(),pg_sleep(5) from generate_series(1,5) ;
```

```
-----
uuid_generate_v1      | pg_sleep
-----+-----
ef5078b4-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
f24c2982-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
```

⁸<https://www.postgresql.org/docs/current/functions-uuid.html>

⁹<https://www.postgresql.org/docs/current/pgcrypto.html>

¹⁰<https://www.postgresql.org/docs/current/uuid-ossdp.html>

```
f547b552-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
f84345aa-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
fb3ed120-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
```

Noter que le problème de fragmentation des index se pose déjà.

Il existe une version `uuid_generate_v1mc()` un peu plus sécurisée.

`uuid_generate_v3()` et `uuid_generate_v5()` génèrent des valeurs reproductibles en fonction des paramètres. La version 5 utilise un algorithme plus sûr.

`uuid_generate_v4` génère un UUID totalement aléatoire, comme `gen_random_uuid()`.

UUID version 7 :

PostgreSQL ne sait pas encore générer d'UUID en version 7. Il existe cependant plusieurs extensions dédiées, avec les soucis habituels de disponibilité de paquets, maintenance des versions, confiance dans le mainteneur et disponibilité dans un PostgreSQL en SaaS. Par exemple, Supabase propose `pg_idkit` (versions Rust¹¹, et PL/pgSQL¹²).

Le plus simple est sans doute d'utiliser la fonction SQL suivante, de Kyle Hubert, modifiée par Daniel Vérité¹³. Elle est sans doute suffisamment rapide pour la plupart des besoins.

```
CREATE FUNCTION uuidv7() RETURNS uuid
AS $$
    -- Replace the first 48 bits of a uuidv4 with the current
    -- number of milliseconds since 1970-01-01 UTC
    -- and set the "ver" field to 7 by setting additional bits
    SELECT encode(
        set_bit(
            set_bit(
                overlay(uuid_send(gen_random_uuid()) placing
                    substring(int8send((extract(epoch FROM clock_timestamp())*1000)::bigint)
                        FROM 3)
                FROM 1 for 6),
            52, 1),
        53, 1), 'hex')::uuid;
$$ LANGUAGE sql VOLATILE;
```

Il existe une version plus lente avec une précision inférieure à la milliseconde. Le même billet de blog offre une fonction retrouvant l'heure de création d'un UUID v7 :

```
CREATE FUNCTION uuidv7_extract_timestamp(uuid) RETURNS timestampz
AS $$
    SELECT to_timestamp(
        right(substring(uuid_send($1) FROM 1 for 6)::text, -1)::bit(48)::int8
        /1000.0);
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE STRICT;

-- 10 UUID v 7 espacés de 3 secondes
WITH us AS (SELECT uuidv7() AS u, pg_sleep(3)
    FROM generate_series(1,10))
SELECT u, uuidv7_extract_timestamp(u)
FROM us ;
```

¹¹https://github.com/VADOSWARE/pg_idkit

¹²https://github.com/kiwicopple/pg-extensions/tree/main/pg_idkit

¹³<https://postgresql.verite.pro/blog/2024/07/15/uuid-v7-pure-sql.html>

u	uuidv7_extract_timestamp
0190cbaf-7879-7a4c-9ee3-8d383157b5cc	2024-07-19 17:49:52.889+02
0190cbaf-8435-7bb8-8417-30376a2e7251	2024-07-19 17:49:55.893+02
0190cbaf-8fef-7535-8fd6-ab7316259338	2024-07-19 17:49:58.895+02
0190cbaf-9baa-74f3-aa9e-bf2d2fa84e68	2024-07-19 17:50:01.898+02
0190cbaf-a766-7ef6-871d-2f25e217a6ea	2024-07-19 17:50:04.902+02
0190cbaf-b321-717b-8d42-5969de7e7c1e	2024-07-19 17:50:07.905+02
0190cbaf-bedb-79c1-b67d-0034d51ac1ad	2024-07-19 17:50:10.907+02
0190cbaf-ca95-7d70-a8c0-f4daa60cbe21	2024-07-19 17:50:13.909+02
0190cbaf-d64f-7ffe-89cd-987377b2cc07	2024-07-19 17:50:16.911+02
0190cbaf-e20a-7260-95d6-32fec0a7e472	2024-07-19 17:50:19.914+02

Ils sont classés à la suite dans l'index, ce qui est tout l'intérêt de la version 7.

Noter que cette fonction économise les 8 octets par ligne d'un champ `creation_date`, que beaucoup de développeurs ajoutent.

Création de table :

Utilisez une clause `DEFAULT` pour générer l'UUID à la volée :

```
CREATE TABLE test_uuidv4 (id uuid DEFAULT ( gen_random_uuid() ) PRIMARY KEY,
                           <autres champ>... ) ;
```

```
CREATE TABLE test_uuidv7 (id uuid DEFAULT ( uuidv7() ) PRIMARY KEY,
                           <autres champ>... ) ;
```

2.1.5 UUID : une indexation facile



```
CREATE UNIQUE INDEX ON nomtable USING btree (champ_uuid) ;
```

L'index B-tree classique convient parfaitement pour trier des UUID. En général on le veut `UNIQUE` (plus pour parer à des erreurs humaines qu'à de très improbables collisions dans l'algorithme de génération).

2.1.6 UUID : résumé



- Si vous avez besoin des UUID, préférez la version 7.
- Les séquences habituelles restent recommandables en interne.

Si des données doivent être échangées avec d'autres systèmes, les UUID sont un excellent moyen de garantir l'unicité d'identifiants universels.

Si vous les générez vous-mêmes, préférez les UUID version 7. Des UUID v4 (totalement aléatoires) restent sinon recommandables, avec les soucis potentiels de cache et de fragmentation évoqués ci-dessus.

Pour les jointures internes à l'applicatif, conservez les séquences habituelles, (notamment avec `GENERATED ALWAYS AS IDENTITY`), ne serait-ce que pour leur simplicité.

2.2 TYPES TABLEAUX

2.2.1 Tableaux : principe



- Collection ordonnée d'un même type
- Types `integer[]`, `text[]`, etc.

```
SELECT ARRAY [1,2,3] ;

SELECT '{1,2,3}'::integer[] ;

-- lignes vers tableau
SELECT array_agg (i) FROM generate_series (1,3) i ;

-- tableau vers lignes
SELECT unnest ( '{1,2,3}'::integer[] ) ;

CREATE TABLE demotab ( id int, liste integer[] ) ;
```

Un tableau est un ensemble d'objets d'un même type. Ce type de base est généralement un numérique ou une chaîne, mais ce peut être un type structuré (géométrique, JSON, type personnalisé...), voire un type tableau. Les tableaux peuvent être multidimensionnels.

Un tableau se crée par exemple avec le constructeur `ARRAY`, avec la syntaxe `{...}::type[]`, ou en agrégeant des lignes existantes avec `array_agg`. À l'inverse, on peut transformer un tableau en lignes grâce à la fonction `unnest`. Les syntaxes `[numéro]` et `[début:fin]` permettent d'extraire un élément ou une partie d'un tableau. Deux tableaux se concatènent avec `||`.



Les tableaux sont ordonnés, ce ne sont pas des ensembles. Deux tableaux avec les mêmes données dans un ordre différent ne sont pas identiques.

Références :

- Documentation officielle :
 - syntaxe et exemples¹⁴;
 - constructeur de tableau `ARRAY`¹⁵;
 - fonctions et opérateurs tableau¹⁶ : `array_to_string`, `string_to_array`, `unnest`, `array_agg`, `array_length`, `array_cat`, `array_append`, `array_prepend`, `cardinality`, `array_position` / `array_positions`, `array_fill`, `array_remove`, `array_shuffle`, `trim_array` ...

¹⁴<https://docs.postgresql.fr/current/arrays.html>

¹⁵<https://docs.postgresql.fr/current/sql-expressions.html#SQL-SYNTAX-ARRAY-CONSTRUCTORS>

¹⁶<https://docs.postgresql.fr/current/arrays.html>

2.2.2 Tableaux : recherche de valeurs



```
-- Recherche de valeurs (toutes)
SELECT * FROM demotab
WHERE liste @> ARRAY[15,11] ;

-- Au moins 1 élément commun ?
SELECT * FROM demotab
WHERE liste && ARRAY[11,55] ;

-- 1 tableau exact
SELECT * FROM demotab
WHERE liste = '{11,55}'::int[] ;
```

```
CREATE TABLE demotab ( id int, liste int[] ) ;
```

```
INSERT INTO demotab (id, liste)
SELECT i, array_agg (j)
FROM   generate_series (1,5) i,
LATERAL generate_series (i*10, i*10+5) j
GROUP BY i
;
```

```
TABLE demotab ;
```

id	liste
1	{10,11,12,13,14,15}
3	{30,31,32,33,34,35}
5	{50,51,52,53,54,55}
4	{40,41,42,43,44,45}
2	{20,21,22,23,24,25}

Recherchons des lignes contenant certaines valeurs :

```
-- Ceci échoue car 11 n'est le PREMIER élément sur aucune ligne
SELECT * FROM demotab
WHERE liste[1] = 11 ;
```

```
-- Recherche de la ligne qui contient 11
SELECT * FROM demotab
WHERE liste @> ARRAY[11] ;
```

id	liste
1	{10,11,12,13,14,15}

```
-- Recherche de la ligne qui contient 11 ET 15 (ordre indifférent)
SELECT * FROM demotab
WHERE liste @> ARRAY[15,11] ;
```

id	liste
1	{10,11,12,13,14,15}

```
-- Recherche des deux lignes contenant 11 OU 55 (éléments communs)
```

```
SELECT * FROM demotab
WHERE liste && ARRAY[11,55] ;
```

id	liste
1	{10,11,12,13,14,15}
5	{50,51,52,53,54,55}

2.2.3 Tableaux : performances



Quel intérêt par rapport à 1 valeur par ligne ?

- Allège certains modèles en réduisant les jointures
 - ex : champ avec des n°s de téléphone
 - si pas de contraintes
- Grosse économie en place (*time series*)
 - 24 octets par ligne
 - et parfois mécanisme TOAST
- Mais...
 - mise à jour compliquée/lente
 - indexation moins simple

Une bonne modélisation aboutit en général à des valeurs uniques, chacune dans son champ sur sa ligne. Les tableaux stockent plusieurs valeurs dans un même champ d'une ligne, et vont donc à l'encontre de cette bonne pratique.

Cependant les tableaux peuvent être très pratiques pour alléger la modélisation sans tomber dans de mauvaises pratiques. Typiquement, on remplacera :

```
-- Mauvaise pratique : champs identiques séparés à nombre fixe
```

```
CREATE TABLE personnes ( ...
  telephone1 text,
  telephone2 text ... ) ;
```

par :

```
CREATE TABLE personnes ( ...
  telephones text[] ) ;
```

Une table des numéros de téléphone serait *stricto sensu* plus propre et flexible, mais induirait des jointures supplémentaires. De plus, il est impossible de poser des contraintes de validation (`CHECK`) sur des éléments de tableau sans créer un type intermédiaire. (Dans des cas plus complexes où il faut typer le numéro, on peut utiliser un tableau d'un type structuré, ou basculer vers un type JSON, qui peut lui-même contenir des tableaux, mais a un maniement un peu moins évident. L'intérêt du type structuré sur un champ JSON ou hstore est qu'il est plus compact, mais évidemment sans aucune flexibilité.)

Quand il y a beaucoup de lignes et peu de valeurs sur celles-ci, il faut se rappeler que chaque ligne d'une base de données PostgreSQL a un coût d'au moins 24 octets de données « administratives »,

même si l'on ne stocke qu'un entier par ligne, par exemple. Agréger des valeurs dans un tableau permet de réduire mécaniquement le nombre de lignes et la volumétrie sur le disque et celles des écritures. Par contre, le développeur devra savoir comment utiliser ces tableaux, comment retrouver une valeur donnée à l'intérieur d'un champ multicolonne, et comment le faire efficacement.

De plus, si le champ concaténé est assez gros (typiquement 2 ko), le mécanisme TOAST¹⁷ peut s'activer et procéder à la compression du champ tableau, ou à son déport dans une table système de manière transparente.

Les tableaux peuvent donc permettre un gros gain de volumétrie. De plus, les données d'un même tableau, souvent utilisées ensemble, restent forcément dans le même bloc. L'effet sur le cache est donc extrêmement intéressant.

Par exemple, ces deux tables contiennent 6,3 millions de valeurs réparties sur 366 jours :

```
-- Table avec 1 valeur/ligne
CREATE TABLE serieparligne (d timestampz PRIMARY KEY,
                             valeur int );

INSERT INTO serieparligne
SELECT d, extract (hour from d)
FROM generate_series ('2020-01-01'::timestampz,
                     '2020-12-31'::timestampz, interval '5 s') d ;

SET default_toast_compression TO lz4 ; -- conseillé pour PG >= 14

-- Table avec les 17280 valeurs du jour sur 366 lignes :
CREATE TABLE serieparjour (d date PRIMARY KEY,
                           valeurs int[]
                           ) ;

INSERT INTO serieparjour
SELECT d::date, array_agg ( extract (hour from d) )
FROM generate_series ('2020-01-01'::timestampz,
                     '2020-12-31'::timestampz, interval '5 s') d
GROUP BY d::date ;
```

La différence de taille est d'un facteur 1000 :

```
ANALYZE serieparjour,serieparligne ;

SELECT
  c.relnamespace::regnamespace || '.' || relname AS TABLE,
  reltuples AS nb_lignes_estimees,
  pg_size_pretty(pg_table_size(c.oid)) AS " Table (dont TOAST)",
  pg_size_pretty(pg_relation_size(c.oid)) AS " Heap",
  pg_size_pretty(pg_relation_size(reltoastrelid)) AS " Toast",
  pg_size_pretty(pg_indexes_size(c.oid)) AS " Index",
  pg_size_pretty(pg_total_relation_size(c.oid)) AS "Total"
FROM   pg_class c
WHERE  relkind = 'r'
AND    relname like 'seriepar%';

-[ RECORD 1 ]-----+-----
```

¹⁷https://dali.bo/m4_html#m%C3%A9canisme-toast

```

table | public.serieparjour
nb_lignes_estimees | 366
Table (dont TOAST) | 200 kB
Heap | 168 kB
Toast | 0 bytes
Index | 16 kB
Total | 216 kB
-[ RECORD 2 ]-----+
table | public.serieparligne
nb_lignes_estimees | 6.3072e+06
Table (dont TOAST) | 266 MB
Heap | 266 MB
Toast | 
Index | 135 MB
Total | 402 MB

```

Ce cas est certes extrême (beaucoup de valeurs par ligne et peu de valeurs distinctes).

Les cas réels sont plus complexes, avec un horodatage moins régulier. Par exemple, l'outil OPM stocke plutôt des tableaux d'un type composé d'une date et de la valeur relevée¹⁸, et non la valeur seule.

Dans beaucoup de cas, cette technique assez simple évite de recourir à des extensions spécialisées payantes comme TimescaleDB¹⁹, voire à des bases de données spécialisées.



Évidemment, le code devient moins simple. Selon les besoins, il peut y avoir besoin de stockage temporaire, de fonctions de compactage périodique... Il devient plus compliqué de retrouver une valeur précise. Ce n'est pas trop un souci dans les cas pour une recherche ou pré-sélection à partir d'un autre critère (ici la date, indexée). Pour la recherche dans les tableaux, voir plus bas. Les mises à jour des données à l'intérieur d'un tableau deviennent moins faciles et peuvent être lourdes en CPU avec de trop gros tableaux.

2.2.4 Tableaux : indexation



- B-tree inutilisable
- GIN plus adapté pour recherche d'une valeur
 - opérateurs `&&`, `@>`
 - mais plus lourd

Indexer un champ tableau est techniquement possible avec un index B-tree, le type d'index par défaut. Mais cet index est en pratique peu performant. De toute façon il ne permet que de chercher un tableau entier (ordonné) comme critère.

¹⁸https://github.com/OPMDG/opm-core/blob/ae89f025407ab144e1e30abd7d6580f258945d61/pg/opm_core--2.6.sql#L41

¹⁹<https://www.timescale.com/products>

Dans les exemples précédents, les index B-tree sont plutôt à placer sur un autre champ (la date, l'ID), qui ramène une ligne entière.

D'autres cas nécessitent de chercher une valeur parmi celles des tableaux (par exemple dans des listes de propriétés). Dans ce cas, un index GIN sera plus adapté, même si cet index est un peu lourd. Les opérateurs `||` et `@>` sont utilisables. La valeur recherchée peut être n'importe où dans les tableaux.

```
TRUNCATE TABLE demotab ;
-- 500 000 lignes
INSERT INTO demotab (id, liste)
SELECT i, array_agg (j)
FROM generate_series (1,500000) i,
LATERAL generate_series (mod(i*10,100000), mod(i*10,100000)+5) j
GROUP BY i ;
```

```
CREATE INDEX demotab_gin ON demotab USING gin (liste);
```

```
EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS) SELECT * FROM demotab
WHERE liste @> ARRAY[45] ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on demotab (cost=183.17..2377.32 rows=2732 width=49) (actual
↳ time=0.958..1.014 rows=50 loops=1)
  Recheck Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
  Heap Blocks: exact=50
  Buffers: shared hit=211
  -> Bitmap Index Scan on demotab_gin (cost=0.00..182.49 rows=2732 width=0)
  ↳ (actual time=0.945..0.945 rows=50 loops=1)
      Index Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
      Buffers: shared hit=161
Planning:
  Buffers: shared hit=4
Planning Time: 0.078 ms
Execution Time: 1.042 ms
```

Là encore, on récupère les tableaux entiers qui contiennent la valeur demandée. Selon le besoin, il faudra peut-être parcourir les éléments récupérés, ce qui coûtera un peu de CPU :

```
EXPLAIN (ANALYZE)
SELECT id,
  (SELECT count(*) FROM unnest (liste) e WHERE e=45) AS nb_occurences_45
FROM demotab
WHERE liste @> ARRAY[45] ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on demotab (cost=23.37..2417.62 rows=2500 width=12) (actual
↳ time=0.067..0.325 rows=50 loops=1)
  Recheck Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
  Heap Blocks: exact=50
  -> Bitmap Index Scan on demotab_gin (cost=0.00..22.75 rows=2500 width=0) (actual
  ↳ time=0.024..0.024 rows=50 loops=1)
      Index Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
  SubPlan 1
    -> Aggregate (cost=0.13..0.14 rows=1 width=8) (actual time=0.003..0.003 rows=1
    ↳ loops=50)
```

```
-> Function Scan on unnest e (cost=0.00..0.13 rows=1 width=0) (actual
↪  time=0.002..0.002 rows=1 loops=50)
    Filter: (e = 45)
    Rows Removed by Filter: 5
Planning Time: 0.240 ms
Execution Time: 0.388 ms
```

Quant aux recherches sur une plage de valeurs dans les tableaux, elles ne sont pas directement indexables par un index GIN.

Pour les détails sur les index GIN, voir le module J5²⁰.

²⁰https://dali.bo/j5_html#gin-et-les-tableaux

2.3 TYPES COMPOSÉS

2.3.1 Types composés : généralités



- Un champ = plusieurs attributs
- De loin préférable à une table Entité/Attribut/Valeur
- Uniquement si le modèle relationnel n'est pas assez souple
- 3 types dans PostgreSQL :
 - `hstore` : clé/valeur
 - `json` : JSON, stockage texte, validation syntaxique, fonctions d'extraction
 - `jsonb` : JSON, stockage binaire, accès rapide, fonctions d'extraction, de requête, indexation avancée

Ces types sont utilisés quand le modèle relationnel n'est pas assez souple, donc s'il est nécessaire d'ajouter dynamiquement des colonnes à la table suivant les besoins du client, ou si le détail des attributs d'une entité n'est pas connu (modélisation géographique par exemple), etc.

La solution traditionnelle est de créer des tables entité/attribut de ce format :

```
CREATE TABLE attributs_sup (entite int, attribut text, valeur text);
```

On y stocke dans `entite` la clé de l'enregistrement de la table principale, dans `attribut` la colonne supplémentaire, et dans `valeur` la valeur de cet attribut. Ce modèle présente l'avantage évident de résoudre le problème. Les défauts sont par contre nombreux :

- Les attributs d'une ligne peuvent être totalement éparpillés dans la table `attributs_sup` : récupérer n'importe quelle information demandera donc des accès à de nombreux blocs différents.
- Il faudra plusieurs requêtes (au moins deux) pour récupérer le détail d'un enregistrement, avec du code plus lourd côté client pour fusionner le résultat des deux requêtes, ou bien une requête effectuant des jointures (autant que d'attributs, sachant que le nombre de jointures complexifie énormément le travail de l'optimiseur SQL) pour retourner directement l'enregistrement complet.

Toute recherche complexe est très inefficace : une recherche multicritère sur ce schéma va être extrêmement peu performante. Les statistiques sur les valeurs d'un attribut deviennent nettement moins faciles à estimer pour PostgreSQL. Quant aux contraintes d'intégrité entre valeurs, elles deviennent pour le moins complexes à gérer.

Les types `hstore`, `json` et `jsonb` permettent de résoudre le problème autrement. Ils stockent les différentes entités dans un seul champ pour chaque ligne de l'entité. L'accès aux attributs se fait par une syntaxe ou des fonctions spécifiques.

Il n'y a même pas besoin de créer une table des attributs séparée : le mécanisme du TOAST²¹ permet

²¹https://dali.bo/m4_html#m%C3%A9canisme-toast

de déporter les champs volumineux (texte, JSON, `hstore` ...) dans une table séparée gérée par PostgreSQL, éventuellement en les compressant, et cela de manière totalement transparente. On y gagne donc en simplicité de développement.

2.4 HSTORE

2.4.1 hstore : principe



Stocker des données non structurées

- Extension
- Stockage Clé/Valeur, uniquement texte
- Binaire
- Indexable
- Plusieurs opérateurs disponibles

hstore est une extension, fournie en « contrib ». Elle est donc systématiquement disponible. L'installer permet d'utiliser le type de même nom. On peut ainsi stocker un ensemble de clés/valeurs, exclusivement textes, dans un unique champ.

Ces champs sont indexables et peuvent recevoir des contraintes d'intégrité (unicité, non recouvrement...).

Les `hstore` ne permettent par contre qu'un modèle « plat ». Il s'agit d'un pur stockage clé-valeur. Si vous avez besoin de stocker des informations davantage orientées document, vous devrez vous tourner vers un type JSON.

Ce type perd donc de son intérêt depuis que PostgreSQL 9.4 a apporté le type `jsonb`. Il lui reste sa simplicité d'utilisation.

2.4.2 hstore : exemple



```
CREATE EXTENSION hstore ;

CREATE TABLE animaux (nom text, caract hstore);
INSERT INTO animaux VALUES ('canari','pattes=>2,vole=>oui');
INSERT INTO animaux VALUES ('loup','pattes=>4,carnivore=>oui');
INSERT INTO animaux VALUES ('carpe','eau=>douce');

CREATE INDEX idx_animaux_donnees ON animaux
    USING gist (caract);

SELECT *, caract->'pattes' AS nb_pattes FROM animaux
WHERE caract@>'carnivore=>oui';
```

nom	caract	nb_pattes
loup	"pattes"=>"4", "carnivore"=>"oui"	4

Les ordres précédents installent l'extension, créent une table avec un champ de type `hstore`, insèrent trois lignes, avec des attributs variant sur chacune, indexent l'ensemble avec un index GiST, et enfin recherchent les lignes où l'attribut `carnivore` possède la valeur `t`.

```
SELECT * FROM animaux ;
```

nom	caract
canari	"vole"=>"oui", "pattes"=>"2"
loup	"pattes"=>"4", "carnivore"=>"oui"
carpe	"eau"=>"douce"

Les différentes fonctions disponibles sont bien sûr dans la documentation²².

Par exemple :

```
UPDATE animaux SET caract = caract || 'poil=>t':hstore
WHERE nom = 'loup' ;
```

```
SELECT * FROM animaux WHERE caract@>'carnivore=>oui';
```

nom	caract
loup	"poil"=>"t", "pattes"=>"4", "carnivore"=>"oui"

Il est possible de convertir un `hstore` en tableau :

```
SELECT hstore_to_matrix(caract) FROM animaux
WHERE caract->'vole' = 'oui';
```

```
hstore_to_matrix
-----
{ {vole,oui},{pattes,2} }
```

ou en JSON :

```
SELECT caract::jsonb FROM animaux
WHERE (caract->'pattes')::int > 2;
```

```
caract
-----
{"pattes": "4", "poil": "t", "carnivore": "oui"}
```

L'indexation de ces champs peut se faire avec divers types d'index. Un index unique n'est possible qu'avec un index B-tree classique. Les index GIN ou GiST sont utiles pour rechercher des valeurs d'un attribut. Les index hash ne sont utiles que pour des recherches d'égalité d'un champ entier; par contre ils sont très compacts.

²²<https://docs.postgresql.fr/current/hstore.html>

2.5 JSON

2.5.1 JSON & PostgreSQL



```
{
  "firstName": "Jean",
  "lastName": "Dupont",
  "age": 27,
  "address": {
    "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre",
    "city": "Paris",
    "postalCode": "75009"
  }
}
```

- `json` : format texte
- `jsonb` : format binaire, à préférer
- `jsonpath` : SQL/JSON paths (requête)

Le format JSON²³ est devenu extrêmement populaire. Au-delà d'un simple stockage clé/valeur, il permet de stocker des tableaux, ou des hiérarchies, de manière plus simple et lisible qu'en XML. Par exemple, pour décrire une personne, on peut utiliser cette structure :

```
{
  "firstName": "Jean",
  "lastName": "Dupont",
  "isAlive": true,
  "age": 27,
  "address": {
    "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre",
    "city": "Paris",
    "state": "",
    "postalCode": "75002"
  },
  "phoneNumbers": [
    {
      "type": "personnel",
      "number": "06 12 34 56 78"
    },
    {
      "type": "bureau",
      "number": "07 89 10 11 12"
    }
  ],
  "children": [],
  "spouse": null
}
```

²³https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation

Historiquement, le JSON est apparu dans PostgreSQL 9.2, mais n'est vraiment utilisable qu'avec l'arrivée du type `jsonb` (binaire) dans PostgreSQL 9.4. Ce dernier est le type à utiliser.

Les opérateurs SQL/JSON path ont été ajoutés dans PostgreSQL 12²⁴, suite à l'introduction du JSON dans le standard SQL :2016.

2.5.2 Type json



- Type texte
- avec validation du format
- Réservé au stockage à l'identique
- Préférer `jsonb`

Le type natif `json`, dans PostgreSQL, n'est rien d'autre qu'un habillage autour du type texte. Il valide à chaque insertion/modification que la donnée fournie est une syntaxe JSON valide. Le stockage est exactement le même qu'une chaîne de texte, et utilise le mécanisme du TOAST²⁵, qui compresse les grands champs au besoin, de manière transparente pour l'utilisateur. Le fait que la donnée soit validée comme du JSON permet d'utiliser des fonctions de manipulation, comme l'extraction d'un attribut, la conversion d'un JSON en enregistrement, de façon systématique sur un champ sans craindre d'erreur.

Mais on préférera généralement le type binaire `jsonb` pour les performances, et ses fonctionnalités supplémentaires. Le seul intérêt du type `json` texte est de conserver un objet JSON sous sa forme originale, y compris l'ordre des clés, les espaces inutiles compris, et les clés dupliquées (la dernière étant celle prise en compte) :

```
SELECT '{"cle2": 0, "cle1": 6,      "cle2": 4, "cle3": 17}':json ;
```

json

```
-----
{"cle2": 0, "cle1": 6,      "cle2": 4, "cle3": 17}
```

```
SELECT '{"cle2": 0, "cle1": 6,      "cle2": 4, "cle3": 17}':jsonb ;
```

jsonb

```
-----
{"cle1": 6, "cle2": 4, "cle3": 17}
```

Une partie des exemples suivants avec le type `jsonb` est aussi applicable au `json`. Beaucoup de fonctions existent sous les deux formes (par exemple `json_build_object` et `jsonb_build_object`), mais beaucoup d'autres sont propres au type `jsonb`.

²⁴<https://paquier.xyz/postgresql-2/postgres-12-jsonpath/>

²⁵https://dali.bo/m4_html#mécanisme-toast

2.5.3 Type jsonb



- **JSON** au format **Binaire**
- Indexation GIN
- Langage JSONPath

Le type `jsonb` permet de stocker les données dans un format binaire optimisé. Ainsi, il n'est plus nécessaire de désérialiser l'intégralité du document pour accéder à une propriété.

Les gains en performance sont importants. Par exemple une requête simple comme celle-ci :

```
SELECT personne_nom->'id' FROM json.personnes;
```

passse de 5 à 1,5 s sur une machine en convertissant le champ de `json` à `jsonb` (pour ½ million de champs JSON totalisant 900 Mo environ pour chaque version, ici sans TOAST notable et avec une table intégralement en cache).

Encore plus intéressant : `jsonb` supporte les index GIN, et la syntaxe JSONPath pour le requêtage et l'extraction d'attributs. `jsonb` est donc le type le plus intéressant pour stocker du JSON dans PostgreSQL.

2.5.4 Validation du format JSON



```
SELECT '{"auteur": "JRR Tolkien","titre":"Le Hobbit"}' IS JSON ;  
-- true
```

```
SELECT '{"auteur": "JRR Tolkien","titre":"Le Hobbit"}' IS JSON ;  
-- false
```

- Aussi : `IS JSON WITH/WITHOUT UNIQUE KEYS`, `IS JSON ARRAY`, `IS JSON OBJECT`, `IS JSON SCALAR`
- PostgreSQL 16+

À partir de PostgreSQL 16 existe le prédicat `IS JSON`. Il peut être appliqué sur des champs `text` ou `bytea` et évidemment sur des champs `json` et `jsonb`. Il permet de repérer notamment une faute de syntaxe comme dans le deuxième exemple ci-dessus.

Existent aussi :

- l'opérateur `IS JSON WITH UNIQUE KEYS` pour garantir l'absence de clé en doublon :

```
SELECT '{"auteur": "JRR", "auteur": "Tolkien", "titre": "Le Hobbit"}'  
IS JSON WITH UNIQUE KEYS AS valid ;
```

```
valid
-----
f

SELECT '{"prenom": "JRR", "nom": "Tolkien", "titre": "Le Hobbit"}'
IS JSON WITH UNIQUE KEYS AS valid ;
```

```
valid
-----
t
```

- l'opérateur `IS JSON WITHOUT UNIQUE KEYS` pour garantir l'absence de clé unique;
- l'opérateur `IS JSON ARRAY` pour le bon formatage des tableaux :

```
SELECT
$$[{"auteur": "JRR Tolkien", "titre": "La confrérie de l'anneau"},
  {"auteur": "JRR Tolkien", "titre": "Les deux tours"},
  {"auteur": "JRR Tolkien", "titre": "Le retour du roi"}]$$
IS JSON ARRAY AS valid ;
```

```
valid
-----
t
```

- des opérateurs `IS JSON SCALAR` et `IS JSON OBJECT` pour valider par exemple le contenu de fragments d'un objet JSON.

```
-- NB : l'opérateur ->> renvoie un texte
SELECT '{"nom": "production", "version": "1.1"}'::json ->> 'version'
IS JSON SCALAR AS est_nombre ;
```

```
est_nombre
-----
t
```

Noter que la RFC impose qu'un JSON soit en UTF-8, qui est l'encodage recommandé, mais pas obligatoire, d'une base PostgreSQL.

2.5.5 JSON : Exemple d'utilisation



```
CREATE TABLE personnes (datas jsonb );
INSERT INTO personnes (datas) VALUES (
{
  "firstName": "Jean",
  "lastName": "Valjean",
  "address": {
    "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre",
    "city": "Paris",
    "postalCode": "75002"
  },
  "phoneNumbers": [
    { "number": "06 12 34 56 78" },
    { "type": "bureau", "number": "07 89 10 11 12" }
  ],
  "children": ["Cosette"]
} ), (
{
  "firstName": "Georges",
  "lastName": "Durand",
  "address": {
    "streetAddress": "27 rue des Moulins",
    "city": "Châteauneuf",
    "postalCode": "45990"
  },
  "phoneNumbers": [
    { "number": "06 21 34 56 78" },
    { "type": "bureau", "number": "07 98 10 11 12" }
  ],
  "children": []
} ), (
{
  "firstName": "Jacques",
  "lastName": "Dupont",
  "isAlive": true,
  "age": 27,
  "address": {
    "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre",
    "city": "Paris",
    "state": "",
    "postalCode": "75002"
  },
  "phoneNumbers": [
    {
      "type": "personnel",
      "number": "+33 1 23 45 67 89"
    },
    {
      "type": "bureau",
      "number": "07 00 00 01 23"
    }
  ],
  "children": [],
  "spouse": "Martine Durand"
} );
```


Un champ de type `jsonb` (ou `json`) accepte tout champ JSON directement.

2.5.6 JSON : construction



```
SELECT '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb ;
SELECT jsonb_build_object ('nom', 'Lagaffe', 'prenom', 'Gaston') ;
```

Pour construire un petit JSON, le transtypage d'une chaîne peut suffire dans les cas simples. `jsonb_build_object` permet de limiter les erreurs de syntaxe.

Dans un JSON, l'ordre n'a pas d'importance.

2.5.7 JSON : Affichage des attributs



```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,      -- text
       datas->'address'    AS addr         -- jsonb
FROM personnes ;

SELECT  datas #>> '{address,city}',          -- text
        datas #> '{address,city}'          -- jsonb
FROM personnes ; -- text

SELECT datas['address']['city'] as villes from personnes ; -- jsonb, v14

SELECT datas['address']->>'city' as villes from personnes ; -- text, v14

-- Attention : pas de contrôle de l'existence de la clé!
-- et attention à la casse
```

Le type `json` dispose de nombreuses fonctions et opérateurs de manipulation et d'extraction.

Attention au type en retour, qui peut être du texte ou du JSON. Les opérateurs `->>` et `->` renvoient respectivement une valeur au format texte, et au format JSON :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,
       datas->'address'    AS addr
FROM personnes \gdesc
```

Column	Type
-----+-----	
prenom	text
addr	jsonb

Pour l’affichage, la fonction `jsonb_pretty` améliore la lisibilité :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,
       jsonb_pretty (datas->'address') AS addr
FROM personnes ;
```

prenom	addr
Jean	{ "city": "Paris", "postalCode": "75002", "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre"+ }
Georges	{ "city": "Châteauneuf", "postalCode": "45990", "streetAddress": "27 rue des Moulins"+ }
Jacques	{ "city": "Paris", "state": "", "postalCode": "75002", "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre"+ }

L'équivalent existe avec des chemins, avec `#>` et `#>>` :

```
SELECT datas #>> '{address,city}' AS villes FROM personnes ;
```

```
villes
-----
Paris
Châteauneuf
Paris
```

Depuis la version 14, une autre syntaxe plus claire est disponible, plus simple, et qui renvoie du JSON :

```
SELECT datas['address']['city'] AS villes FROM personnes ;
```

```
villes
-----
"Paris"
"Châteauneuf"
"Paris"
```

Avec cette syntaxe, une petite astuce permet de convertir en texte sans utiliser `->>['city']` (en toute rigueur, `->>0` renverra le premier élément d’un tableau) :

```
SELECT datas['address']['city']->>0 AS villes FROM personnes ;
```

```
villes
-----
Paris
Châteauneuf
paris
```



PostgreSQL ne contrôle absolument pas que les clés JSON (comme ici `firstName` ou `city`) sont valides ou pas. La moindre faute de frappe (ou de casse!) entraînera une valeur `NULL` en retour. C'est la conséquence de l'absence de schéma dans un JSON, contrepartie de sa souplesse.

2.5.8 Modifier un JSON



```
-- Concaténation (attention aux NULL)
SELECT '{"nom": "Durand"}'::jsonb ||
    '{"address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}'::jsonb ;

-- Suppression
SELECT  '{"nom": "Durand",
        "address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}'::jsonb
        - 'nom' ;

SELECT  '{"nom": "Durand",
        "address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}'::jsonb
        #- '{address,postalcode}' ;

-- Modification
SELECT jsonb_set ('{"nom": "Durand", "address": {"city":
    ↪ "Paris"}}'::jsonb,
    '{"address"}',
    '{"ville": "Lyon" }'::jsonb) ;
```

L'opérateur `||` concatène deux `jsonb` pour donner un autre `jsonb` :

```
SELECT '{"nom": "Durand"}'::jsonb ||
    '{"address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}'::jsonb ;

{"nom": "Durand", "address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}
```

Comme d'habitude, le résultat est `NULL` si l'un des JSON est `NULL`. Dans le doute, on peut utiliser `{}` comme élément neutre :

```
SELECT '{"nom": "Durand"}'::jsonb || coalesce (NULL::jsonb, '{}') ;

{"nom": "Durand"}
```

Pour supprimer un attribut d'un `jsonb`, il suffit de l'opérateur `-` et d'un champ texte indiquant l'attribut à supprimer. Il existe une variante avec `text[]` pour supprimer plusieurs attributs :

```
SELECT '{"nom": "Durand", "prenom": "Georges",
        "address": {"city": "Paris"}}'::jsonb
        - '{nom, prenom}'::text[] ;

{"address": {"city": "Paris"}}
```

ainsi que l'opérateur pour supprimer un sous-attribut :

```
SELECT '{"nom": "Durand",
  "address": {"city": "Paris", "postalcode": "75002"}}'::jsonb
  #- '{address,postalcode}' ;

{"nom": "Durand", "address": {"city": "Paris"}}
```

La fonction `jsonb_set` modifie l'attribut indiqué dans un `jsonb` :

```
SELECT jsonb_set ('{"nom": "Durand", "address": {"city": "Paris"}}'::jsonb,
  '{address}',
  '{"ville": "Lyon" }'::jsonb) ;

{"nom": "Durand", "address": {"ville": "Lyon"}}
```

Attention, le sous-attribut est intégralement remplacé, et non fusionné. Dans cet exemple, le code postal disparaît :

```
SELECT jsonb_set ('{"nom": "Durand",
  "address": {"postalcode": 69001, "city": "Paris"}}'::jsonb,
  '{address}',
  '{"ville": "Lyon" }'::jsonb) ;

{"nom": "Durand", "address": {"ville": "Lyon"}}
```

Il vaut mieux indiquer le chemin complet en second paramètre :

```
SELECT jsonb_set ('{"nom": "Durand",
  "address": {"postalcode": 69001, "city": "Paris"}}'::jsonb,
  '{address, city}',
  '"Lyon"'::jsonb) ;

{"nom": "Durand", "address": {"city": "Lyon", "postalcode": 69001}}
```

2.5.9 JSON, tableaux et agrégation



— Manipuler des tableaux :

- `jsonb_array_elements()`, `jsonb_array_elements_text()`
- `jsonb_agg()` (de JSON ou de scalaires)
- `jsonb_agg()_strict` (sans les NULL)

```
SELECT jsonb_array_elements (datas->'phoneNumbers')->>'number'
FROM personnes ;
```

Un JSON peut contenir un tableau de texte, nombre, ou autres JSON. Il est possible de déstructurer ces tableaux, mais il est compliqué de requêter sur leur contenu.

`jsonb_array_elements` permet de parcourir ces tableaux :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,
       jsonb_array_elements (datas->'phoneNumbers')->>'number' AS numero
FROM   personnes ;
```

prenom	numero
Jean	06 12 34 56 78
Jean	07 89 10 11 12
Georges	06 21 34 56 78
Georges	07 98 10 11 12
Jacques	+33 1 23 45 67 89
Jacques	07 00 00 01 23

Avec la syntaxe JSONPath, le résultat est le même :

```
SELECT datas->>'firstName',
       jsonb_path_query (datas, '$.phoneNumbers[*].number')->>0 AS numero
FROM   personnes ;
```

Si l'on veut retrouver un type tableau, il faut réagréger, car `jsonb_path_query` et `jsonb_array_elements` renvoient un ensemble de lignes. On peut utiliser une clause `LATERAL`, qui sera appelée pour chaque ligne (ce qui est lent) puis réagréger :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,
       jsonb_agg (n) AS numeros_en_json -- tableau de JSON
FROM   personnes,
LATERAL (SELECT jsonb_path_query (datas, '$.phoneNumbers[*].number') ) AS nums(n)
GROUP BY prenom ;
```

prenom	numeros_en_json
Jean	["06 12 34 56 78", "07 89 10 11 12"]
Georges	["06 21 34 56 78", "07 98 10 11 12"]
Jacques	["+33 1 23 45 67 89", "07 00 00 01 23"]

On voit que la fonction `jsonb_agg` envoie un tableau de JSON.

Si l'on veut un tableau de textes :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom,
       array_agg ( n->>'number' ) AS telephones -- text[]
FROM   personnes,
LATERAL (SELECT jsonb_path_query (datas, '$.phoneNumbers[*]') ) AS nums(n)
GROUP BY prenom ;
```

prenom	telephones
Jean	{"06 12 34 56 78","07 89 10 11 12"}
Georges	{"06 21 34 56 78","07 98 10 11 12"}
Jacques	{"+33 1 23 45 67 89","07 00 00 01 23"}

Noter que la clause `LATERAL` supprime les personnes sans téléphone. On peut utiliser `LEFT OUTER JOIN LATERAL`, ou l'exemple suivant. On suppose aussi que le prénom est une clé de regroupement suffisante; un identifiant quelconque serait plus pertinent.

Cette autre variante avec un sous-`SELECT` sera plus performante avec de nombreuses lignes, car elle évite le regroupement :

```
SELECT  datas->>'firstName' AS prenom,
        (SELECT array_agg (nt) FROM (
            SELECT (jsonb_path_query (datas, '$.phoneNumbers[*]'))->>'number'
            ) AS nums(nt) ) AS telephones      -- text[]
FROM    personnes ;
```

Il existe une autre fonction d'agrégation des JSON plus pratique, nommée `jsonb_agg_strict()`, qui supprime les valeurs à `null` de l'agrégat (mais pas un attribut à `null`). Pour d'autres cas, il existe aussi `jsonb_strip_nulls()` pour nettoyer un JSON de toutes les valeurs `null` si une clé est associée (pas dans un tableau) :

```
SELECT  jsonb_agg (username) AS u1,
        jsonb_strip_nulls (jsonb_agg (username)) AS u1b,
        jsonb_agg_strict (username) AS u2
FROM    pg_stat_activity \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
u1 | ["postgres", null, "postgres", null, null, null]
u1b | ["postgres", null, "postgres", null, null, null]
u2 | ["postgres", "postgres"]
```

```
SELECT  jsonb_agg ( to_jsonb(rq) ) AS a1,
        jsonb_agg_strict ( to_jsonb(rq) ) AS a2,
        jsonb_agg ( jsonb_strip_nulls (to_jsonb(rq) ) ) AS a3,
        jsonb_strip_nulls(jsonb_agg ( to_jsonb(rq) ) ) AS a4
FROM    (
    SELECT pid, username FROM pg_stat_activity
    ) AS rq ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
a1 | [{"pid": 1583585, "username": "postgres"}, {"pid": 2425, "username": null},
    ↪ {"pid": 2426, "username": "postgres"}, {"pid": 2421, "username": null}, {"pid":
    ↪ 2422, "username": null}, {"pid": 2424, "username": null}]
a2 | [{"pid": 1583585, "username": "postgres"}, {"pid": 2425, "username": null},
    ↪ {"pid": 2426, "username": "postgres"}, {"pid": 2421, "username": null}, {"pid":
    ↪ 2422, "username": null}, {"pid": 2424, "username": null}]
a3 | [{"pid": 1583585, "username": "postgres"}, {"pid": 2425}, {"pid": 2426,
    ↪ "username": "postgres"}, {"pid": 2421}, {"pid": 2422}, {"pid": 2424}]
a4 | [{"pid": 1583585, "username": "postgres"}, {"pid": 2425}, {"pid": 2426,
    ↪ "username": "postgres"}, {"pid": 2421}, {"pid": 2422}, {"pid": 2424}]
```

2.5.10 Conversions jsonb / relationnel (1)



- Construire un ensemble de tuples depuis un objet JSON :
 - `jsonb_each()`
- Avec des types préexistants :
 - `jsonb_populate_record()`, `jsonb_populate_recordset`
- Types définis à la volée :
 - `jsonb_to_record()`, `jsonb_to_recordset()`
- Construire un JSON depuis une requête :
 - `to_jsonb (<requête>)`
- Attention aux types
 - `jsonb_typeof()`

Plusieurs fonctions permettant de construire du `jsonb`, ou de le manipuler de manière ensembliste. (En version 17 ou supérieure, le plus simple et pratique sera souvent la fonction `JSON_TABLE` présentée plus bas.)

`jsonb_each` :

`jsonb_each` décompose les clés et retourne une ligne par clé. Là encore, on multiplie le nombre de lignes.

```
SELECT
  j.key,      -- text
  j.value    -- jsonb
FROM personnes p CROSS JOIN jsonb_each(p.datas) j ;
```

key	value
address	{"city": "Paris", "postalCode": "75002", "streetAddress": "43 rue du Faubourg Montmartre"}
children	["Cosette"]
lastName	"Valjean"
firstName	"Jean"
phoneNumbers	[{"number": "06 12 34 56 78"}, {"type": "bureau", "number": "07 89 10 11 12"}]
address	{"city": "Châteauneuf", "postalCode": "45990", "streetAddress": "27 rue des Moulins"}
children	[]
lastName	"Durand"
firstName	"Georges"
phoneNumbers	[{"number": "06 21 34 56 78"}, {"type": "bureau", "number": "07 98 10 11 12"}]
age	27
spouse	"Martine Durand"
...	

`jsonb_populate_record/jsonb_populate_recordset` :

Si les noms des attributs et champs sont bien identiques (casse comprise!) entre JSON et table cible,

`jsonb_populate_record` peut être pratique :

```
CREATE TABLE nom_prenom_age (
  "firstName" text,
  "lastName" text,
  age int,
  present boolean) ;
-- Ceci renvoie un RECORD, peu pratique :
SELECT jsonb_populate_record (null::nom_prenom_age, datas) FROM personnes ;
-- Cette version renvoie des lignes
SELECT np.*
FROM personnes,
     LATERAL jsonb_populate_record (null::nom_prenom_age, datas) np ;
```

firstName	lastName	age	present
Jean	Valjean		
Georges	Durand		
Jacques	Dupont	27	

Les attributs du JSON non récupérés sont ignorés, les valeurs absentes du JSON sont à NULL. Il existe une possibilité de créer des valeurs par défaut :

```
SELECT np.*
FROM personnes,
     LATERAL jsonb_populate_record (('X','Y',null,true)::nom_prenom_age, datas) np ;
```

firstName	lastName	age	present
Jean	Valjean		t
Georges	Durand		t
Jacques	Dupont	27	t

`jsonb_populate_recordset` sert dans le cas des tableaux de JSON.

Définir un type au lieu d'une table fonctionne aussi.

jsonb_to_record/jsonb_to_recordset :

`jsonb_to_record` renvoie un enregistrement avec des champs correspondant à chaque attribut JSON, donc bien typés. Pour fonctionner, la fonction exige une clause `AS` avec les attributs voulus et leur bon type. (Là encore, attention à la casse exacte des noms d'attributs sous peine de se retrouver avec des valeurs à `NULL`.)

```
SELECT p.*
FROM personnes,
     LATERAL jsonb_to_record(datas) AS p ("firstName" text, "lastName" text);
```

firstName	lastName
Jean	Valjean
Georges	Durand
Jacques	Dupont

Les autres attributs de notre exemple peuvent être extraits également, ou re-convertis en enregistrements avec une autre clause `LATERAL`. Si ces attributs sont des tableaux, on peut générer une ligne par élément de tableau avec `json_to_recordset` :

```
SELECT p.*, t.*
FROM personnes,
  LATERAL jsonb_to_record(datas) AS p ("firstName" text, "lastName" text),
  LATERAL jsonb_to_recordset (datas->'phoneNumbers') AS t ("number" json) ;
```

firstName	lastName	number
Jean	Valjean	"06 12 34 56 78"
Jean	Valjean	"07 89 10 11 12"
Georges	Durand	"06 21 34 56 78"
Georges	Durand	"07 98 10 11 12"
Jacques	Dupont	" +33 1 23 45 67 89"
Jacques	Dupont	"07 00 00 01 23"

À l'inverse, transformer le résultat d'une requête en JSON est très facile avec `to_jsonb` :

```
SELECT to_jsonb(rq) FROM (
  SELECT pid, datname, application_name FROM pg_stat_activity
) AS rq ;
```

to_jsonb
<pre>{ "pid": 2428, "datname": null, "application_name": "" }, { "pid": 2433, "datname": null, "application_name": "" }, { "pid": 1404455, "datname": "postgres", "application_name": "pgbench" }, { "pid": 1404456, "datname": "postgres", "application_name": "pgbench" }, { "pid": 1404457, "datname": "postgres", "application_name": "pgbench" }, { "pid": 1404458, "datname": "postgres", "application_name": "pgbench" }, { "pid": 1404459, "datname": "postgres", "application_name": "pgbench" }, { "pid": 1406914, "datname": "postgres", "application_name": "psql" }, { "pid": 2425, "datname": null, "application_name": "" }, { "pid": 2424, "datname": null, "application_name": "" }, { "pid": 2426, "datname": null, "application_name": "" }</pre>

jsonb_typeof :

Pour connaître le type d'un attribut JSON :

```
SELECT jsonb_typeof (datas->'firstName'),
  jsonb_typeof (datas->'age')
FROM personnes ;
```

jsonb_typeof	jsonb_typeof
string	
string	
string	number

2.5.11 Conversions jsonb / relationnel (2) : JSON_TABLE



```
SELECT * FROM t,
JSON_TABLE (
    t.champ_json ,
    '$ ? (@.age == 42)'
    COLUMNS (age int PATH '$.age',
               nom text PATH '$.name')) ;
```

- PostgreSQL 17+
- conversion d'un JSON en vue, avec types
- clause `NESTED PATH` pour les tableaux dans le JSON
- paramètres : clause `PASSING`

À partir de PostgreSQL 17, la fonction `JSON_TABLE()` permet de présenter des données JSON sous forme de vue. C'est sans doute la manière la plus pratique.

Le premier paramètre que prend la fonction, appelé `context_item`, est une source JSON sur laquelle sera évaluée l'expression JSON. Il est possible de récupérer des données présentes dans une structure imbriquée, avec la clause `NESTED PATH`.

Exemple :

Prenons l'exemple suivant d'une table créée à partir d'un fichier JSON. Le fichier d'exemple généré à l'aide de mockaroo.com peut être récupéré sur <https://dali.bo/999people>.

```
# Récupération du fichier d'exemple
curl -L https://dali.bo/999people -o /tmp/999people.json

-- Récupération du JSON, par exemple ainsi :
-- Table de travail
CREATE TEMP TABLE t0 (coll jsonb) ;
-- Chargement du JSON en modifiant les délimiteurs du CSV
\copy t0 (coll) FROM '/tmp/999people.json' CSV quote e'\x01' delimiter e'\x02' ;
-- Les 999 lignes sont converties en autant de lignes
CREATE TABLE t1 (uid int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY, utilisateur jsonb);
INSERT INTO t1 (utilisateur)
SELECT jsonb_array_elements (coll) AS utilisateur from t0 ;
-- Insertion d'une nouvelle ligne
INSERT INTO t1 (utilisateur)
SELECT '{
    "guid": "c39c493b-6759-47b8-9c3f-10b1b59ba8ef",
    "isActive": false,
    "balance": "$3,363.44",
    "age": 23,
    "name": "Claudine Howell",
    "gender": "female",
    "email": "claudinehowell@aquasseur.com",
    "address": "482 Fiske Place, Ogema, Pennsylvania, 1753",
    "registered": "2023-12-22T05:16:27 -01:00",
```

```
"latitude": -88.430942,
"longitude": 34.196733
}':jsonb ;
```

Voici un exemple d'une ligne contenue dans la table `t1` :

```
SELECT utilisateur FROM t1 WHERE uid=1000 ;
```

```
{ "age": 23, "guid": "c39c493b-6759-47b8-9c3f-10b1b59ba8ef", "name": "Claudine
↪ Howell", "email": "claudinehowell@aquasseur.com", "gender": "female",
↪ "address": "482 Fiske Place, Ogema, Pennsylvania, 1753", "balance":
↪ "$3,363.44", "isActive": false, "latitude": -88.430942, "longitude": 34.196733,
↪ "registered": "2023-12-22T05:16:27 -01:00" }
```

Si l'on souhaite récupérer une vue avec uniquement les informations de l'âge et du nom présents dans les lignes de la table `t1`, la commande suivante peut être utilisée :

```
SELECT resultats.*
FROM t1,
  JSON_TABLE(utilisateur,
    '$' COLUMNS (age int PATH '$.age', nom text PATH '$.name'))
AS resultats ;
```

age	nom
40	Selma Tippell
39	Leonardo Coupland
83	Jessica Riggott
81	Smith Carroll
59	Marthe MacCaig
...	
66	Hurley Cosgra
23	Claudine Howell

(1000 lignes)

- `JSON_TABLE(utilisateur, '$')` indique que toute la source JSON (le champ de nom `utilisateur`) doit être utilisée lors de l'évaluation. Cette fonction sera appelée une fois pour chaque ligne de `t1`.
- `COLUMNS (age int PATH '$.age', name text PATH '$.name')` est la clause qui permet d'indiquer quelles colonnes seront présentes dans la vue résultante et où retrouver les données associées.
- La clause `PATH` indique l'emplacement de la donnée dans la donnée JSON.

Le résultat peut être manipulé comme tout résultat de requête : consultation, export, vue...



Les champs sont correctement typés (suivant ceux indiqués dans `COLUMNS`). En cas d'incohérence, il n'y aura pas d'erreur, mais une valeur `NULL`.

Filtrage des valeurs :

La clause `'$'` peut être plus complexe pour ne renvoyer que certaines lignes :

```

SELECT resultats.*
FROM t1,
     JSON_TABLE(t1.utilisateur,
                '$ ? (@.age == 23)'
                COLUMNS (age int PATH '$.age', nom text PATH '$.name'))
AS resultats ;

```

age	nom
23	Cleo Folkard
23	Olivie Schenfisch
...	
23	Ernestine Pugsley
23	Tobit Herrema
23	Ainsley Wootton
23	Claudine Howell

(17 lignes)

La syntaxe utilisée pour les filtrages et sélections de champs est le JSON path, qui sera détaillée plus loin.

Nested path :

La clause `NESTED PATH` permet d'exploiter des tableaux à l'intérieur d'un champ JSON tel que celui-ci, ce qui multiplie encore les lignes. Ils peuvent être numérotés avec la clause `FOR ORDINALITY`.

```

INSERT INTO t1 (utilisateur)
SELECT '{"name":"Roach Crosby",
       "friends":[{"id":0,"name":"Deloris Wilkerson"},
                  {"id":1,"name":"Pitts Lambert"},
                  {"id":2,"name":"Alicia Myers"}]}'::jsonb ;

```

L'expression d'évaluation est légèrement plus complexe :

```

SELECT t1.uid, resultats.*
FROM t1,
     JSON_TABLE(t1.utilisateur,
                '$' COLUMNS (
                  nom text PATH '$.name',
                  NESTED PATH '$.friends[*]'
                  COLUMNS (
                    numero FOR ORDINALITY,
                    ami text PATH '$.name' ))
                ) AS resultats
WHERE t1.uid >= 1000 ;

```

uid	nom	numero	ami
1000	Claudine Howell		
1001	Roach Crosby	1	Deloris Wilkerson
1001	Roach Crosby	2	Pitts Lambert
1001	Roach Crosby	3	Alicia Myers

(4 lignes)

Il existe une clause `PASSING` pour transmettre des critères de recherche proprement. Par exemple, pour connaître les amis de Roach Crosby (paramètre `filter1`), qui ne commencent *pas* par « Pitts » (paramètre `filter2`), et pour calculer un critère booléen sur un critère (`filter2`) :

```

SELECT t1.uid, resultats.*
FROM t1,
     JSON_TABLE(utilisateur,
                '$ ? (@.name == $filter1)'
                PASSING 'Roach Crosby' AS filter1,
                        'Pitts' AS filter2,
                        0 AS filter3
                COLUMNS (
                    nom text PATH '$.name',
                    NESTED PATH '$.friends[*] ? (!(@.name starts with $filter2))'
                    COLUMNS (
                        numero FOR ORDINALITY,
                        ami text PATH '$.name',
                        meilleurami bool EXISTS PATH '$.id ? (@ == $filter3)'))
                ) AS resultats
;

```

uid	nom	numero	ami	meilleurami
1001	Roach Crosby	1	Deloris Wilkerson	t
1001	Roach Crosby	2	Alicia Myers	f

Le plan d'exécution d'une telle requête (ici avec `VERBOSE`) indique un appel de fonction pour chaque ligne (`loops=1001`), sans détail sur l'exécution de cette fonction :

QUERY PLAN

```

-----
Nested Loop (actual time=1.795..1.799 rows=2 loops=1)
  Output: t1.uid, resultats.nom, resultats.numero, resultats.ami,
  ↳ resultats.meilleurami
  Buffers: shared hit=48
  -> Seq Scan on public.t1 (actual time=0.013..0.165 rows=1001 loops=1)
      Output: t1.uid, t1.utilisateur
      Buffers: shared hit=48
  -> Table Function Scan on "json_table" resultats (actual time=0.001..0.001 rows=0
  ↳ loops=1001)
      Output: resultats.nom, resultats.numero, resultats.ami,
  ↳ resultats.meilleurami
      Table Function Call: JSON_TABLE(t1.utilisateur, '$?(@."name" == $"filter1")'
  ↳ AS json_table_path_0 PASSING 'Roach Crosby'::text AS filter1, 'Pitts'::text AS
  ↳ filter2, 0 AS filter3 COLUMNS (nom text PATH '$."name"', NESTED PATH
  ↳ '$."friends"[*]?(!(@."name" starts with $"filter2"))' AS json_table_path_1
  ↳ COLUMNS (numero FOR ORDINALITY, ami text PATH '$."name"', meilleurami boolean
  ↳ EXISTS PATH '$."id"?(@ == $"filter3")'))
  Planning Time: 0.114 ms
  Execution Time: 1.835 ms

```

Documentation :

— Documentation officielle : `JSON_TABLE`²⁶

²⁶<https://www.postgresql.org/docs/current/functions-json.html#FUNCTIONS-SQLJSON-TABLE>

2.5.12 JSON : performances



Inconvénients par rapport à un modèle normalisé :

- Perte d'intégrité (types, contraintes, FK...)
- Complexité du code
- Pas de statistiques sur les clés JSON!
- Pas forcément plus léger en disque
 - clés répétées
- Lire 1 attribut = lire tout le JSON
 - voire accès table TOAST
- Mise à jour : tout ou rien
- Indexation délicate

Les attributs JSON sont très pratiques quand le schéma est peu structuré. Mais la complexité supplémentaire de code nuit à la lisibilité des requêtes. En termes de performances, ils sont coûteux, pour les raisons que nous allons voir.

Les contraintes d'intégrité sur les types, les tailles, les clés étrangères... ne sont pas disponibles. Rien ne vous interdit d'utiliser un attribut `country` au lieu de `pays`, avec une valeur `FR` au lieu de `France`. Les contraintes protègent de nombreux bugs, mais elles sont aussi une aide précieuse pour l'optimiseur.

Chaque JSON récupéré l'est en bloc. Si un seul attribut est récupéré, PostgreSQL devra charger tout le JSON et le décomposer. Cela peut même coûter un accès supplémentaire à une table TOAST pour les gros JSON. Rappelons que le mécanisme du TOAST permet à PostgreSQL de compresser à la volée un grand champ texte, binaire, JSON... et/ou de le déporter dans une table annexe interne, le tout étant totalement transparent pour l'utilisateur. Pour les détails, voir cet extrait de la formation DBA2²⁷.

Il n'y a pas de mise à jour partielle : modifier un attribut implique de décomposer tout le JSON pour le réécrire entièrement (et parfois en le *détoastant/retoastant*). Si le JSON est trop gros, modifier ses sous-attributs par plusieurs processus différents peut poser des problèmes de verrouillage. Pour citer la documentation²⁸ :



« Les données JSON sont sujettes aux mêmes considérations de contrôle de concurrence que pour n'importe quel autre type de données quand elles sont stockées en table. Même si stocker de gros documents est prévisible, il faut garder à l'esprit que chaque mise à jour acquiert un verrou de niveau ligne sur toute la ligne. Il faut envisager de limiter les documents JSON à une taille gérable pour réduire les contentions sur verrou lors des transactions en mise à jour. Idéalement, les documents JSON devraient chacun représenter une donnée atomique, que les règles métiers imposent de ne pas pouvoir subdiviser en données plus petites qui pourraient être modifiées séparément. »

²⁷https://dali.bo/m4_html#mécanisme-toast

²⁸<https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html#JSON-INDEXING>

Un gros point noir est l'absence de statistiques propres aux clés du JSON. Le planificateur va avoir beaucoup de mal à estimer les cardinalités des critères. Nous allons voir des contournements possibles.

Suivant le modèle, il peut y avoir une perte de place, puisque les clés sont répétées entre chaque attribut JSON, et non normalisées dans des tables séparées.

Enfin, nous allons voir que l'indexation est possible, mais moins triviale qu'à l'habitude.

Ces inconvénients sont à mettre en balance avec les intérêts du JSON (surtout : éviter des lignes avec trop d'attributs toujours à NULL, si même on les connaît), les fréquences de lecture et mises à jour des JSON, et les modalités d'utilisation des attributs.

Certaines de ces limites peuvent être réduites par les techniques ci-dessous.

2.5.13 Recherche dans un champ JSON (1)



Sans JSONPath :

```
SELECT * FROM personnes ...

WHERE datas->>'lastName' = 'Durand'; -- textes

WHERE datas->'lastName' = '"Durand"'::jsonb ; -- JSON

WHERE datas @> '{"nom": "Durand"}'::jsonb ; -- contient

WHERE datas ? 'spouse' ; -- attribut existe ?

WHERE datas ?| '{spouse,children}'::text[] ; -- un des champs ?

WHERE datas ?& '{spouse,children}'::text[] ; -- tous les champs ?
```

Mais comment indexer ?

Pour chercher les lignes avec un champ JSON possédant un attribut d'une valeur donnée, il existe plusieurs opérateurs (au sens syntaxique). Les comparaisons directes de textes ou de JSON sont possibles, mais nous verrons qu'elles ne sont pas simplement indexables.

L'opérateur `@>` (« contient ») est généralement plus adapté, mais il faut fournir un JSON avec le critère de recherche.

L'opérateur `?` permet de tester l'existence d'un attribut dans le JSON (même vide). Plusieurs attributs peuvent être testés avec `?|` (« ou » logique) ou `?&` (« et » logique).

2.5.14 Recherche dans un champ JSON (2) : SQL/JSON et JSONPath



- SQL :2016 introduit SQL/JSON et le langage JSONPath
- JSONPath :
 - langage de recherche pour JSON
 - concis, flexible, plus rapide
 - depuis PostgreSQL 12, étendu à chaque version

JSONPath²⁹ est un langage de requêtage permettant de spécifier des parties d'un champ JSON, même complexe. Il a été implémenté dans de nombreux langages, et a donc une syntaxe différente de celle du SQL, mais souvent déjà familière aux développeurs. Il évite de parcourir manuellement les nœuds et tableaux du JSON, ce qui est vite fastidieux en SQL.

Le standard SQL :2016 intègre le SQL/JSON³⁰. PostgreSQL 12 contient déjà l'essentiel des fonctionnalités SQL/JSON, y compris JSONPath, mais elles sont complétées dans les versions suivantes.

2.5.15 Recherche dans un champ JSON (3) : Exemples SQL/JSON & JSONPath



```
SELECT ... FROM ...

-- recherche
WHERE datas @? '$.lastName ? (@ == "Valjean")' ;
WHERE datas @@ '$.lastName == "Valjean"' ;

SELECT jsonb_path_query(datas, '$.phoneNumbers[*] ? (@.type == "bureau"')
FROM   personnes
WHERE  datas @@ '$.lastName == "Durand"' ;

-- Affichage + filtrage
SELECT datas->>'lastName',
       jsonb_path_query(datas, '$.address ? (@.city == "Paris"')
FROM   personnes ;
```

Par exemple, une recherche peut se faire ainsi, et elle profitera d'un index GIN :

```
SELECT datas->>'firstName' AS prenom
FROM   personnes
WHERE  datas @@ '$.lastName == "Durand"' ;
```

```
prenom
```

```
-----
```

```
Georges
```

²⁹<https://en.wikipedia.org/wiki/JSONPath>

³⁰<https://modern-sql.com/blog/2017-06/whats-new-in-sql-2016#json-path>

Les opérateurs `@@` et `@?` sont liés à la recherche et au filtrage. La différence entre les deux est liée à la syntaxe à utiliser. Ces deux exemples renvoient la même ligne :

```
SELECT * FROM personnes
WHERE datas @? '$.lastName ? (@ == "Valjean")' ;
```

```
SELECT * FROM personnes
WHERE datas @@ '$.lastName == "Valjean"' ;
```

Il existe des fonctions équivalentes, `jsonb_path_exists` et `jsonb_path_match` :

```
SELECT datas->>'lastName' AS nom,
       jsonb_path_exists (datas, '$.lastName ? (@ == "Valjean")'),
       jsonb_path_match  (datas, '$.lastName == "Valjean"')
FROM personnes ;
```

nom	jsonb_path_exists	jsonb_path_match
Valjean	t	t
Durand	f	f
Dupont	f	f

(Pour les détails sur ces opérateurs et fonctions, et des exemples sur des filtres plus complexes (inégalités par exemple), voir par exemple : <https://justatheory.com/2023/10/sql-jsonpath-operators/>.)

Un autre intérêt est la fonction `jsonb_path_query`, qui permet d'extraire facilement des parties d'un tableau :

```
SELECT jsonb_path_query (datas, '$.phoneNumbers[*] ? (@.type == "bureau") ')
FROM personnes ;
```

jsonb_path_query
{"type": "bureau", "number": "07 89 10 11 12"}
{"type": "bureau", "number": "07 98 10 11 13"}

Ici, `jsonb_path_query` génère une ligne par élément du tableau `phoneNumbers` inclus dans le JSON.

L'appel suivant effectue un filtrage sur la ville :

```
SELECT jsonb_path_query (datas, '$.address ? (@.city == "Paris")')
FROM personnes ;
```

Cependant, pour que l'indexation GIN fonctionne, il faudra l'opérateur `@?` :

```
SELECT datas->>'lastName',
FROM personnes
WHERE personne @? '$.address ? (@.city == "Paris")' ;
```

Au final, le code JSONPath est souvent plus lisible que celui utilisant de nombreuses fonctions `jsonb` spécifiques à PostgreSQL. Un développeur le manipule déjà souvent dans un autre langage.

On trouvera d'autres exemples dans la présentation de Postgres Pro dédié à la fonctionnalité lors la parution de PostgreSQL 12³¹, ou dans un billet de Michael Paquier³².

³¹<https://www.postgresql.eu/events/pgconfeu2019/sessions/session/2555/slides/221/jsonpath-pgconfeu-2019.pdf>

³²<https://paquier.xyz/postgresql-2/postgres-12-jsonpath/>

2.5.16 jsonb : indexation (1/2)



- Index fonctionnel sur un attribut précis
 - bonus : statistiques

```
CREATE INDEX idx_prs_nom ON personnes ((datas->>'lastName')) ;
ANALYZE personnes ;
```
- Colonne générée (dénormalisée) :
 - champ normal, indexable, facile à utiliser, rapide à lire
 - statistiques

```
ALTER TABLE personnes
ADD COLUMN lastname text
GENERATED ALWAYS AS ((datas->>'lastName')) STORED ;
```
- Préférer `@>` et `@?` que des fonctions

Index fonctionnel :

L'extraction d'une partie d'un JSON est en fait une fonction immuable, donc indexable. Un index fonctionnel permet d'accéder directement à certaines propriétés, par exemple :

```
CREATE INDEX idx_prs_nom ON personnes ((datas->>'lastName')) ;
```

Mais il ne fonctionnera que s'il y a une clause `WHERE` avec cette expression exacte. Pour un attribut fréquemment utilisé pour des recherches, c'est le plus efficace.



On n'oubliera pas de lancer un `ANALYZE` pour calculer les statistiques après création de l'index fonctionnel. Même si l'index est peu discriminant, on obtient ainsi de bonnes statistiques sur son critère.

Colonne générée :

Une autre possibilité est de dénormaliser l'attribut JSON intéressant dans un champ séparé de la table, et indexable :

```
ALTER TABLE personnes
ADD COLUMN lastname text
GENERATED ALWAYS AS ((datas->>'lastName')) STORED ;
```

```
ANALYZE personnes ;
```

```
CREATE INDEX ON personnes (lastname) ;
```

Cette colonne générée est mise à jour quand le JSON est modifié, et n'est pas modifiable autrement. C'est à part cela un champ simple, indexable avec un B-tree, et avec ses statistiques propres.

Ce champ coûte certes un peu d'espace disque supplémentaire, mais il améliore la lisibilité du code, et facilite l'usage avec certains outils ou pour certains utilisateurs. Dans le cas des gros JSON, il peut

aussi éviter quelques allers-retours vers la table TOAST. Même sans utilisation d'un index, un champ normal est beaucoup plus rapide à lire dans la ligne qu'un attribut extrait d'un JSON.

2.5.17 jsonb : indexation (2/2)



- Indexation « schemaless » grâce au GIN :
 - attention au choix de l'opérateur
 - opérateur par défaut*
 - pour critères : ?, ?|, ?& , @> , @?, @@*
 - CREATE INDEX** idx_prs **ON** personnes **USING** gin(datas) ;
 - index plus performant*
 - mais que @> , @?, @@*
 - CREATE INDEX** idx_prs **ON** personnes **USING** gin(datas jsonb_path_ops) ;

Index GIN :

Les champs `jsonb` peuvent tirer parti de fonctionnalités avancées de PostgreSQL, notamment les index GIN, et ce via deux classes d'opérateurs.

L'opérateur par défaut de GIN pour `jsonb` est `jsonb_ops`. Mais il est souvent plus efficace de choisir l'opérateur `jsonb_path_ops`. Ce dernier donne des index plus petits et performants sur des clés fréquentes, bien qu'il ne supporte que certains opérateurs de recherche (`@>`, `@?` et `@@`) (voir les détails³³), ce qui suffit généralement.

```
CREATE INDEX idx_prs ON personnes USING gin (datas jsonb_path_ops) ;
```

`jsonb_path_ops` supporte notamment l'opérateur « contient » (`@>`) :

```
EXPLAIN (ANALYZE)
SELECT datas->>'firstName' FROM personnes
WHERE datas @> '{"lastName": "Dupont"}'::jsonb ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on personnes (cost=2.01..3.02 rows=1 width=32)
    (actual time=0.018..0.019 rows=1 loops=1)
    Recheck Cond: (datas @> '{"lastName": "Dupont"}'::jsonb)
    Heap Blocks: exact=1
    -> Bitmap Index Scan on idx_prs (cost=0.00..2.01 rows=1 width=0)
        (actual time=0.010..0.010 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (datas @> '{"lastName": "Dupont"}'::jsonb)
Planning Time: 0.052 ms
Execution Time: 0.104 ms
```

Un index GIN est moins efficace qu'un index fonctionnel B-tree classique, mais il est idéal quand la clé de recherche n'est pas connue, et que n'importe quel attribut du JSON peut être un critère.

Un index GIN ne permet cependant pas d'*Index Only Scan*.

³³<https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html#JSON-INDEXING>

Surtout, un index GIN ne permet pas de recherches sur des opérateurs B-tree classiques (`<`, `<=`, `>`, `>=`), ou sur le contenu de tableaux. On est obligé pour cela de revenir au monde relationnel, ou se rabattre sur les index fonctionnels ou colonnes générées vus plus haut. Attention, des fonctions comme `jsonb_path_query` ne savent pas utiliser les index. Il est donc préférable d'utiliser les opérateurs spécifiques, comme « contient » (`@>`) ou « existe » en JSONPath (`@?`).

2.5.18 Pour aller plus loin...



Lire la documentation

- 8.14 Types JSON :
 - <https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html>
- 9.16 Fonctions & opérateurs JSON :
 - <https://docs.postgresql.fr/current/functions-json.html>

Les fonctions et opérateurs indiqués ici ne représentent qu'une partie de ce qui existe. Certaines fonctions sont très spécialisées, ou existent en plusieurs variantes voisines. Il est conseillé de lire ces deux chapitres de documentation lors de tout travail avec les JSON. Attention à la version de la page : des fonctionnalités sont ajoutées à chaque version de PostgreSQL.

2.6 XML

2.6.1 XML : présentation



- Type `xml`
 - stocke un document XML
 - valide sa structure
- Quelques fonctions et opérateurs disponibles :
 - `XMLPARSE`, `XMLSERIALIZE`, `query_to_xml`, `xmlagg`
 - `xpath` (XPath 1.0 uniquement)

Le type `xml`, inclus de base, vérifie que le XML inséré est un document « bien formé », ou constitue des fragments de contenu (« content »). L'encodage UTF-8 est impératif. Il y a quelques limitations par rapport aux dernières versions du standard, XPath et XQuery³⁴. Le stockage se fait en texte, donc bénéficie du mécanisme de compression TOAST.

Il existe quelques opérateurs et fonctions de validation et de manipulations, décrites dans la documentation du type `xml`³⁵ ou celle des fonctions³⁶. Par contre, une simple comparaison est impossible et l'indexation est donc impossible directement. Il faudra passer par une expression XPath.

À titre d'exemple : `XMLPARSE` convertit une chaîne en document XML, `XMLSERIALIZE` procède à l'opération inverse.

```
CREATE TABLE liste_cd (catalogue xml) ;
\d liste_cd
```

Table « public.liste_cd »				
Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	Par défaut
catalogue	xml			

```
INSERT INTO liste_cd
SELECT XMLPARSE ( DOCUMENT
$$<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<CATALOG>
  <CD>
    <TITLE>The Times They Are a-Changin'</TITLE>
    <ARTIST>Bob Dylan</ARTIST>
    <COUNTRY>USA</COUNTRY>
    <YEAR>1964</YEAR>
  </CD>
  <CD>
    <TITLE>Olympia 1961</TITLE>
    <ARTIST>Jacques Brel</ARTIST>
    <COUNTRY>France</COUNTRY>
```

³⁴<https://docs.postgresql.fr/current/xml-limits-conformance.html>

³⁵<https://docs.postgresql.fr/current/datatype-xml.html>

³⁶<https://docs.postgresql.fr/current/functions-xml.html>

```
<YEAR>1962</YEAR>
</CD>
</CATALOG> $$ ) ;
--- Noter le $$ pour délimiter une chaîne contenant une apostrophe
```

```
SELECT XMLSERIALIZE (DOCUMENT catalogue AS text) FROM liste_cd;
```

```
          xmlserialize
-----
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>      +
<CATALOG>                                     +
  <CD>                                         +
    <TITLE>The Times They Are a-Changin'</TITLE>+
    <ARTIST>Bob Dylan</ARTIST>                 +
    <COUNTRY>USA</COUNTRY>                     +
    <YEAR>1964</YEAR>                           +
  </CD>                                         +
  <CD>                                         +
    <TITLE>Olympia 1961</TITLE>                 +
    <ARTIST>Jacques Brel</ARTIST>               +
    <COUNTRY>France</COUNTRY>                   +
    <YEAR>1962</YEAR>                           +
  </CD>                                         +
</CATALOG>                                     +
(1 ligne)
```

Il existe aussi `query_to_xml` pour convertir un résultat de requête en XML, `xmlagg` pour agréger des champs XML, ou `xpath` pour extraire des nœuds suivant une expression XPath 1.0.

NB : l'extension `xml2`³⁷ est dépréciée et ne doit pas être utilisée dans les nouveaux projets.

³⁷<https://docs.postgresql.fr/current/xml2.html>

2.7 OBJETS BINAIRES

2.7.1 Objets binaires : les types



- Souvent une mauvaise idée...
- 2 méthodes
 - `bytea` : type binaire
 - *Large Objects* : manipulation comme un fichier

PostgreSQL permet de stocker des données au format binaire, potentiellement de n'importe quel type, par exemple des images ou des PDF.

Il faut vraiment se demander si des binaires ont leur place dans une base de données relationnelle. Ils sont généralement beaucoup plus gros que les données classiques. La volumétrie peut donc devenir énorme, et encore plus si les binaires sont modifiés, car le mode de fonctionnement de PostgreSQL aura tendance à les dupliquer. Cela aura un impact sur la fragmentation, la quantité de journaux, la taille des sauvegardes, et toutes les opérations de maintenance. Ce qui est intéressant à conserver dans une base sont des données qu'il faudra rechercher, et l'on recherche rarement au sein d'un gros binaire. En général, l'essentiel des données binaires que l'on voudrait confier à une base peut se contenter d'un stockage classique, PostgreSQL ne contenant qu'un chemin ou une URL vers le fichier réel.

PostgreSQL donne le choix entre deux méthodes pour gérer les données binaires :

- `bytea` : un type comme un autre;
- *Large Object* : des objets séparés, à gérer indépendamment des tables.

2.7.2 `bytea`



- Un type comme les autres
 - `bytea` : tableau d'octets
 - en texte : `bytea_output` = `hex` ou `escape`
- Récupération intégralement en mémoire!
- Toute modification entraîne la réécriture complète du `bytea`
- Maxi 1 Go (à éviter)
 - en pratique intéressant pour quelques Mo
 - compressé/déporté (TOAST)
- Import :

```
SELECT pg_read_binary_file ('/chemin/fichier');
```

Voici un exemple :

```
CREATE TABLE demo_bytea(a bytea);
INSERT INTO demo_bytea VALUES ('bonjour'::bytea);
SELECT * FROM demo_bytea ;
```

a
\x626f6e6a6f7572

Nous avons inséré la chaîne de caractère « bonjour » dans le champ bytea, en fait sa représentation binaire dans l'encodage courant (UTF-8). Si nous interrogeons la table, nous voyons la représentation textuelle du champ bytea. Elle commence par `\x` pour indiquer un encodage de type `hex`. Ensuite, chaque paire de valeurs hexadécimales représente un octet.

Un second format d'affichage est disponible : `escape` :

```
SET bytea_output = escape ;
SELECT * FROM demo_bytea ;
```

a
bonjour

```
INSERT INTO demo_bytea VALUES ('journée'::bytea);
SELECT * FROM demo_bytea ;
```

a
bonjour
journ\303\251e

Le format de sortie `escape` ne protège donc que les valeurs qui ne sont pas représentables en ASCII 7 bits. Ce format peut être plus compact pour des données textuelles essentiellement en alphabet latin sans accent, où le plus gros des caractères n'aura pas besoin d'être protégé.

Cependant, le format `hex` est bien plus efficace à convertir, et est le défaut depuis PostgreSQL 9.0.



Avec les vieilles applications, ou celles restées avec cette configuration, il faudra peut-être forcer `bytea_output` à `escape`, sous peine de corruption.)

Pour charger directement un fichier, on peut notamment utiliser la fonction `pg_read_binary_file`, exécutée par le serveur PostgreSQL :

```
INSERT INTO demo_bytea (a)
SELECT pg_read_binary_file ('/chemin/fichier');
```

En théorie, un `bytea` peut contenir 1 Go. En pratique, on se limitera à nettement moins, ne serait-ce que parce `pg_dump` tombe en erreur quand il doit exporter des bytea de plus de 500 Mo environ (le décodage double le nombre d'octets et dépasse cette limite de 1 Go).

Les `bytea` profitent du mécanisme TOAST³⁸ et sont donc généralement compressés et/ou dépla-

³⁸https://dali.bo/m4_html#m%C3%A9canisme-toast

cés dans une table associé à la table principale. Encore plus que d'habitude, il faut proscrire les `SELECT *` dans votre code pour éviter de lire cette table quand ce n'est pas nécessaire.

La documentation officielle³⁹ liste les fonctions pour encoder, décoder, extraire, hacher... les `bytea`.

2.7.3 Large Object



- À éviter...
 - préférer `bytea`
 - Maxi 4 To (éviter...)
 - Objet indépendant des tables
 - OID à stocker dans les tables
 - se compresse mal
 - Suppression manuelle!
 - trigger
 - `lo_unlink` & `vacuumlo`
 - Fonction de manipulation, modification
 - `lo_create`, `lo_import`
 - `lo_seek`, `lo_open`, `lo_read`, `lo_write` ...

Un *large object* est un objet totalement décorrélié des tables. Le code doit donc gérer cet objet séparément :

- créer le *large object* et stocker ce qu'on souhaite dedans;
- stocker la référence à ce *large object* dans une table (avec le type `lob`);
- interroger l'objet séparément de la table;
- le supprimer explicitement quand il n'est plus référencé : il ne disparaîtra pas automatiquement!

Le *large object* nécessite donc un plus gros investissement au niveau du code.

En contrepartie, il a les avantages suivant :

- une taille jusqu'à 4 To, ce qui n'est tout de même pas conseillé;
- la possibilité d'accéder à une partie directement (par exemple les octets de 152 000 à 153 020), ce qui permet de le transférer par parties sans le charger en mémoire (notamment, le driver JDBC de PostgreSQL fournit une classe `LargeObject`⁴⁰);
- de ne modifier que cette partie sans tout réécrire.

Cependant, nous déconseillons son utilisation autant que possible :

- le stockage des *large objects* ne prévoit pas vraiment de compression : des `bytea` prendront moins de place;

³⁹<https://docs.postgresql.fr/current/functions-binarystring.html>

⁴⁰<https://jdbc.postgresql.org/documentation/binary-data/>

- il est facile et fréquent d’oublier de purger des *large objects* supprimés;
- une sauvegarde logique partielle les oublie facilement (voir l’option `--large-objects` de `pg_dump`⁴¹);
- `pg_dump` n’est pas optimisé pour sauver de nombreux *large objects* : la sauvegarde de la table `pg_largeobject` ne peut être parallélisée et peut consommer transitoirement énormément de mémoire s’il y a trop d’objets.

Il y a plusieurs méthodes pour nettoyer les *large objects* devenu inutiles :

- appeler la fonction `lo_unlink` dans le code client — au risque d’oublier;
- utiliser la fonction trigger `lo_manage` fournie par le module contrib `lo` : (voir documentation⁴², si les *large objects* ne sont jamais référencés plus d’une fois;
- appeler régulièrement le programme `vacuumlo` (là encore un contrib⁴³) : il liste tous les *large objects* référencés dans la base, puis supprime les autres. Ce traitement est bien sûr un peu lourd.

Techniquement, un *large object* est stocké dans la table système `pg_largeobject` sous forme de pages de 2 ko. Voir la documentation⁴⁴ pour les détails.

⁴¹<https://docs.postgresql.fr/current/app-pgdump.html>

⁴²<https://docs.postgresql.fr/current/lo.html>

⁴³<https://docs.postgresql.fr/current/vacuumlo.html>

⁴⁴<https://docs.postgresql.fr/current/largeobjects.html>

2.8 QUIZ



https://dali.bo/s9_quiz

2.9 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/s9_solutions.

2.9.1 UUID



But : Constater l'impact en cache des types d'UUID avec pg_buffercache.

Ce TP étant purement descriptif, allez voir directement la solution.

2.9.2 jsonb



But : Découvrir JSON

La base **personnes_et_dossiers** pèse en version complète 613 Mo, pour 2 Go sur disque au final. Elle peut être installée comme suit :

```
# Dump complet
curl -kL https://dali.bo/tp_personnes -o /tmp/personnes.dump
# Taille 40%
# curl -kL https://dali.bo/tp_personnes_200k -o /tmp/personnes.dump
# Taille 16%
# curl -kL https://dali.bo/tp_personnes_fr -o /tmp/personnes.dump
```

```
createdb --echo personnes
# L'erreur sur un schéma 'public' existant est normale
pg_restore -v -d personnes /tmp/personnes.dump
rm -- /tmp/personnes.dump
```

La base `personnes` contient alors deux schémas `json` et `eav` avec les mêmes données sous deux formes différentes.

Chercher la ville et le numéro de téléphones (sous-attribut `ville` de l'attribut `adresse` du champ JSON `personne`) de Gaston Lagaffe, grâce aux attributs `prenom` et `nom`. Effectuer de préférence la recherche en cherchant un JSON avec `@>` (« contient ») (Ne pas chercher encore à utiliser JSONPath).

Créer une requête qui renvoie les attributs `nom`, `prenom`, `date_naissance` (comme type date) de toutes les personnes avec le nom « Lagaffe ». Utiliser la fonction `jsonb_to_record()` et `LATERAL`. Rajouter `ville` et `pays` ensuite de la même manière.

En supprimant le filtre, comparer le temps d'exécution de la requête précédente avec cette requête plus simple qui récupère les champs plus manuellement :

```
SELECT personne->>'nom',
       personne->>'prenom',
       (personne->>'date_naissance')::date,
       personne#>>'{adresse,ville}',
       personne#>>'{adresse,pays}'
FROM json.personnes;
```

Créer un index GIN ainsi :

```
CREATE INDEX personnes_gin ON json.personnes  
USING gin(personne jsonb_path_ops);
```

Quelle taille fait-il ?

Retenter les requêtes précédentes. Lesquelles utilisent l'index ?

Récupérer les numéros de téléphone de Léon Prunelle.

Afficher les noms et prénoms de Prunelles, et un tableau de champs texte contenant ses téléphones (utiliser `jsonb_array_elements_text`).

Comparer le résultat et les performances de ces deux requêtes, qui récupèrent aussi les numéros de téléphone de Prunelle :

Chercher qui possède le numéro de téléphone `0650041821` avec la syntaxe JSONPath.

Compter le nombre de personnes habitant à Paris ou Bruxelles avec :

- la syntaxe `@>` et un `OR` ;
- une syntaxe JSONPath `@?` et un « ou logique (`||`)
- une syntaxe JSONPath `@?` et une regex `@.ville like_regex "^(Paris|Bruxelles)$"`.

Le compte du nombre de personne par pays doit être optimisé au maximum. Ajouter un index fonctionnel sur l'attribut `pays`. Tester l'efficacité sur une recherche, et un décompte de toutes les personnes par pays.

Ajouter un champ généré dans `json.personne`, correspondant à l'attribut `pays`.

Comparer les temps d'exécution du décompte des pays par l'attribut, et par cette colonne générée.

Créer un index B-tree sur la colonne générée `pays`. Consulter les statistiques dans `pg_stats`. Cet index est-il utilisable pour des filtres et le décompte par `pays` ?

(Optionnel) Créer des colonnes générées sur `nom`, `prenom`, `date_naissance`, et `ville` (en un seul ordre). Reprendre la requête plus haut qui les affiche tous et comparer les performances.

Ajouter l'attribut `animaux` à Gaston Lagaffe, avec la valeur 18. Vérifier en relisant la ligne.

Ajouter l'attribut `animaux` à 2% des individus au hasard, avec une valeur 1 ou 2.

Compter le nombre de personnes avec des animaux (avec ou sans JSONPath). Proposer un index qui pourrait convenir à d'autres futurs nouveaux attributs peu fréquents.

2.9.3 Large Objects



But : Utilisation de Large Objects

- Créer une table `fichiers` avec un texte et une colonne permettant de référencer des *Large Objects*.
- Importer un fichier local à l'aide de `psql` dans un large object.
- Noter l'`oid` retourné.
- Importer un fichier du serveur à l'aide de `psql` dans un large object.
- Afficher le contenu de ces différents fichiers à l'aide de `psql`.
- Les sauvegarder dans des fichiers locaux.

2.10 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

2.10.1 UUID

Tout ce qui suit doit se dérouler dans la même base, par exemple :

```
CREATE DATABASE capteurs ;
```

Ce TP est prévu pour un `shared_buffers` de 128 Mo (celui par défaut). Si le vôtre est plus gros, le TP devra peut-être durer plus longtemps :

```
SHOW shared_buffers ;
```

Utilisez au moins une fenêtre pour les ordres shell et une pour les ordres SQL.

Créer avec le script suivants les deux versions d'un petit modèle avec des capteurs, et les données horodatées qu'ils renvoient; ainsi que les deux procédures pour remplir ces tables ligne à ligne :

```
\c capteurs
```

```
-- Modèle : une table 'capteurs' et ses 'donnees' horodatées
-- liées par une contrainte
-- Deux versions : avec ID et une séquence, et avec UUID
```

```
DROP TABLE IF EXISTS donnees1, donnees2, capteurs1, capteurs2 ;
```

```
-- Avec identifiants bigint
```

```
CREATE TABLE capteurs1 (id_capteur bigint PRIMARY KEY,
                        nom char (50) UNIQUE,
                        filler char (50) default ''
                        ) ;
CREATE TABLE donnees1 (id_donnee bigserial PRIMARY KEY,
                        id_capteur int NOT NULL REFERENCES capteurs1,
                        horodatage timestamp with time zone,
                        valeur1 int,
                        valeur2 int,
                        valeur3 float
                        ) ;
CREATE INDEX ON donnees1 (horodatage) ;
```

```
-- Version avec les UUID
```

```
CREATE TABLE capteurs2 (id_capteur uuid PRIMARY KEY,
                        nom char (50) UNIQUE,
                        filler char (50) default ''
                        ) ;
CREATE TABLE donnees2 (id_donnee uuid PRIMARY KEY,
                        id_capteur uuid NOT NULL REFERENCES capteurs2,
                        horodatage timestamp with time zone,
                        valeur1 int,
                        valeur2 int,
                        valeur3 float
                        ) ;
CREATE INDEX ON donnees2 (horodatage) ;
```

```
-- 1000 capteurs identiques
```

```

INSERT INTO capteurs1 (id_capteur, nom)
SELECT i,
       'M-' || md5(i::text)
FROM generate_series (1,1000) i
ORDER BY random() ;

INSERT INTO capteurs2 (id_capteur, nom)
SELECT gen_random_uuid(), nom FROM capteurs1 ;

-- 2 procédures d'insertion de données identiques sur quelques capteurs au hasard
-- insertion dans donnees1 avec une séquence
CREATE OR REPLACE PROCEDURE insere_donnees_1 ()
AS $$
    SET synchronous_commit TO off ; -- accélère
    INSERT INTO donnees1 (id_donnee, id_capteur, horodatage, valeur1, valeur2,
        ↪ valeur3)
    SELECT nextval('donnees1_id_donnee_seq'::regclass), -- clé primaire des données
           m.id_capteur,                               -- clé étrangère
           now(), (random()*1000)::int, (random()*1000)::int, random()
    FROM capteurs1 m TABLESAMPLE BERNOULLI (1) ; -- 1% des lignes
$$ LANGUAGE sql;

-- insertion dans donnees2 avec un UUID v7
CREATE OR REPLACE PROCEDURE insere_donnees_2 ()
AS $$
    SET synchronous_commit TO off ; -- accélère
    INSERT INTO donnees2 (id_donnee, id_capteur, horodatage, valeur1, valeur2,
        ↪ valeur3)
    SELECT gen_random_uuid(), -- clé primaire des données, UUID v4
           m.id_capteur,      -- clé étrangère
           now(), (random()*1000)::int, (random()*1000)::int, random()
    FROM capteurs2 m TABLESAMPLE BERNOULLI (1) ; -- 1% des lignes
$$ LANGUAGE sql;

```

Vous devez obtenir ces tables et une séquence :

capteurs=# \d+

Schéma	Nom	Type	Liste des relations				Taille	Description
			...	...	...	...		
public	capteurs1	table	...	...	...	...	168 kB	
public	capteurs2	table	...	...	...	...	176 kB	
public	donnees1	table	...	...	...	...	0 bytes	
public	donnees1_id_donnee_seq	séquence	...	...	...	...	8192 bytes	
public	donnees2	table	...	...	...	...	0 bytes	

(5 lignes)

et ces index :

capteurs=# \di

Schéma	Nom	Type	Liste des relations		Table
			Propriétaire		
public	capteurs1_nom_key	index	postgres		capteurs1
public	capteurs1_pkey	index	postgres		capteurs1
public	capteurs2_nom_key	index	postgres		capteurs2
public	capteurs2_pkey	index	postgres		capteurs2
public	donnees1_horodatage_idx	index	postgres		donnees1

public	donnees1_pkey	index	postgres	donnees1
public	donnees2_horodatage_idx	index	postgres	donnees2
public	donnees2_pkey	index	postgres	donnees2

Créer deux fichiers SQL contenant juste les appels de fonctions, qui serviront pour pgbench :

```
echo "CALL insere_donnees_1 ()" > /tmp/insere1.sql
echo "CALL insere_donnees_2 ()" > /tmp/insere2.sql
```

Dans la même base que les table ci-dessus, installer l'extension `pg_buffercache`^a qui va nous permettre de voir ce qu'il y a dans le cache de PostgreSQL :

^ahttps://dali.bo/x2_html

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS pg_buffercache ;
```

La vue du même nom contient une ligne par bloc. La requête suivante permet de voir lesquelles de nos tables utilisent le cache :

```
SELECT CASE WHEN datname = current_database()
  AND relname NOT LIKE 'pg%'
  THEN relname ELSE '*AUTRES*' END AS objet,
  count(*),
  pg_size_pretty(count(bufferid)*8192) as Taille_Mo
FROM pg_buffercache b
LEFT OUTER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
LEFT OUTER JOIN pg_database d ON (d.oid = b.reldatabase)
GROUP BY objet
ORDER BY count(bufferid) DESC ;
```

Cette version semi-graphique est peut-être plus parlante :

```
SELECT CASE WHEN datname = current_database()
  AND relname NOT LIKE 'pg%'
  THEN relname ELSE '*AUTRES*' END AS objet,
  pg_size_pretty(count(bufferid)*8192) as Taille_Mo,
  lpad(' ', (count(bufferid)/200)::int, '#') AS Taille
FROM pg_buffercache b
LEFT OUTER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
LEFT OUTER JOIN pg_database d ON (d.oid = b.reldatabase)
GROUP BY objet
ORDER BY objet DESC ;
```

Dans une fenêtre, lancer l'une de ces requêtes (dans la bonne base!), puis la répéter toutes les secondes ainsi :

```
-- sous psql
\watch 1
```

Dans une autre fenêtre, lancer `pgbench` avec deux clients, et le script pour remplir la table `donnees1` :

```
# Sous Rocky Linux/Almalinux...
/usr/pgsql-16/bin/pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere1.sql
# Sous Debian/Ubuntu
pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere1.sql
```

Le nombre de transactions dépend fortement de la machine, mais peut atteindre plusieurs milliers à la seconde.



Les tables peuvent rapidement atteindre plusieurs gigaoctets. N'hésitez pas à les vider ensemble de temps à autre.

TRUNCATE donnees1, donnees2 ;

Quelle est la répartition des données dans le cache ?

Après peu de temps, la répartition doit ressembler à peu près à ceci :

objet	taille_mo	taille
donnees1_pkey	28 MB	#####
donnees1_id_donnee_seq	8192 bytes	
donnees1_horodatage_idx	12 MB	####
donnees1	86 MB	#####
capteurs1_pkey	48 kB	
capteurs1	144 kB	
AUTRES	2296 kB	#

Et ce, même si la table et ses index ne tiennent plus intégralement dans le cache.

La table `donnees1` représente la majorité du cache.

Interrompre `pgbench` et le relancer pour remplir `donnees2` :

```
# Sous Rocky Linux/Almalinux...
/usr/pgsql-16/bin/pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere2.sql
# Sous Debian/Ubuntu
pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere2.sql
```

Noter que le débit en transaction est du même ordre de grandeur : les UUID ne sont pas spécialement lourds à générer.

Que devient la répartition des données dans le cache ?

`donnees1` et ses index est chassé du cache par les nouvelles données, ce qui est logique.

Surtout, on constate que la clé primaire de `donnees2` finit par remplir presque tout le cache. Dans ce petit cache, il n'y a plus de place même pour les données de `donnees2` !

objet	taille_mo	taille
donnees2_pkey	120 MB	#####
donnees2_horodatage_idx	728 kB	
donnees2	6464 kB	##
capteurs2_pkey	48 kB	
capteurs2	152 kB	
AUTRES	408 kB	

Interrompre `pgbench`, purger les tables et lancer les deux scripts d'alimentation en même temps.

TRUNCATE donnees1, donnees2 ;

Sous Rocky Linux/Almalinux...

```
/usr/pgsql-16/bin/pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/inserel.sql -f /tmp/inseres2.sql
```

Sous Debian/Ubuntu

```
pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/inserel.sql -f /tmp/inseres2.sql
```

On constate le même phénomène de monopolisation du cache par `donnees2`, bien que les deux tables de données aient le même nombre de lignes :

objet	taille_mo	taille
donnees2_pkey	115 MB	#####
donnees2_horodatage_idx	624 kB	
donnees2	5568 kB	##
donnees1_pkey	1504 kB	
donnees1_id_donnee_seq	8192 bytes	
donnees1_horodatage_idx	632 kB	
donnees1	4544 kB	#
capteurs2_pkey	48 kB	
capteurs2	152 kB	
capteurs1_pkey	48 kB	
capteurs1	144 kB	
AUTRES	408 kB	

(12 lignes)

Avez-vous remarqué une différence de vitesse entre les deux traitements ?

Ce ne peut être rigoureusement établi ici. Les volumétries sont trop faibles par rapport à la taille des mémoires et il faut tester sur la durée. Le nombre de clients doit être étudié pour utiliser au mieux les capacités de la machine sans monter jusqu'à ce que la contention devienne un problème. Les check-points font également varier les débits.

Cependant, si vous laissez le test tourner très longtemps avec des tailles de tables de plusieurs Go, les effets de cache seront très différents :

- dans `donnees1`, le débit en insertion devrait rester correct, car seuls les derniers blocs en cache sont utiles;

- dans `donnees2`, le débit en insertion doit progressivement baisser : chaque insertion a besoin d'un bloc de l'index de clé primaire différent, qui a de moins en moins de chance de se trouver dans le cache de PostgreSQL, puis dans le cache de Linux.

L'impact sur les I/O augmente donc, et pas seulement à cause de la volumétrie supérieure des tables avec UUID. À titre d'exemple, sur une petite base de formation avec 3 Go de RAM :

```
# avec ID numériques, pendant des insertions dans donnees1 uniquement,
# qui atteint 1,5 Go
# débit des requêtes : environ 3000 tps
```

```
$ iostat -h 1
```

```
avg-cpu:  %user   %nice %system %iowait  %steal   %idle
           88,6%    0,0%   10,7%    0,0%    0,0%    0,7%

       tps    kB_read/s    kB_wrtn/s    kB_read    kB_wrtn Device
       86,00         0,0k       17,0M        0,0k       17,0M vda
        0,00         0,0k         0,0k        0,0k         0,0k scd0
```

```
# avec UUID v4, pendant des insertions dans donnees2 uniquement,
# qui atteint 1,5 Go
# débit des requêtes : environ 700 tps
```

```
$ iostat -h 1
```

```
avg-cpu:  %user   %nice %system %iowait  %steal   %idle
           41,2%    0,0%   17,3%   25,9%    0,7%   15,0%

       tps    kB_read/s    kB_wrtn/s    kB_read    kB_wrtn Device
      2379,00         0,0k       63,0M        0,0k       63,0M vda
        0,00         0,0k         0,0k        0,0k         0,0k scd0
```

Comparer les tailles des tables et index avant et après un `VACUUM FULL`. Où était la fragmentation ?

`VACUUM FULL` reconstruit complètement les tables et aussi les index.

Tables avant le `VACUUM FULL` :

```
capteurs=# \d+
```

```

      Liste des relations
  Schéma |          Nom          | Type  | ... | ... | ... | Taille | ...
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
 public | capteurs1             | table | ... | ... | ... | 168 kB |
 public | capteurs2             | table | ... | ... | ... | 176 kB |
 public | donnees1              | table | ... | ... | ... | 2180 MB |
 public | donnees1_id_donnee_seq | séquence | ... | ... | ... | 8192 bytes |
 public | donnees2              | table | ... | ... | ... | 2227 MB |
 public | pg_buffercache         | vue   | ... | ... | ... | 0 bytes |
(6 lignes)
```

Après :

```
capteurs=# \d+
```

```

      Liste des relations
  Schéma |          Nom          | Type  | ... | ... | ... | Taille | ...
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
 public | capteurs1             | table | ... | ... | ... | 144 kB |
```

public	capteurs2	table	...	...	...	152 kB	
public	donnees1	table	...	...	...	2180 MB	
public	donnees1_id_donnee_seq	séquence	...	...	...	8192 bytes	
public	donnees2	table	...	...	...	2227 MB	
public	pg_buffercache	vue	...	...	...	0 bytes	

(6 lignes)

Les tailles des tables `donnees1` et `donnees2` ne bougent pas. C'est normal, il n'y a eu que des insertions à chaque fois en fin de table, et ni modification ni suppression de données.

Index avant le `VACUUM FULL` :

capteurs=# \di+

Liste des relations								
Schéma	Nom	Type	...	Table	...	Méth.	Taille	...
public	capteurs1_nom_key	index	...	capteurs1	...	btree	120 kB	
public	capteurs1_pkey	index	...	capteurs1	...	btree	56 kB	
public	capteurs2_nom_key	index	...	capteurs2	...	btree	120 kB	
public	capteurs2_pkey	index	...	capteurs2	...	btree	56 kB	
public	donnees1_horodatage_idx	index	...	donnees1	...	btree	298 MB	
public	donnees1_pkey	index	...	donnees1	...	btree	717 MB	
public	donnees2_horodatage_idx	index	...	donnees2	...	btree	245 MB	
public	donnees2_pkey	index	...	donnees2	...	btree	1166 MB	

(8 lignes)

Index après :

capteurs=# \di+

Liste des relations								
Schéma	Nom	Type	...	Table	...	Méth.	Taille	...
public	capteurs1_nom_key	index	...	capteurs1	...	btree	96 kB	
public	capteurs1_pkey	index	...	capteurs1	...	btree	40 kB	
public	capteurs2_nom_key	index	...	capteurs2	...	btree	96 kB	
public	capteurs2_pkey	index	...	capteurs2	...	btree	48 kB	
public	donnees1_horodatage_idx	index	...	donnees1	...	btree	296 MB	
public	donnees1_pkey	index	...	donnees1	...	btree	717 MB	
public	donnees2_horodatage_idx	index	...	donnees2	...	btree	245 MB	
public	donnees2_pkey	index	...	donnees2	...	btree	832 MB	

(8 lignes)

Les index d'horodatage gardent la même taille qu'avant (la différence entre eux est dû à des nombres de lignes différents dans cet exemple). L'index sur la clé primaire de `donnees1` (`bigint`) n'était pas fragmenté. Par contre, `donnees2_pkey` se réduit de 29%! Les index UUID (v4) ont effectivement tendance à se fragmenter.

Les UUID générés avec `gen_random_uuid` sont de version 4. Créer la fonction suivante pour générer des UUID version 7, l'utiliser dans la fonction d'alimentation de `donnees2`, et relancer les deux alimentations :

```
-- Source : https://postgresql.verite.pro/blog/2024/07/15/uuid-v7-pure-sql.html
-- Daniel Vérité d'après Kyle Hubert
CREATE OR REPLACE FUNCTION uuidv7() RETURNS uuid
```

```

AS $$
-- Replace the first 48 bits of a uuidv4 with the current
-- number of milliseconds since 1970-01-01 UTC
-- and set the "ver" field to 7 by setting additional bits
select encode(
  set_bit(
    set_bit(
      overlay(uuid_send(gen_random_uuid()) placing
        substring(int8send((extract(epoch from clock_timestamp())*1000)::bigint)
          from 3)
      from 1 for 6),
    52, 1),
    53, 1), 'hex')::uuid;
$$ LANGUAGE sql volatile ;

-- insertion dans donnees2 avec un UUID v7
CREATE OR REPLACE PROCEDURE insere_donnees_2 ()
AS $$
SET synchronous_commit TO off ; -- accélère
INSERT INTO donnees2 (id_donnee, id_capteur, horodatage, valeur1, valeur2,
  ↪ valeur3)
SELECT uuidv7(), -- clé primaire des données, UUID v7
  m.id_capteur, -- clé étrangère
  now(), (random()*1000)::int, (random()*1000)::int, random()
FROM capteurs2 m TABLESAMPLE BERNOULLI (1) ; -- 1% des capteurs
$$ LANGUAGE sql;

# Sous Rocky Linux/Almalinux...
/usr/pgsql-16/bin/pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere1.sql -f /tmp/insere2.sql
# Sous Debian/Ubuntu
pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 \
-f /tmp/insere1.sql -f /tmp/insere2.sql

```

Après quelques dizaines de secondes :

- les deux tables doivent être présentes dans le cache de manière similaire;
- les index primaires doivent être présents de manière anecdotique;
- `donnees2` occupe une taille un peu supérieure à cause de la taille double des UUID par rapport aux `bigint` de `donnees1` :

objet	taille_mo	taille
donnees2_pkey	18 MB	#####
donnees2_horodatage_idx	5392 kB	##
donnees2	48 MB	#####
donnees1_pkey	13 MB	####
donnees1_id_donnee_seq	8192 bytes	
donnees1_horodatage_idx	5376 kB	##
donnees1	38 MB	#####
capteurs2_pkey	48 kB	
capteurs2	152 kB	
capteurs1_pkey	48 kB	
capteurs1	144 kB	
AUTRES	648 kB	

(12 lignes)

Relancez `pgbench` pour charger `donnees2`, alternez entre les deux versions de la fonction `insere_donnees_2`.

```
/usr/pgsql-16/bin/pgbench capteurs -c2 -j1 -n -T1800 -P1 -f /tmp/insere2.sql
```

```
... [fonction avec gen_random_uuid (UUID v4) ]
progress: 202.0 s, 781.2 tps, lat 2.546 ms stddev 6.631, 0 failed
progress: 203.0 s, 597.6 tps, lat 3.229 ms stddev 10.497, 0 failed
progress: 204.0 s, 521.7 tps, lat 3.995 ms stddev 20.001, 0 failed
progress: 205.0 s, 837.0 tps, lat 2.307 ms stddev 7.743, 0 failed
progress: 206.0 s, 1112.1 tps, lat 1.856 ms stddev 7.602, 0 failed
progress: 207.0 s, 1722.8 tps, lat 1.097 ms stddev 0.469, 0 failed
progress: 208.0 s, 894.4 tps, lat 2.352 ms stddev 12.725, 0 failed
progress: 209.0 s, 1045.6 tps, lat 1.911 ms stddev 5.631, 0 failed
progress: 210.0 s, 1040.0 tps, lat 1.921 ms stddev 8.009, 0 failed
progress: 211.0 s, 734.6 tps, lat 2.259 ms stddev 9.833, 0 failed
progress: 212.0 s, 0.0 tps, lat 0.000 ms stddev 0.000, 0 failed
progress: 213.0 s, 266.3 tps, lat 16.299 ms stddev 165.541, 0 failed
progress: 214.0 s, 1548.9 tps, lat 1.290 ms stddev 1.970, 0 failed
progress: 215.0 s, 896.0 tps, lat 2.163 ms stddev 5.404, 0 failed
progress: 216.0 s, 1113.0 tps, lat 1.798 ms stddev 4.115, 0 failed
progress: 217.0 s, 886.9 tps, lat 1.990 ms stddev 4.609, 0 failed
progress: 218.0 s, 771.1 tps, lat 2.965 ms stddev 9.767, 0 failed
... [modification avec uuidv7 (UUID v7) ]
progress: 219.0 s, 1952.1 tps, lat 1.022 ms stddev 2.513, 0 failed
progress: 220.0 s, 2241.1 tps, lat 0.890 ms stddev 0.431, 0 failed
progress: 221.0 s, 2184.0 tps, lat 0.914 ms stddev 0.853, 0 failed
progress: 222.0 s, 2191.1 tps, lat 0.911 ms stddev 0.373, 0 failed
progress: 223.0 s, 2355.8 tps, lat 0.847 ms stddev 0.332, 0 failed
progress: 224.0 s, 2267.0 tps, lat 0.880 ms stddev 0.857, 0 failed
progress: 225.0 s, 2308.0 tps, lat 0.864 ms stddev 0.396, 0 failed
progress: 226.0 s, 2230.9 tps, lat 0.894 ms stddev 0.441, 0 failed
progress: 227.0 s, 2225.1 tps, lat 0.897 ms stddev 1.284, 0 failed
progress: 228.0 s, 2250.2 tps, lat 0.886 ms stddev 0.408, 0 failed
progress: 229.0 s, 2325.1 tps, lat 0.858 ms stddev 0.327, 0 failed
progress: 230.0 s, 2172.1 tps, lat 0.919 ms stddev 0.442, 0 failed
progress: 231.0 s, 2209.8 tps, lat 0.903 ms stddev 0.373, 0 failed
progress: 232.0 s, 2379.0 tps, lat 0.839 ms stddev 0.342, 0 failed
progress: 233.0 s, 2349.1 tps, lat 0.849 ms stddev 0.506, 0 failed
progress: 234.0 s, 2274.9 tps, lat 0.877 ms stddev 0.350, 0 failed
progress: 235.0 s, 2245.0 tps, lat 0.889 ms stddev 0.351, 0 failed
progress: 236.0 s, 2155.9 tps, lat 0.925 ms stddev 0.344, 0 failed
progress: 237.0 s, 2299.2 tps, lat 0.869 ms stddev 0.343, 0 failed
... [nouvelle modification, retour à gen_random_uuid ]
progress: 238.0 s, 1296.9 tps, lat 1.540 ms stddev 2.092, 0 failed
progress: 239.0 s, 1370.1 tps, lat 1.457 ms stddev 2.794, 0 failed
progress: 240.0 s, 1089.9 tps, lat 1.832 ms stddev 4.234, 0 failed
progress: 241.0 s, 770.0 tps, lat 2.594 ms stddev 13.761, 0 failed
progress: 242.0 s, 412.0 tps, lat 4.736 ms stddev 28.332, 0 failed
progress: 243.0 s, 0.0 tps, lat 0.000 ms stddev 0.000, 0 failed
progress: 244.0 s, 632.6 tps, lat 6.403 ms stddev 65.839, 0 failed
progress: 245.0 s, 1183.0 tps, lat 1.655 ms stddev 3.732, 0 failed
progress: 246.0 s, 869.0 tps, lat 2.287 ms stddev 5.968, 0 failed
progress: 247.0 s, 967.0 tps, lat 2.118 ms stddev 4.860, 0 failed
progress: 248.0 s, 954.5 tps, lat 2.088 ms stddev 3.967, 0 failed
progress: 249.0 s, 759.3 tps, lat 2.635 ms stddev 10.382, 0 failed
```

```
progress: 250.0 s, 787.0 tps, lat 2.395 ms stddev 9.791, 0 failed
progress: 251.0 s, 744.0 tps, lat 2.518 ms stddev 10.636, 0 failed
progress: 252.0 s, 815.1 tps, lat 2.744 ms stddev 11.983, 0 failed
progress: 253.0 s, 931.2 tps, lat 1.998 ms stddev 7.886, 0 failed
progress: 254.0 s, 665.0 tps, lat 2.946 ms stddev 13.315, 0 failed
progress: 255.0 s, 537.1 tps, lat 3.970 ms stddev 19.232, 0 failed
progress: 256.0 s, 683.9 tps, lat 2.757 ms stddev 10.356, 0 failed
```

Le débit en transactions varie ici d'un facteur 2. Noter que la durée des transactions est aussi beaucoup plus stable (`stddev`).

2.10.2 jsonb : lecture de champs

La base **personnes_et_dossiers** pèse en version complète 613 Mo, pour 2 Go sur disque au final. Elle peut être installée comme suit :

```
# Dump complet
curl -kL https://dali.bo/tp_personnes -o /tmp/personnes.dump
# Taille 40%
# curl -kL https://dali.bo/tp_personnes_200k -o /tmp/personnes.dump
# Taille 16%
# curl -kL https://dali.bo/tp_personnes_fr -o /tmp/personnes.dump
```

```
createdb --echo personnes
# L'erreur sur un schéma 'public' existant est normale
pg_restore -v -d personnes /tmp/personnes.dump
rm -- /tmp/personnes.dump
```

La base `personnes` contient alors deux schémas `json` et `eav` avec les mêmes données sous deux formes différentes.

La table `json.personnes` contient une ligne par personne, un identifiant et un champ JSON avec de nombreux attributs. Elle n'est pas encore indexée :

```
\d json.personnes
```

Table « json.personnes »				
Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	Par défaut
id_personne	integer			
personne	jsonb			

Chercher la ville et le numéro de téléphone (sous-attribut `ville` de l'attribut `adresse` du champ JSON `personne`) de Gaston Lagaffe, grâce aux attributs `prenom` et `nom`. Effectuer de préférence la recherche en cherchant un JSON avec `@>` (« contient ») (Ne pas chercher encore à utiliser JSONPath).

La recherche peut s'effectuer en convertissant tous les attributs en texte :

```
SELECT personne->'adresse'->>'ville'
FROM   json.personnes p
WHERE  personne->>'nom' = 'Lagaffe'
      AND  personne->>'prenom' = 'Gaston' ;
```

On obtient « Bruxelles ».

Avec la syntaxe en version 14 :

```
SELECT personne['adresse']['ville']->>0 AS ville
FROM   json.personnes p
WHERE  personne['nom'] = '"Lagaffe"'::jsonb
      AND  personne['prenom'] = '"Gaston"'::jsonb ;
```

Il est plus propre de rechercher grâce à une de ces syntaxes, notamment parce qu'elles seront indexables plus tard :

```
SELECT personne->'adresse'->>'ville'
FROM json.personnes p
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb ;
```

ou :

```
SELECT personne->'adresse'->>'ville'
FROM json.personnes p
WHERE personne @> jsonb_build_object ('nom', 'Lagaffe', 'prenom', 'Gaston') ;
```

Créer une requête qui renvoie les attributs `nom`, `prenom`, `date_naissance` (comme type date) de toutes les personnes avec le nom « Lagaffe ». Utiliser la fonction `jsonb_to_record()` et `LATERAL`. Rajouter `ville` et `pays` ensuite de la même manière.

`jsonb_to_record` exige que l'on fournisse le nom de l'attribut et son type :

```
SELECT r.*
FROM json.personnes,
LATERAL jsonb_to_record (personne) AS r (nom text, prenom text, date_naissance date)
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe"}'::jsonb;
```

nom	prenom	date_naissance
Lagaffe	Gaston	1938-09-22
Lagaffe	Jeanne	1940-02-14

Avec la ville, qui est dans un sous-attribut, il faut rajouter une clause `LATERAL` :

```
SELECT r1.*, r2.*
FROM json.personnes,
LATERAL jsonb_to_record (personne)
      AS r1 (nom text, prenom text, date_naissance date),
LATERAL jsonb_to_record (personne->'adresse')
      AS r2 (ville text, pays text)
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe"}'::jsonb;
```

nom	prenom	date_naissance	ville	pays
Lagaffe	Gaston	1938-09-22	Bruxelles	Belgique
Lagaffe	Jeanne	1940-02-14	Bruxelles	Belgique

En supprimant le filtre, comparer le temps d'exécution de la requête précédente avec cette requête plus simple qui récupère les champs plus manuellement :

```
SELECT personne->>'nom',
       personne->>'prenom',
       (personne->>'date_naissance')::date,
       personne#>>'{adresse,ville}',
       personne#>>'{adresse,pays}'
FROM json.personnes;
```

Cette dernière requête est nettement plus lente que l'utilisation de `jsonb_to_record`, même si les I/O sont plus réduites :

```

EXPLAIN (COSTS OFF,ANALYZE,BUFFERS)
SELECT personne->>'nom',
        personne->>'prenom',
        (personne->>'date')::date,
        personne#>>'{adresse,ville}',
        personne#>>'{adresse,pays}'
FROM json.personnes;

```

QUERY PLAN

```

-----
Seq Scan on personnes (cost=0.00..71383.74 rows=532645 width=132) (actual
↳ time=0.079..6009.601 rows=532645 loops=1)
  Buffers: shared hit=3825357 read=122949
Planning Time: 0.078 ms
Execution Time: 6022.738 ms

```

```

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS)
SELECT r1.*, r2.* FROM json.personnes,
LATERAL jsonb_to_record (personne)
  AS r1 (nom text, prenom text, date_naissance date),
LATERAL jsonb_to_record (personne->'adresse')
  AS r2 (ville text, pays text) ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Nested Loop (cost=0.01..83368.26 rows=532645 width=132) (actual
↳ time=0.064..3820.847 rows=532645 loops=1)
  Buffers: shared hit=1490408 read=122956
  -> Nested Loop (cost=0.00..72715.35 rows=532645 width=832) (actual
↳ time=0.059..2247.303 rows=532645 loops=1)
    Buffers: shared hit=712094 read=122956
    -> Seq Scan on personnes (cost=0.00..62062.45 rows=532645 width=764)
↳ (actual time=0.037..98.138 rows=532645 loops=1)
      Buffers: shared read=56736
      -> Function Scan on jsonb_to_record r1 (cost=0.00..0.01 rows=1 width=68)
↳ (actual time=0.004..0.004 rows=1 loops=532645)
        Buffers: shared hit=712094 read=66220
        -> Function Scan on jsonb_to_record r2 (cost=0.01..0.01 rows=1 width=64) (actual
↳ time=0.003..0.003 rows=1 loops=532645)
          Buffers: shared hit=778314
Planning Time: 0.103 ms
Execution Time: 3953.137 ms

```

La maintenabilité plaide pour la seconde version. Quant à la lisibilité entre les deux versions de la requête, c'est un choix personnel.

2.10.3 jsonb : index GIN jsonb_path_ops

Créer un index GIN ainsi :

```

CREATE INDEX personnes_gin ON json.personnes
USING gin(personne jsonb_path_ops);

```

Quelle taille fait-il ?

L'index peut être un peu long à construire (plusieurs dizaines de secondes) et est assez gros :

```
\di+ json.personnes_gin
```

		Liste des relations					
Schéma	Nom	...	Table	...	Méthode d'accès	Taille	...
json	personnes_gin	...	personnes	...	gin	230 MB	

Retenter les requêtes précédentes. Lesquelles utilisent l'index?

Les requêtes utilisant les égalités (que ce soit sur du texte ou en JSON) n'utilisent pas l'index :

```
EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS)
SELECT personne->'adresse'->>'ville'
FROM json.personnes p
WHERE personne->>'nom' = 'Lagaffe'
      AND personne->>'prenom' = 'Gaston' ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Gather (actual time=0.427..566.202 rows=1 loops=1)
  Workers Planned: 2
  Workers Launched: 2
  Buffers: shared hit=712208 read=122962
  -> Parallel Seq Scan on personnes p (actual time=372.989..561.152 rows=0 loops=3)
        Filter: (((personne ->> 'nom'::text) = 'Lagaffe'::text) AND ((personne ->>
        ↪ 'prenom'::text) = 'Gaston'::text))
        Rows Removed by Filter: 177548
        Buffers: shared hit=712208 read=122962
Planning Time: 0.110 ms
Execution Time: 566.228 ms
```

Par contre, la syntaxe `@>` (« contient ») utilise l'index, quelle que soit la manière dont on construit le JSON critère. Le gain en temps et en I/O (et en CPU) grâce à l'index est assez foudroyant. Et ceci, quelle que soit la manière dont on récupère les champs, puisqu'il n'y a plus qu'une poignée de lignes à analyser :

```
EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS)
SELECT personne->'adresse'->>'ville'
FROM json.personnes p
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on personnes p (actual time=0.047..0.049 rows=1 loops=1)
  Recheck Cond: (personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb)
  Heap Blocks: exact=1
  Buffers: shared hit=8
  -> Bitmap Index Scan on personnes_gin (actual time=0.026..0.027 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb)
        Buffers: shared hit=7
Planning:
  Buffers: shared hit=1
Planning Time: 0.408 ms
Execution Time: 0.081 ms
```

```

EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE)
SELECT r1.*, r2.*
FROM json.personnes,
LATERAL jsonb_to_record (personne)
      AS r1 (nom text, prenom text, date_naissance date),
LATERAL jsonb_to_record (personne->'adresse')
      AS r2 (ville text, pays text)
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe"}'::jsonb;

```

QUERY PLAN

```

-----
Nested Loop  (cost=25.90..235.79 rows=53 width=132) (actual time=0.051..0.063
↳ rows=2 loops=1)
  Output: r1.nom, r1.prenom, r1.date_naissance, r2.ville, r2.pays
  -> Nested Loop  (cost=25.90..234.73 rows=53 width=821) (actual time=0.047..0.056
↳ rows=2 loops=1)
    Output: personnes.personne, r1.nom, r1.prenom, r1.date_naissance
    -> Bitmap Heap Scan on json.personnes  (cost=25.90..233.66 rows=53
↳ width=753) (actual time=0.029..0.034 rows=2 loops=1)
      Output: personnes.id_personne, personnes.personne
      Recheck Cond: (personnes.personne @> '{"nom": "Lagaffe"}'::jsonb)
      Heap Blocks: exact=2
      -> Bitmap Index Scan on personnes_gin  (cost=0.00..25.88 rows=53
↳ width=0) (actual time=0.017..0.018 rows=2 loops=1)
        Index Cond: (personnes.personne @> '{"nom": "Lagaffe"}'::jsonb)
        -> Function Scan on pg_catalog.jsonb_to_record r1  (cost=0.00..0.01 rows=1
↳ width=68) (actual time=0.009..0.009 rows=1 loops=2)
          Output: r1.nom, r1.prenom, r1.date_naissance
          Function Call: jsonb_to_record(personnes.personne)
          -> Function Scan on pg_catalog.jsonb_to_record r2  (cost=0.01..0.01 rows=1
↳ width=64) (actual time=0.002..0.003 rows=1 loops=2)
            Output: r2.ville, r2.pays
            Function Call: jsonb_to_record((personnes.personne -> 'adresse'::text))
Planning Time: 0.259 ms
Execution Time: 0.098 ms

```

Les requêtes sans filtre n'utilisent pas l'index, bien sûr.

2.10.4 jsonb et tableaux

Récupérer les numéros de téléphone de Léon Prunelle.

```

--(Syntaxe pour PostgreSQL 14 minimum)
SELECT personne['adresse']['telephones'],
      personne['adresse']->'telephones',
      personne['adresse']['telephones']#>'{}',
      personne['adresse']['telephones']->0,
      personne['adresse']->>'telephones',
      personne['adresse']['telephones']#>>'{}',
      personne['adresse']['telephones']->>0
FROM json.personnes p
WHERE personne @> '{"nom": "Prunelle", "prenom": "Léon"}'::jsonb ;

```

Le sous-attribut `telephones` est un tableau. La syntaxe `->0` ne renvoie que le premier élément :

```

-[ RECORD 1 ]-----
personne | ["0129951489", "0678327400"]
?column? | ["0129951489", "0678327400"]
?column? | ["0129951489", "0678327400"]
?column? | "0129951489"
?column? | ["0129951489", "0678327400"]
?column? | ["0129951489", "0678327400"]
?column? | 0129951489

```

Les 4 premières lignes renvoient un `jsonb`, les trois dernières sa conversion en texte :

```

\gdesc
Column | Type
-----+-----
personne | jsonb
?column? | jsonb
?column? | jsonb
?column? | jsonb
?column? | text
?column? | text
?column? | text

```

Afficher les noms et prénoms de Prunelles, et un tableau de champs texte contenant ses numéros de téléphone (utiliser `jsonb_array_elements_text`).

Il vaut mieux ne pas « bricoler » avec des conversions manuelles du JSON en texte puis en tableau. La fonction dédiée est `jsonb_array_elements_text`.

```

SELECT personne->>'prenom' AS prenom, personne->>'nom' AS nom,
       jsonb_array_elements_text (personne->'adresse'>'telephones') AS tel
FROM   json.personnes p
WHERE  personne @> '{"nom": "Prunelle", "prenom": "Léon"}'::jsonb ;

```

```

prenom |   nom   |   tel
-----+-----+-----
Léon   | Prunelle | 0129951489
Léon   | Prunelle | 0678327400

```

Cependant on multiplie les lignes par le nombre de numéros de téléphone, et il faut réagréger :

```

SELECT personne->>'prenom' AS prenom, personne->>'nom' AS nom,
       (SELECT array_agg (t) FROM
        jsonb_array_elements_text (personne->'adresse'>'telephones') tels(t)
        ) AS tels
FROM   json.personnes p
WHERE  personne @> '{"nom": "Prunelle", "prenom": "Léon"}'::jsonb ;

```

```

prenom |   nom   |      tels
-----+-----+-----
Léon   | Prunelle | {0129951489,0678327400}

```

```

\gdesc
Column | Type
-----+-----
prenom | text
nom     | text
tels    | text[]

```


La version suivante fonctionnerait aussi dans ce cas précis (cependant elle sera moins performante s'il y a beaucoup de lignes, car PostgreSQL voudra faire un agrégat global au lieu d'un simple parcours; il faudra aussi vérifier que la clé d'agrégation tient compte d'homonymes).

```
SELECT personne->>'prenom' AS prenom, personne->>'nom' AS nom,
       array_agg (t) AS tels
FROM   json.personnes p
       LEFT OUTER JOIN LATERAL jsonb_array_elements_text (
                           personne->'adresse'->'telephones') AS tel(t) ON (true)
WHERE  personne @> '{"nom": "Prunelle", "prenom": "Léon"}'::jsonb
GROUP BY 1,2 ;
```

(Noter que la fonction sœur `jsonb_array_elements()` renverrait, elle, des JSON.)

2.10.5 Accès JSONPath

Comparer le résultat et les performances de ces deux requêtes, qui récupèrent aussi les numéros de téléphone de Prunelle :

```
SELECT jsonb_path_query (personne,
'$$.adresse.telephones[*] ? ($.nom == "Prunelle" && $.prenom == "Léon")' ) #>>'{}' AS
↪ tel
FROM json.personnes ;

SELECT jsonb_path_query (personne, '$$.adresse.telephones[*]')#>>'{}'
AS tel
FROM json.personnes
WHERE  personne @@ '$$.nom == "Prunelle" && $.prenom == "Léon"' ;
```

Le résultat est le même dans les deux cas :

```
tel
-----
0129951489
0678327400
```

Par contre, le plan et les temps d'exécutions sont totalement différents. La clause `jsonb_path_query` unique parcourt complètement la table :

```
EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS)
SELECT jsonb_path_query (personne,
'$$.adresse.telephones[*] ? ($.nom == "Prunelle" && $.prenom == "Léon")'
) #>>'{}' AS tel
FROM   json.personnes ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Gather (actual time=1290.193..1293.496 rows=2 loops=1)
  Workers Planned: 2
  Workers Launched: 2
  Buffers: shared hit=729122 read=123788
-> Result (actual time=1113.807..1269.568 rows=1 loops=3)
   Buffers: shared hit=729122 read=123788
   -> ProjectSet (actual time=1113.803..1269.564 rows=1 loops=3)
      Buffers: shared hit=729122 read=123788
```

```

-> Parallel Seq Scan on personnes (actual time=0.240..304.804
↪ rows=177548 loops=3)
    Buffers: shared read=55888
Planning Time: 0.134 ms
Execution Time: 1293.548 ms

```

Tandis que la séparation du filtrage et de l’affichage permet à PostgreSQL de sélectionner les lignes, et donc de passer par un index avant de procéder à l’affichage.

```

EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS)
SELECT jsonb_path_query (personne, '$.adresse.telephones[*]')#>>'{' AS tel
FROM json.personnes
WHERE personne @@ '$.nom == "Prunelle" && $.prenom == "Léon" ' ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Result (actual time=2.196..2.207 rows=2 loops=1)
  Buffers: shared hit=2 read=6
  -> ProjectSet (actual time=2.186..2.194 rows=2 loops=1)
    Buffers: shared hit=2 read=6
    -> Bitmap Heap Scan on personnes (actual time=2.167..2.170 rows=1 loops=1)
      Recheck Cond: (personne @@ '($.nom" == "Prunelle" && $.prenom" ==
↪ "Léon")'::jsonpath)
      Heap Blocks: exact=1
      Buffers: shared hit=2 read=6
      -> Bitmap Index Scan on personnes_gin (actual time=2.113..2.114
↪ rows=1 loops=1)
        Index Cond: (personne @@ '($.nom" == "Prunelle" && $.prenom" ==
↪ "Léon")'::jsonpath)
        Buffers: shared hit=2 read=5
Planning:
  Buffers: shared read=4
Planning Time: 2.316 ms
Execution Time: 2.269 ms

```

(À la place de `@@`, la syntaxe classique `@>` avec un JSON comme critère, est aussi performante dans ce cas simple.)

Chercher qui possède le numéro de téléphone `0650041821` avec la syntaxe JSONPath.

Ces deux syntaxes sont équivalentes :

```

SELECT personne->>'nom', personne->>'prenom'
FROM json.personnes
WHERE personne @@ '$.adresse.telephones[*] == "0650041821" ' ;

SELECT personne->>'nom', personne->>'prenom'
FROM json.personnes
WHERE personne @? '$.adresse.telephones[*] ? (@ == "0650041821")' ;

```

```

?column? | ?column?
-----+-----
Delacroix | Justine

```

Dans les deux cas, `EXPLAIN` montre que l’index GIN est bien utilisé.

Compter le nombre de personnes habitant à Paris ou Bruxelles avec :

- la syntaxe `@>` et un `OR` ;
- une syntaxe JSONPath `@?` et un « ou » logique (`||`) ;
- une syntaxe JSONPath `@?` et une regex `@.ville like_regex "^(Paris|Bruxelles)$"` .

Vous devez trouver 63 personnes avec la version complète de la base.

Cet appel va utiliser l'index GIN :

```
EXPLAIN SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE personne @> '{"adresse": {"ville": "Paris"}}'::jsonb
OR      personne @> '{"adresse": {"ville": "Bruxelles"}}'::jsonb ;
```

QUERY PLAN

```
Aggregate (cost=467.65..467.66 rows=1 width=8)
  -> Bitmap Heap Scan on personnes (cost=51.82..467.38 rows=107 width=0)
        Recheck Cond: ((personne @> '{"adresse": {"ville": "Paris"}}'::jsonb) OR
  ↪ (personne @> '{"adresse": {"ville": "Bruxelles"}}'::jsonb))
        -> BitmapOr (cost=51.82..51.82 rows=107 width=0)
              -> Bitmap Index Scan on personnes_gin (cost=0.00..25.88 rows=53
  ↪ width=0)
                    Index Cond: (personne @> '{"adresse": {"ville": "Paris"}}'::jsonb)
              -> Bitmap Index Scan on personnes_gin (cost=0.00..25.88 rows=53
  ↪ width=0)
                    Index Cond: (personne @> '{"adresse": {"ville":
  ↪ "Bruxelles"}}'::jsonb)
```

Cet appel aussi :

```
EXPLAIN SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE personne @? '$.adresse ? ( @.ville == "Paris" || @.ville == "Bruxelles") ' ;
```

QUERY PLAN

```
Aggregate (cost=2020.86..2020.87 rows=1 width=8)
  -> Bitmap Heap Scan on personnes (cost=48.13..2019.53 rows=533 width=0)
        Recheck Cond: (personne @? '$.adresse?(@.ville == "Paris" || @.ville"
  ↪ == "Bruxelles")'::jsonpath)
        -> Bitmap Index Scan on personnes_gin (cost=0.00..47.99 rows=533 width=0)
              Index Cond: (personne @? '$.adresse?(@.ville == "Paris" ||
  ↪ @.ville == "Bruxelles")'::jsonpath)
```

Par contre, l'index GIN est inutilisable si l'on demande une expression régulière (aussi simple soit-elle) :

```
EXPLAIN SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE personne @? '$.adresse ? ( @.ville like_regex "^(Paris|Bruxelles)$" ) ' ;
```

QUERY PLAN

```
Finalize Aggregate (cost=56899.96..56899.97 rows=1 width=8)
  -> Gather (cost=56899.75..56899.96 rows=2 width=8)
        Workers Planned: 2
        -> Partial Aggregate (cost=55899.75..55899.76 rows=1 width=8)
```

```

-> Parallel Seq Scan on personnes (cost=0.00..55899.19 rows=222
↪ width=0)
    Filter: (personne @? '$."adresse"?(@."ville" like_regex
↪ "^(Paris|Bruxelles)$")'::jsonpath)

```

2.10.6 Index fonctionnel, colonne générée et JSON

Le compte du nombre de personne par pays doit être optimisé au maximum. Ajouter un index fonctionnel sur l'attribut `pays`. Tester l'efficacité sur une recherche, et un décompte de toutes les personnes par pays.

Suivant la syntaxe préférée, l'index peut être par exemple ceci :

```

CREATE INDEX personnes_pays_idx ON json.personnes
USING btree ( (personne->'adresse'->>'pays'));
VACUUM ANALYZE json.personnes ;

```

L'index contient peu de valeurs et fait au plus 3 Mo (beaucoup plus sur une version antérieure à PostgreSQL 13).

Cet index est utilisable pour une recherche **à condition que la syntaxe de l'expression soit rigoureusement identique**, ce qui limite les cas d'usage.

```

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS) SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE personne->'adresse'->>'pays' ='Belgique' ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Aggregate (cost=8.38..8.39 rows=1 width=8) (actual time=0.045..0.046 rows=1
↪ loops=1)
  Buffers: shared hit=6
  -> Index Scan using personnes_pays_idx on personnes (cost=0.42..8.38 rows=1
↪ width=0) (actual time=0.032..0.037 rows=3 loops=1)
    Index Cond: (((personne -> 'adresse'::text) ->> 'pays'::text) =
↪ 'Belgique'::text)
    Buffers: shared hit=6
Planning:
  Buffers: shared hit=1
Planning Time: 0.154 ms
Execution Time: 0.078 ms

```

Par contre, pour le décompte complet, il n'a aucun intérêt :

```

EXPLAIN SELECT personne->'adresse'->>'pays', count(*)
FROM json.personnes GROUP BY 1 ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Finalize GroupAggregate (cost=61309.88..61312.72 rows=11 width=40)
  Group Key: (((personne -> 'adresse'::text) ->> 'pays'::text))
  -> Gather Merge (cost=61309.88..61312.45 rows=22 width=40)
    Workers Planned: 2
    -> Sort (cost=60309.86..60309.88 rows=11 width=40)
      Sort Key: (((personne -> 'adresse'::text) ->> 'pays'::text))

```

```

-> Partial HashAggregate (cost=60309.50..60309.67 rows=11 width=40)
    Group Key: ((personne -> 'adresse'::text) ->> 'pays'::text)
    -> Parallel Seq Scan on personnes (cost=0.00..59199.38
        ↪ rows=222025 width=32)

```

En effet, un index fonctionnel ne permet pas un *Index Only Scan*. Pourtant, il pourrait être très intéressant ici.

Ajouter un champ généré dans `json.personne`, correspondant à l'attribut `pays`.

Attention, l'ordre va réécrire la table, ce qui peut être long (de l'ordre de la minute, suivant le matériel) :

```

ALTER TABLE json.personnes ADD COLUMN pays text
GENERATED ALWAYS AS ( personne->'adresse' ->> 'pays' ) STORED ;
VACUUM ANALYZE json.personnes ;

```

Comparer les temps d'exécution du décompte des pays par l'attribut, et par cette colonne générée.

\timing on

```
SELECT personne->'adresse' ->> 'pays', count(*) FROM json.personnes GROUP BY 1 ;
```

?column?	count
België	39597
Belgique	3
Denmark	21818
España	79899
France	82936
Italia	33997
Lietuva	6606
Poland	91099
Portugal	17850
United Kingdom	64926
United States of America	93914

Temps : 601,815 ms

Par contre, la lecture directe du champ est nettement plus rapide :

```
SELECT pays, count(*) FROM json.personnes GROUP BY 1 ;
```

...
Temps : 58,811 ms

Le plan est pourtant le même : un *Seq Scan*, faute de clause de filtrage et d'index, suivi d'un agrégat parallélisé n'utilisant que quelques kilooctets de mémoire.

QUERY PLAN

```

Finalize GroupAggregate (cost=59529.88..59532.67 rows=11 width=19) (actual
    ↪ time=61.211..64.244 rows=11 loops=1)
    Group Key: pays

```

```

Buffers: shared hit=55219
-> Gather Merge (cost=59529.88..59532.45 rows=22 width=19) (actual
↪ time=61.204..64.235 rows=33 loops=1)
    Workers Planned: 2
    Workers Launched: 2
    Buffers: shared hit=55219
    -> Sort (cost=58529.85..58529.88 rows=11 width=19) (actual
↪ time=45.186..45.188 rows=11 loops=3)
        Sort Key: pays
        Sort Method: quicksort Memory: 25kB
        Worker 0: Sort Method: quicksort Memory: 25kB
        Worker 1: Sort Method: quicksort Memory: 25kB
        Buffers: shared hit=55219
        -> Partial HashAggregate (cost=58529.55..58529.66 rows=11 width=19)
↪ (actual time=45.159..45.161 rows=11 loops=3)
            Group Key: pays
            Buffers: shared hit=55203
            -> Parallel Seq Scan on personnes (cost=0.00..57420.70
↪ rows=221770 width=11) (actual time=0.005..13.678 rows=177548 loops=3)
                Buffers: shared hit=55203

Planning Time: 0.105 ms
Execution Time: 64.297 ms

```

Le champ généré a donc un premier intérêt en terme de rapidité de lecture des champs, surtout avec des JSON importants comme ici.

Créer un index B-tree sur la colonne générée `pays`. Consulter les statistiques dans `pg_stats`.
Cet index est-il utilisable pour des filtres et le décompte par `pays` ?

```

CREATE INDEX personnes_g_pays_btree ON json.personnes (pays);
VACUUM ANALYZE json.personnes ;

```

Ces deux ordres ne durent qu'1 ou 2 secondes.

```

EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS)
SELECT p.pays, count(*)
FROM json.personnes p
GROUP BY 1 ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Finalize GroupAggregate (cost=1000.45..8885.35 rows=10 width=19) (actual
↪ time=7.629..49.349 rows=11 loops=1)
    Group Key: pays
    Buffers: shared hit=477
    -> Gather Merge (cost=1000.45..8885.15 rows=20 width=19) (actual
↪ time=7.625..49.340 rows=11 loops=1)
        Workers Planned: 2
        Workers Launched: 0
        Buffers: shared hit=477
        -> Partial GroupAggregate (cost=0.42..7882.82 rows=10 width=19) (actual
↪ time=7.371..49.034 rows=11 loops=1)
            Group Key: pays
            Buffers: shared hit=477
            -> Parallel Index Only Scan using personnes_g_pays_btree on personnes
↪ p (cost=0.42..6771.79 rows=222186 width=11) (actual time=0.023..22.578
↪ rows=532645 loops=1)

```

```

Heap Fetches: 0
Buffers: shared hit=477
Planning Time: 0.114 ms
Execution Time: 49.391 ms

```

Le gain en temps est appréciable. Mais l'intérêt principal réside ici dans le nombre de blocs lus divisé par 100! Le nouvel index ne fait que 3 Mo.

```
\di+ json.personnes*
```

Liste des relations						
Schéma	Nom	Type	...	Méthode d'accès	Taille	...
json	personnes_g_pays_btree	index	...	btree	3664 kB	
json	personnes_gin	index	...	gin	230 MB	
json	personnes_pays_idx	index	...	btree	3664 kB	

(Optionnel) Créer des colonnes générées sur `nom`, `prenom`, `date_naissance`, et `ville` (en un seul ordre). Reprendre la requête plus haut qui les affiche tous et comparer les performances.

Un champ va poser problème : la date de naissance. En effet, la date est stockée au format texte, il faudra soi-même faire la conversion. De plus, un simple opérateur `::date` ne peut être utilisé dans une expression de `GENERATED` car il n'est pas « immutable » (pour des raisons techniques⁴⁵).

Un contournement pas très performant est celui-ci :

```

ALTER TABLE json.personnes
ADD COLUMN nom text GENERATED ALWAYS AS (personne->>'prenom') STORED,
ADD COLUMN prenom text GENERATED ALWAYS AS (personne->>'nom') STORED,
ADD COLUMN date_naissance date
    GENERATED ALWAYS AS (
        make_date (left(personne->>'date_naissance',4)::int,
                    substring(personne->>'date_naissance',6,2)::int,
                    left(personne->>'date_naissance',2)::int))
    STORED,
ADD COLUMN ville text GENERATED ALWAYS AS ( personne->'adresse'->>'ville') STORED ;

VACUUM ANALYZE json.personnes ;

```

Une autre possibilité plus performante est d'enrober `to_date()` dans une fonction immutable, puisqu'il n'y a, dans ce cas précis, pas d'ambiguïté sur le format ISO :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION to_date_immutable (text)
RETURNS date
-- Cette fonction requiert que les dates soient bien
-- stockées au format ci-dessous
-- et ne fait aucune gestion d'erreur sinon
LANGUAGE sql
IMMUTABLE PARALLEL SAFE
AS $body$
    SELECT to_date($1, 'YYYY-MM-DD');
$body$ ;

```

et l'ordre devient :

⁴⁵<https://www.postgresql.org/message-id/flat/201111290311.pAT3Bf318279%40momjian.us>

```
ALTER TABLE json.personnes
...
ADD COLUMN date_naissance date
GENERATED ALWAYS AS (to_date_immutable (personne->>'date_naissance')) STORED,
...;
```

Les conversions de texte vers des dates sont des sources fréquentes de problèmes. Le conseil habituel est de toujours stocker une date dans un champ de type `date` ou `timestamp` / `timestampz`. Mais si elle provient d'un JSON, il faudra gérer soi-même la conversion.

Quelle que soit la méthode, la requête suivante :

```
SELECT nom, prenom, date_naissance, ville, pays FROM json.personnes ;
```

est **beaucoup** plus rapide que :

```
SELECT r1.nom, r1.prenom, r1.date_naissance, r2.ville, r2.pays
FROM json.personnes,
LATERAL jsonb_to_record (personne)
AS r1 (nom text, prenom text, date_naissance date),
LATERAL jsonb_to_record (personne->'adresse')
AS r2 (ville text, pays text) ;
```

elle-même plus rapide que les extractions manuelles des attributs un à un, comme vu plus haut.

Certes, la table est un peu plus grosse, mais le coût d'insertion des colonnes générées est donc souvent rentable pour les champs fréquemment utilisés.

2.10.7 jsonb et mise à jour

Ajouter l'attribut `animaux` à Gaston Lagaffe, avec la valeur 18. Vérifier en relisant la ligne.

```
UPDATE json.personnes
SET personne = personne || '{"animaux": 18}'
WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom": "Gaston"}'::jsonb;
```

```
SELECT personne->>'animaux'
FROM json.personnes WHERE personne @> '{"nom": "Lagaffe", "prenom":
↪ "Gaston"}'::jsonb ;
```

```
?column?
```

```
-----
18
```

Ajouter l'attribut `animaux` à 2% des individus au hasard, avec une valeur 1 ou 2.

On utilise ici la fonction `jsonb_build_object()`, plus adaptée à la construction d'un JSON qui n'est pas une constante. Le choix des individus peut se faire de plusieurs manières, par exemple avec

```
random(), mod() ...
```



```
UPDATE json.personnes
SET  personne = personne ||
      jsonb_build_object ('animaux', 1+mod ((personne->>'numgen')::int, 50))
WHERE mod((personne->>'numgen')::int,50) = 0 ;
```

UPDATE 10653

```
-- Conseillé après chaque mise à jour importante
VACUUM ANALYZE json.personnes ;
```

Compter le nombre de personnes avec des animaux (avec ou sans JSONPath). Proposer un index qui pourrait convenir à d'autres futurs nouveaux attributs peu fréquents.

Ces requêtes renvoient 10654, mais effectuent toutes un *Seq Scan* avec une durée d'exécution aux alentours de la seconde :

```
SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE (personne->>'animaux')::int > 0 ;

SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE  personne ? 'animaux' ;

SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE  personne @> '$.animaux > 0' ;

SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE  personne @? '$.animaux ? (@ > 0)' ;
```

(Remarquer que les deux dernières requêtes utiliseraient l'index GIN pour des égalités comme `(@ == 0)` ou `(@ == 18)`, et seraient presque instantanées. Là encore, c'est une limite des index GIN.)

On pourrait indexer `(personne->>'animaux')::int`, ce qui serait excellent pour la première requête, mais ne conviendrait pas à d'autres critères.

L'opérateur `?` ne sait pas utiliser l'index GIN `jsonb_path_ops` existant. Par contre, il peut profiter de l'opérateur GIN par défaut :

```
CREATE INDEX personnes_gin_df ON json.personnes USING gin (personne) ;

EXPLAIN
SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE  personne ? 'animaux' ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Aggregate  (cost=42263.34..42263.35 rows=1 width=8)
  -> Bitmap Heap Scan on personnes  (cost=167.47..42209.54 rows=21521 width=0)
        Recheck Cond: (personne ? 'animaux'::text)
        -> Bitmap Index Scan on personnes_gin_df  (cost=0.00..162.09 rows=21521)
              width=0)
        Index Cond: (personne ? 'animaux'::text)
```

Il est directement utilisable par tout autre attribut :

```
SELECT count(*) FROM json.personnes
WHERE  personne ? 'voitures' ;
```

QUERY PLAN

```
Aggregate (cost=233.83..233.84 rows=1 width=8)
  -> Bitmap Heap Scan on personnes (cost=25.89..233.70 rows=53 width=0)
        Recheck Cond: (personne ? 'voitures'::text)
  -> Bitmap Index Scan on personnes_gin_df (cost=0.00..25.88 rows=53 width=0)
        Index Cond: (personne ? 'voitures'::text)
```

Cet index avec l'opérateur `jsonb_ops` a par contre le gros inconvénient d'être encore plus gros que l'index GIN avec `jsonb_path_ops` (303 Mo contre 235 Mo), et d'alourdir encore les mises à jour. Il peut cependant remplacer ce dernier, de manière un peu moins performante. Il faut aviser selon les requêtes, la place, les écritures...

2.10.8 Large Objects

- Créer une table `fichiers` avec un texte et une colonne permettant de référencer des *Large Objects*.

```
CREATE TABLE fichiers (nom text PRIMARY KEY, data OID);
```

- Importer un fichier local à l'aide de psql dans un large object.
- Noter l'`oid` retourné.

```
psql -c "\lo_import '/etc/passwd'"
```

```
lo_import 6821285
```

```
INSERT INTO fichiers VALUES ('/etc/passwd',6821285) ;
```

- Importer un fichier du serveur à l'aide de psql dans un large object.

```
INSERT INTO fichiers SELECT 'postgresql.conf',  
lo_import('/var/lib/pgsql/15/data/postgresql.conf') ;
```

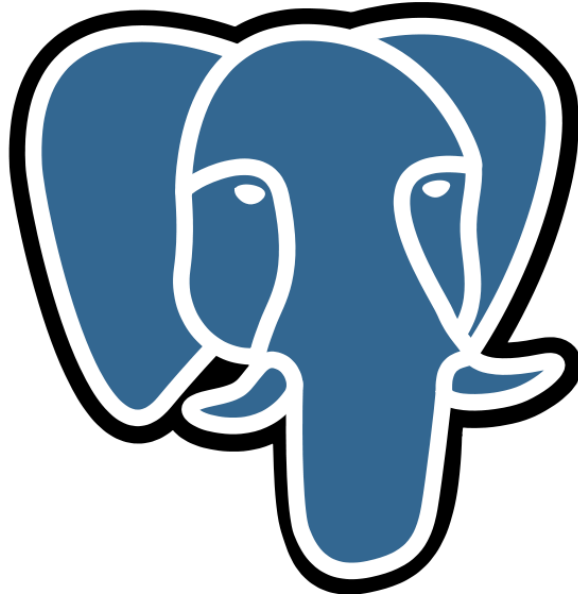
- Afficher le contenu de ces différents fichiers à l'aide de psql.

```
psql -c "SELECT nom,encode(l.data,'escape') \  
        FROM fichiers f JOIN pg_largeobject l ON f.data = l.loid;"
```

- Les sauvegarder dans des fichiers locaux.

```
psql -c "\lo_export loid_retourné '/home/dalibo/passwd_serveur';"
```


3/ PL/pgSQL : les bases



3.1 PRÉAMBULE



- Vous apprendrez :
 - à choisir si vous voulez écrire du PL
 - à choisir votre langage PL
 - les principes généraux des langages PL autres que PL/pgSQL
 - les bases de PL/pgSQL

Ce module présente la programmation PL/pgSQL. Il commence par décrire les routines stockées et les différents langages disponibles. Puis il aborde les bases du langage PL/pgSQL, autrement dit :

- comment installer PL/pgSQL dans une base PostgreSQL ;
- comment créer un squelette de fonction ;
- comment déclarer des variables ;
- comment utiliser les instructions de base du langage ;
- comment créer et manipuler des structures ;
- comment passer une valeur de retour de la fonction à l'appelant.

3.1.1 Au menu



- Présentation du PL et des principes
- Présentations de PL/pgSQL et des autres langages PL
- Installation d'un langage PL
- Détails sur PL/pgSQL

3.1.2 Objectifs



- Comprendre les cas d'utilisation d'une routine PL/pgSQL
- Choisir son langage PL en connaissance de cause
- Comprendre la différence entre PL/pgSQL et les autres langages PL
- Écrire une routine simple en PL/pgSQL
 - et même plus complexe

3.2 INTRODUCTION

3.2.1 Qu'est-ce qu'un PL ?



- PL = *Procedural Language*
- 3 langages activés par défaut :
 - C
 - SQL
 - PL/pgSQL

PL est l'acronyme de « Procedural Languages ». En dehors du C et du SQL, tous les langages acceptés par PostgreSQL sont des PL.

Par défaut, trois langages sont installés et activés : C, SQL et PL/pgSQL.

3.2.2 Quels langages PL sont disponibles ?



- Installé par défaut :
 - PL/pgSQL
- Intégrés au projet :
 - PL/Perl
 - PL/Python
 - PL/Tcl
- Extensions tierces :
 - PL/java, PL/R, PL/v8 (Javascript), PL/sh ...
 - extensible à volonté

Les quatre langages PL supportés nativement (en plus du C et du SQL bien sûr) sont décrits en détail dans la documentation officielle :

- PL/PgSQL¹ est intégré par défaut dans toute nouvelle base (de par sa présence dans la base modèle **template1**);
- PL/Tcl² (existe en version *trusted* et *untrusted*);
- PL/Perl³ (existe en version *trusted* et *untrusted*);
- PL/Python⁴ (uniquement en version *untrusted*).

¹<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql.html>

²<https://docs.postgresql.fr/current/pltcl.html>

³<https://docs.postgresql.fr/current/plperl.html>

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/plpython.html>

D'autres langages PL sont accessibles en tant qu'extensions tierces. Les plus stables sont mentionnés dans la documentation⁵, comme PL/Java⁶ ou PL/R⁷. Ils réclament généralement d'installer les bibliothèques du langage sur le serveur.

Une liste plus large est par ailleurs disponible sur le wiki PostgreSQL⁸, Il en ressort qu'au moins 16 langages sont disponibles, dont 10 installables en production. De plus, il est possible d'en ajouter d'autres, comme décrit dans la documentation⁹.

3.2.3 Langages *trusted* vs *untrusted*



- *Trusted* = langage de confiance :
 - ne permet que l'accès à la base de données
 - donc pas aux systèmes de fichiers, aux sockets réseaux, etc.
 - SQL, PL/pgSQL, PL/Perl, PL/Tcl
- *Untrusted* :
 - PL/Python, C...
 - PL/TclU, PL/PerlU

Les langages de confiance ne peuvent accéder qu'à la base de données. Ils ne peuvent pas accéder aux autres bases, aux systèmes de fichiers, au réseau, etc. Ils sont donc confinés, ce qui les rend moins facilement utilisables pour compromettre le système. PL/pgSQL est l'exemple typique. Mais de ce fait, ils offrent moins de possibilités que les autres langages.

Seuls les superutilisateurs peuvent créer une routine dans un langage *untrusted*. Par contre, ils peuvent ensuite donner les droits d'exécution à ces routines aux autres rôles dans la base :

```
GRANT EXECUTE ON FUNCTION nom_fonction TO un_role ;
```

3.2.4 Les langages PL de PostgreSQL



- Les langages PL fournissent :
 - des fonctionnalités procédurales dans un univers relationnel
 - des fonctionnalités avancées du langage PL choisi
 - des performances de traitement souvent supérieures à celles du même code côté client

⁵<https://docs.postgresql.fr/current/external-pl.html>

⁶<https://tada.github.io/pljava/>

⁷<https://github.com/postgres-plr/plr>

⁸https://wiki.postgresql.org/wiki/PL_Matrix

⁹<https://docs.postgresql.fr/current/plhandler.html>

La question se pose souvent de placer la logique applicative du côté de la base, dans un langage PL, ou des clients. Il peut y avoir de nombreuses raisons en faveur de la première option. Simplifier et centraliser des traitements clients directement dans la base est l'argument le plus fréquent. Par exemple, une insertion complexe dans plusieurs tables, avec mise en place d'identifiants pour liens entre ces tables, peut évidemment être écrite côté client. Il est quelquefois plus pratique de l'écrire sous forme de PL. Les avantages sont :

Centralisation du code :

Si plusieurs applications ont potentiellement besoin d'opérer un même traitement, à fortiori dans des langages différents, porter cette logique dans la base réduit d'autant les risques de *bugs* et facilite la maintenance.

Une règle peut être que tout ce qui a trait à l'intégrité des données devrait être exécuté au niveau de la base.

Performances :

Le code s'exécute localement, directement dans le moteur de la base. Il n'y a donc pas tous les changements de contexte et échanges de messages réseaux dus à l'exécution de nombreux ordres SQL consécutifs. L'impact de la latence due au trafic réseau de la base au client est souvent sous-estimée.

Les langages PL permettent aussi d'accéder à leurs bibliothèques spécifiques (extrêmement nombreuses en python ou perl, entre autres).

Une fonction en PL peut également servir à l'indexation des données. Cela est impossible si elle se calcule sur une autre machine.

Simplicité :

Suivant le besoin, un langage PL peut être bien plus pratique que le langage client.

Il est par exemple très simple d'écrire un traitement d'insertion/mise à jour en PL/pgSQL, le langage étant créé pour simplifier ce genre de traitements, et la gestion des exceptions pouvant s'y produire. Si vous avez besoin de réaliser du traitement de chaîne puissant, ou de la manipulation de fichiers, PL/Perl ou PL/Python seront probablement des options plus intéressantes car plus performantes, là aussi utilisables dans la base.

La grande variété des différents langages PL supportés par PostgreSQL permet normalement d'en trouver un correspondant aux besoins et aux langages déjà maîtrisés dans l'entreprise.

Les langages PL permettent donc de rajouter une couche d'abstraction et d'effectuer des traitements avancés directement en base.

3.2.5 Intérêts de PL/pgSQL en particulier



- Inspiré de l'ADA, proche du Pascal
- Ajout de structures de contrôle au langage SQL
- **Dédié au traitement des données et au SQL**
- Peut effectuer des traitements complexes
- Hérite de tous les types, fonctions et opérateurs définis par les utilisateurs
- *Trusted*
- Facile à utiliser

Le langage étant assez ancien, proche du Pascal et de l'ADA, sa syntaxe ne choquera personne. Elle est d'ailleurs très proche de celle du PLSQL d'Oracle.

Le PL/pgSQL permet d'écrire des requêtes directement dans le code PL sans déclaration préalable, sans appel à des méthodes complexes, ni rien de cette sorte. Le code SQL est mélangé naturellement au code PL, et on a donc un sur-ensemble procédural de SQL.

PL/pgSQL étant intégré à PostgreSQL, il hérite de tous les types déclarés dans le moteur, même ceux rajoutés par l'utilisateur. Il peut les manipuler de façon transparente.

PL/pgSQL est *trusted*. Tous les utilisateurs peuvent donc créer des routines dans ce langage (par défaut). Vous pouvez toujours soit supprimer le langage, soit retirer les droits à un utilisateur sur ce langage (via la commande SQL `REVOKE`).

PL/pgSQL est donc raisonnablement facile à utiliser : il y a peu de complications, peu de pièges, et il dispose d'une gestion des erreurs évoluée (gestion d'exceptions).

3.2.6 Les autres langages PL ont toujours leur intérêt



- Avantages des autres langages PL par rapport à PL/pgSQL :
 - beaucoup plus de possibilités
 - souvent plus performants pour la résolution de certains problèmes
- Mais :
 - pas spécialisés dans le traitement de requêtes
 - types différents
 - interpréteur séparé

Les langages PL « autres », comme PL/perl¹⁰ et PL/Python (les deux plus utilisés après PL/pgSQL), sont bien plus évolués que PL/PgSQL. Par exemple, ils sont bien plus efficaces en matière de traitement de chaînes de caractères, possèdent des structures avancées comme des tables de hachage,

¹⁰<https://docs.postgresql.fr/current/plperl-builtins.html>

permettent l'utilisation de variables statiques pour maintenir des caches, voire, pour leur version *untrusted*, peuvent effectuer des appels systèmes. Dans ce cas, il devient possible d'appeler un service web par exemple, ou d'écrire des données dans un fichier externe.

Il existe des langages PL spécialisés. Le plus emblématique d'entre eux est PL/R¹¹. R est un langage utilisé par les statisticiens pour manipuler de gros jeux de données. PL/R permet donc d'effectuer ces traitements R directement en base, traitements qui seraient très pénibles à écrire dans d'autres langages, et avec une latence dans le transfert des données.

Il existe aussi un langage qui est, du moins sur le papier, plus rapide que tous les langages cités précédemment : vous pouvez écrire des procédures stockées en C¹², directement. Elles seront compilées à l'extérieur de PostgreSQL, en respectant un certain formalisme, puis seront chargées en indiquant la bibliothèque C qui les contient et leurs paramètres et types de retour.



Mais attention : toute erreur dans le code C est susceptible d'accéder à toute la mémoire visible par le processus PostgreSQL qui l'exécute, et donc de corrompre les données. Il est donc conseillé de ne faire ceci qu'en dernière extrémité.

Le gros défaut est simple et commun à tous ces langages : ils ne sont pas spécialement conçus pour s'exécuter en tant que langage de procédures stockées. Ce que vous utilisez quand vous écrivez du PL/Perl est donc du code Perl, avec quelques fonctions supplémentaires (préfixées par `spi`) pour accéder à la base de données ; de même en C. L'accès aux données est assez fastidieux au niveau syntaxique, comparé à PL/pgSQL.

Un autre problème des langages PL (autre que C et PL/pgSQL), est que ces langages n'ont pas les mêmes types natifs que PostgreSQL, et s'exécutent dans un interpréteur relativement séparé. Les performances sont donc moindres que PL/pgSQL et C, pour les traitements dont le plus consommateur est l'accès aux données. Souvent, le temps de traitement dans un de ces langages plus évolués est tout de même meilleur grâce au temps gagné par les autres fonctionnalités (la possibilité d'utiliser un cache, ou une table de hachage par exemple).

¹¹<https://github.com/postgres-plr/plr/blob/master/userguide.md>

¹²<https://docs.postgresql.fr/current/xfunc-c.html>

3.2.7 Routines / Procédures stockées / Fonctions



- **Procédure** stockée
 - pas de retour
 - contrôle transactionnel : `COMMIT` / `ROLLBACK`
- **Fonction**
 - peut renvoyer des données (même des lignes)
 - utilisable dans un `SELECT`
 - peut être de type `TRIGGER`, agrégat, fenêtrage
- **Routine**
 - procédure ou fonction

Les programmes écrits à l'aide des langages PL sont habituellement enregistrés sous forme de « routines » :

- procédures;
- fonctions;
- fonctions *trigger*;
- fonctions d'agrégat;
- fonctions de fenêtrage (*window functions*).

Le code source de ces objets est stocké dans la table `pg_proc` du catalogue.

Les procédures, apparues avec PostgreSQL 11, sont très similaires aux fonctions. Les principales différences entre les deux sont :

- Les fonctions doivent déclarer des arguments en sortie (`RETURNS` ou arguments `OUT`). Elles peuvent renvoyer n'importe quel type de donnée, ou des ensembles de lignes. Il est possible d'utiliser `void` pour une fonction sans argument de sortie; c'était d'ailleurs la méthode utilisée pour émuler le comportement d'une procédure avant leur introduction avec PostgreSQL 11. Les procédures n'ont pas de code retour (on peut cependant utiliser des paramètres `OUT` ou `INOUT`).
- Les procédures offrent le support du contrôle transactionnel, c'est-à-dire la capacité de valider (`COMMIT`) ou annuler (`ROLLBACK`) les modifications effectuées jusqu'à ce point par la procédure. L'intégralité d'une fonction s'effectue dans la transaction appelante.
- Les procédures sont appelées exclusivement par la commande SQL `CALL` ; les fonctions peuvent être appelées dans la plupart des ordres DML/DQL (notamment `SELECT`), mais pas par `CALL` .
- Les fonctions peuvent être déclarées de telle manière qu'elles peuvent être utilisées dans des rôles spécifiques (*trigger*, agrégat ou fonction de fenêtrage).

3.3 INSTALLATION

3.3.1 Installation des binaires nécessaires



- SQL, C et PL/pgSQL
 - compilés et installés par défaut
- Paquets du PGDG pour la plupart des langages :

```
yum|dnf install postgresql16-plperl
apt      install postgresql-plpython3-16
```

- Autres langages :
 - à compiler soi-même

Pour savoir si PL/Perl ou PL/Python a été compilé, on peut demander à `pg_config` :

```
pg_config --configure
'--prefix=/usr/local/pgsql-10_icu' '--enable-thread-safety'
'--with-openssl' '--with-libxml' '--enable-nls' '--with-perl' '--enable-debug'
'ICU_CFLAGS=-I/usr/local/include/unicode/'
'ICU_LIBS=-L/usr/local/lib -licui18n -licuuc -licudata' '--with-icu'
```

Si besoin, les emplacements exacts d'installation des bibliothèques peuvent être récupérés à l'aide des options `--libdir` et `--pkglibdir` de `pg_config`.

Cependant, dans les paquets fournis par le PGDG, il faudra installer explicitement le paquet dédié à `plperl` pour la version majeure de PostgreSQL concernée. Pour PostgreSQL 16, les paquets sont `postgresql16-plperl` (depuis `yum.postgresql.org`) ou `postgresql-plperl-16` (depuis `apt.postgresql.org`). De même pour Python 3 (paquets `postgresql14-plpython3` ou `postgresql-plython3-14`).

Les bibliothèques `plperl.so`, `plpython3.so` ou `plpgsql.so` contiennent les fonctions qui permettent l'utilisation de chaque langage. La bibliothèque nécessaire est chargée par le moteur à la première utilisation d'une procédure utilisant ce langage.

La plupart des langages intéressants sont disponibles sous forme de paquets. Des versions très récentes, ou des langages plus exotiques, peuvent nécessiter une compilation de l'extension.

3.3.2 Activer un langage



Activer un langage passe par la création de l'extension :

```
CREATE EXTENSION plperl ;      -- pour tous
-- versions untrusted
CREATE EXTENSION plperl_u ;    -- pour le superutilisateur
CREATE EXTENSION plpython3u ;
```

— Liste : `\dL` ou `pg_language`

Le langage est activé uniquement dans la base dans laquelle la commande est lancée. Il faudra donc répéter le `CREATE EXTENSION` dans chaque base au besoin (noter qu'activer un langage dans la base modèle `template1` l'activera aussi pour toutes les bases créées par la suite, comme c'est déjà le cas pour le PL/pgSQL).

Pour voir les langages activés, utiliser la commande `\dL` qui reprend le contenu de la table système `pg_language` :

```
CREATE EXTENSION plperl ;
CREATE EXTENSION plpython3u ;
CREATE EXTENSION plsh ;
CREATE EXTENSION plr;
```

postgres=# \dL

Liste des langages			
Nom	...	De confiance	Description
plperl	...	t	PL/PerlU untrusted procedural language
plpgsql	...	t	PL/pgSQL procedural language
plpython3u	...	f	PL/Python3U untrusted procedural language
plr	...	f	
plsh	...	f	PL/sh procedural language

Noter la distinction entre les langages *trusted* (de confiance) et *untrusted*. Si un langage est *trusted*, tous les utilisateurs peuvent créer des procédures dans ce langage sans danger. Sinon seuls les super-utilisateurs le peuvent.

Il existe par exemple deux variantes de PL/Perl : PL/Perl et PL/PerlU. La seconde est la variante *untrusted* et est un Perl « complet ». La version *trusted* n'a pas le droit d'ouvrir des fichiers, des sockets, ou autres appels systèmes qui seraient dangereux.

SQL, PL/pgSQL, PL/Tcl, PL/Perl (mais pas PL/Python) sont *trusted* et les utilisateurs peuvent les utiliser à volonté.

C, PL/TclU, PL/PerlU, et PL/Python3U sont *untrusted*. Un superutilisateur doit alors écrire les fonctions et procédures et opérer des `GRANT EXECUTE` aux utilisateurs.

3.4 EXEMPLES DE FONCTIONS & PROCÉDURES

3.4.1 Fonction PL/pgSQL simple



Une fonction simple en PL/pgSQL :

```
CREATE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE plpgsql
IMMUTABLE
AS '
DECLARE
    resultat integer;
BEGIN
    resultat := entier1 + entier2;
    RETURN resultat;
END ' ;
```

```
SELECT addition (1,2);
```

```
addition
-----
        3
```

3.4.2 Exemple de fonction SQL



Même fonction en SQL pur :

```
CREATE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE sql
IMMUTABLE
AS '      SELECT entier1 + entier2 ; ' ;
```

- Intérêt : *inlining* & planification
- Syntaxe allégée (v14+) :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE sql
IMMUTABLE
RETURN entier1 + entier2 ;
```

Les fonctions simples peuvent être écrites en SQL pur. La syntaxe est plus claire, mais bien plus limitée qu'en PL/pgSQL (ni boucles, ni conditions, ni exceptions notamment).

À partir de PostgreSQL 14, il est possible de se passer des guillemets encadrants, pour les fonctions SQL uniquement. La même fonction devient donc :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE sql
IMMUTABLE
RETURN entier1 + entier2 ;
```

Cette nouvelle écriture respecte mieux le standard SQL. Surtout, elle autorise un *parsing* et une vérification des objets impliqués dès la déclaration, et non à l'utilisation. Les dépendances entre fonctions et objets utilisés sont aussi mieux tracées.

L'avantage principal des fonctions en pur SQL est, si elles sont assez simples, leur intégration lors de la réécriture interne de la requête (*inlining*) : elles ne sont donc pas pour l'optimiseur des « boîtes noires ». À l'inverse, l'optimiseur ne sait rien du contenu d'une fonction PL/pgSQL.

Dans l'exemple suivant, la fonction sert de filtre à la requête. Comme elle est en pur SQL, elle permet d'utiliser l'index sur la colonne `date_embauche` de la table `employes_big` :

```
CREATE FUNCTION employe_eligible_prime_sql (service int, date_embauche date)
RETURNS boolean
LANGUAGE sql
AS $$
    SELECT ( service !=3 AND date_embauche < '2003-01-01') ;
$$ ;
```

```
EXPLAIN (ANALYZE) SELECT matricule, num_service, nom, prenom
FROM employes_big
WHERE employe_eligible_prime_sql (num_service, date_embauche) ;
```

QUERY PLAN

```
Index Scan using employes_big_date_embauche_idx on employes_big
    (cost=0.42..1.54 rows=1 width=22) (actual time=0.008..0.009 rows=1 loops=1)
    Index Cond: (date_embauche < '2003-01-01'::date)
    Filter: (num_service <> 3)
    Rows Removed by Filter: 1
    Planning Time: 0.102 ms
    Execution Time: 0.029 ms
```

Avec une version de la même fonction en PL/pgSQL, le planificateur ne voit pas le critère indexé. Il n'a pas d'autre choix que de lire toute la table et d'appeler la fonction pour chaque ligne, ce qui est bien sûr plus lent :

```
CREATE FUNCTION employe_eligible_prime_pl (service int, date_embauche date)
RETURNS boolean
LANGUAGE plpgsql AS $$
BEGIN
    RETURN ( service !=3 AND date_embauche < '2003-01-01') ;
END ;
$$ ;
```

```
EXPLAIN (ANALYZE) SELECT matricule, num_service, nom, prenom
FROM employes_big
WHERE employe_eligible_prime_pl (num_service, date_embauche) ;
```

QUERY PLAN

```
Seq Scan on employes_big (cost=0.00..134407.90 rows=166338 width=22)
    (actual time=0.069..269.121 rows=1 loops=1)
    Filter: employe_eligible_prime_pl(num_service, date_embauche)
    Rows Removed by Filter: 499014
    Planning Time: 0.038 ms
    Execution Time: 269.157 ms
```

Le wiki¹³ décrit les conditions pour que l'*inlining* des fonctions SQL fonctionne : obligation d'un seul `SELECT`, interdiction de certaines fonctionnalités...

3.4.3 Exemple de fonction PL/pgSQL utilisant la base



```
CREATE OR REPLACE FUNCTION nb_lignes_table (sch text, tbl text)
RETURNS bigint
STABLE
AS '
DECLARE      n bigint ;
BEGIN
    SELECT n_live_tup
    INTO n
    FROM pg_stat_user_tables
    WHERE schemaname = sch AND relname = tbl ;
    RETURN n ;
END ; '
LANGUAGE plpgsql ;
```

Dans cet exemple, on récupère l'estimation du nombre de lignes actives d'une table passée en paramètres.

L'intérêt majeur du PL/pgSQL et du SQL sur les autres langages est la facilité d'accès aux données. Ici, un simple `SELECT <champ> INTO <variable>` suffit à récupérer une valeur depuis une table dans une variable.

```
SELECT nb_lignes_table ('public', 'pgbench_accounts');
```

```
nb_lignes_table
-----
10000000
```

3.4.4 Exemple de fonction PL/Perl complexe



- Permet d'insérer une facture associée à un client
- Si le client n'existe pas, une entrée est créée
- Utilisation fréquente de `spi_exec`

¹³https://wiki.postgresql.org/wiki/Inlining_of_SQL_functions

Voici l'exemple de la fonction :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
    public.demo_insert_perl(nom_client text, titre_facture text)
RETURNS integer
LANGUAGE plperl
STRICT
AS $function$
    use strict;
    my ($nom_client, $titre_facture)=@_;
    my $rv;
    my $id_facture;
    my $id_client;

    # Le client existe t'il ?
    $rv = spi_exec_query('SELECT id_client FROM mes_clients WHERE nom_client = '
        . quote_literal($nom_client)
    );
    # Sinon on le crée :
    if ($rv->{processed} == 0)
    {
        $rv = spi_exec_query('INSERT INTO mes_clients (nom_client) VALUES ('
            . quote_literal($nom_client) . ') RETURNING id_client'
        );
    }
    # Dans les deux cas, l'id client est dans $rv :
    $id_client=$rv->{rows}[0]->{id_client};

    # Insérons maintenant la facture
    $rv = spi_exec_query(
        'INSERT INTO mes_factures (titre_facture, id_client) VALUES ('
        . quote_literal($titre_facture) . ", $id_client ) RETURNING id_facture"
    );

    $id_facture = $rv->{rows}[0]->{id_facture};

    return $id_facture;
$function$ ;
```

Cette fonction n'est pas parfaite, elle ne protège pas de tout. Il est tout à fait possible d'avoir une insertion concurrente entre le `SELECT` et le `INSERT` par exemple.

Il est clair que l'accès aux données est malaisé en PL/Perl, comme dans la plupart des langages, puisqu'ils ne sont pas prévus spécifiquement pour cette tâche. Par contre, on dispose de toute la puissance de Perl pour les traitements de chaîne, les appels système...

PL/Perl, c'est :

- Perl, moins les fonctions pouvant accéder à autre chose qu'à PostgreSQL (il faut utiliser PL/PerlU pour passer outre cette limitation);
- un bloc de code anonyme appelé par PostgreSQL;
- des fonctions d'accès à la base, `spi_*`

3.4.5 Exemple de fonction PL/pgSQL complexe



- Même fonction en PL/pgSQL que précédemment
- L'accès aux données est simple et naturel
- Les types de données SQL sont natifs
- La capacité de traitement est limitée par le langage
- **Attention** au nommage des variables et paramètres

Pour éviter les conflits avec les objets de la base, il est conseillé de préfixer les variables.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
public.demo_insert_plpgsql(p_nom_client text, p_titre_facture text)
  RETURNS integer
  LANGUAGE plpgsql
  STRICT
AS $function$
DECLARE
  v_id_facture int;
  v_id_client int;
BEGIN
  -- Le client existe t'il ?
  SELECT id_client
  INTO v_id_client
  FROM mes_clients
  WHERE nom_client = p_nom_client;

  -- Sinon on le crée :
  IF NOT FOUND THEN
    INSERT INTO mes_clients (nom_client)
    VALUES (p_nom_client)
    RETURNING id_client INTO v_id_client;
  END IF;

  -- Dans les deux cas, l'id client est maintenant dans v_id_client

  -- Insérons maintenant la facture
  INSERT INTO mes_factures (titre_facture, id_client)
  VALUES (p_titre_facture, v_id_client)
  RETURNING id_facture INTO v_id_facture;

  return v_id_facture;
END;
$function$ ;
```

3.4.6 Exemple de procédure



```
CREATE OR REPLACE PROCEDURE vide_tables (dry_run BOOLEAN)
AS '
BEGIN
    TRUNCATE TABLE pgbench_history ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_accounts CASCADE ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_tellers CASCADE ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_branches CASCADE ;
    IF dry_run THEN
        ROLLBACK ;
    END IF ;
END ;
' LANGUAGE plpgsql ;
```

Cette procédure tronque des tables de la base d'exemple **pgbench**, et annule si `dry_run` est vrai.

Les procédures sont récentes dans PostgreSQL (à partir de la version 11). Elles sont à utiliser quand on n'attend pas de résultat en retour. Surtout, elles permettent de gérer les transactions (`COMMIT`, `ROLLBACK`), ce qui ne peut se faire dans des fonctions, même si celles-ci peuvent modifier les données.



Une procédure ne peut utiliser le contrôle transactionnel que si elle est appelée en dehors de toute transaction.

Comme pour les fonctions, il est possible d'utiliser le SQL pur dans les cas les plus simples, sans contrôle transactionnel notamment :

```
CREATE OR REPLACE PROCEDURE vide_tables ()
AS '
    TRUNCATE TABLE pgbench_history ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_accounts CASCADE ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_tellers CASCADE ;
    TRUNCATE TABLE pgbench_branches CASCADE ;
' LANGUAGE sql;
```

Toujours pour les procédures en SQL, il existe une variante sans guillemets, à partir de PostgreSQL 14, mais qui ne supporte pas tous les ordres. Comme pour les fonctions, l'intérêt est la prise en compte des dépendances entre objets et procédures.

```
CREATE OR REPLACE PROCEDURE vide_tables ()
BEGIN ATOMIC
    DELETE FROM pgbench_history ;
    DELETE FROM pgbench_accounts ;
    DELETE FROM pgbench_tellers ;
    DELETE FROM pgbench_branches ;
END ;
```

3.4.7 Exemple de bloc anonyme en PL/pgSQL



— Bloc procédural anonyme en PL/pgSQL :

```
DO $$
DECLARE r record;
BEGIN
    FOR r IN (SELECT schemaname, relname
              FROM pg_stat_user_tables
              WHERE coalesce(last_analyze, last_autoanalyze) IS NULL
            ) LOOP
        RAISE NOTICE 'Analyze %.%', r.schemaname, r.relname ;
        EXECUTE 'ANALYZE ' || quote_ident(r.schemaname)
              || '.' || quote_ident(r.relname) ;
    END LOOP;
END$$;
```

Les blocs anonymes sont utiles pour des petits scripts ponctuels qui nécessitent des boucles ou du conditionnel, voire du transactionnel, sans avoir à créer une fonction ou une procédure. Ils ne renvoient rien. Ils sont habituellement en PL/pgSQL mais tout langage procédural installé est possible.

L'exemple ci-dessus lance un `ANALYZE` sur toutes les tables où les statistiques n'ont pas été calculées d'après la vue système, et donne aussi un exemple de SQL dynamique. Le résultat est par exemple :

```
NOTICE: Analyze public.pgbench_history
NOTICE: Analyze public.pgbench_tellers
NOTICE: Analyze public.pgbench_accounts
NOTICE: Analyze public.pgbench_branches
DO
Temps : 141,208 ms
```

(Pour ce genre de SQL dynamique, si l'on est sous `psql` , il est souvent plus pratique d'utiliser `\gexec`¹⁴.)

Noter que les ordres constituent une transaction unique, à moins de rajouter des `COMMIT` ou `ROLLBACK` explicitement (ce n'est autorisé qu'à partir de la version 11).

¹⁴<https://docs.postgresql.fr/current/app-psql.html#R2-APP-PSQL-4>

3.5 UTILISER UNE FONCTION OU UNE PROCÉDURE

3.5.1 Invocation d'une fonction ou procédure



— Appeler une procédure : ordre spécifique `CALL`

```
CALL ma_procedure('arg1');
```

— Appeler une fonction : dans une requête

```
SELECT ma_fonction('arg1', 'arg2') ;
```

```
SELECT * FROM ma_fonction('arg1', 'arg2') ;
```

```
INSERT INTO matable
```

```
SELECT ma_fonction( champ1, champ2 ) FROM ma_table2 ;
```

```
CALL ma_procedure( ma_fonction() );
```

```
CREATE INDEX ON ma_table ( ma_fonction(ma_colonne) );
```

Demander l'exécution d'une procédure se fait en utilisant un ordre SQL spécifique : `CALL`¹⁵. Il suffit de fournir les paramètres. Il n'y a pas de code retour.

Les fonctions ne sont quant à elles pas directement compatibles avec la commande `CALL`, il faut les invoquer dans le contexte d'une commande SQL. Elles sont le plus couramment appelées depuis des commandes de type DML (`SELECT`, `INSERT`, etc.), mais on peut aussi les trouver dans d'autres commandes.

Voici quelques exemples :

— dans un `SELECT` (la fonction ne doit renvoyer qu'une seule ligne) :

```
SELECT ma_fonction('arg1', 'arg2');
```

— dans un `SELECT`, en passant en argument les valeurs d'une colonne d'une table :

```
SELECT ma_fonction(ma_colonne) FROM ma_table;
```

— dans le `FROM` d'un `SELECT`, la fonction renvoie ici généralement plusieurs lignes (`SETOF`), et un résultat de type `RECORD` :

```
SELECT result FROM ma_fonction() AS f(result);
```

— dans un `INSERT` pour générer la valeur à insérer :

```
INSERT INTO ma_table(ma_colonne) VALUES ( ma_fonction() );
```

¹⁵<https://docs.postgresql.fr/current/sql-call.html>

- dans une création d'index (index fonctionnel, la fonction sera réellement appelée lors des mises à jour de l'index... attention la fonction doit être déclarée « immutable ») :

```
CREATE INDEX ON ma_table ( ma_fonction(ma_colonne) );
```

- appel d'une fonction en paramètre d'une autre fonction ou d'une procédure, par exemple ici le résultat de la fonction `ma_fonction()` (qui doit renvoyer une seule ligne) est passé en argument d'entrée de la procédure `ma_procedure()` :

```
CALL ma_procedure( ma_fonction() );
```

Par ailleurs, certaines fonctions sont spécialisées et ne peuvent être invoquées que dans le contexte pour lequel elles ont été conçues (fonctions trigger, d'agrégat, de fenêtrage, etc.).

3.6 CONTRÔLE TRANSACTIONNEL DANS LES PROCÉDURES



- `COMMIT` et `ROLLBACK` : possibles dans les procédures
- Pas de `BEGIN`
 - automatique après la fin d'une transaction dans le code
- Un seul niveau de transaction
 - pas de sous-transactions
 - pas d'appel depuis une transaction
- Incompatible avec une clause `EXCEPTION`

Une procédure peut contenir des ordres `COMMIT` ou `ROLLBACK` pour du contrôle transactionnel. (À l'inverse une fonction est une transaction unique, ou opère dans une transaction.)

Voici un exemple validant ou annulant une insertion suivant que le nombre est pair ou impair :

```
CREATE TABLE test1 (a int) ;

CREATE OR REPLACE PROCEDURE transaction_test1()
LANGUAGE plpgsql
AS $$
BEGIN
  FOR i IN 0..5 LOOP
    INSERT INTO test1 (a) VALUES (i);
    IF i % 2 = 0 THEN
      COMMIT;
    ELSE
      ROLLBACK;
    END IF;
  END LOOP;
END
$$;
```

```
CALL transaction_test1();
```

```
SELECT * FROM test1;
```

```
a | b
---+---
0 | 
2 | 
4 |
```

Un exemple plus fréquemment utilisé est celui d'une procédure effectuant un traitement de modification des données par lots, et donc faisant un `COMMIT` à intervalle régulier.

Noter qu'il n'y a pas de `BEGIN` explicite dans la gestion des transactions. Après un `COMMIT` ou un `ROLLBACK`, un `BEGIN` est immédiatement exécuté.

On ne peut pas imbriquer des transactions, car PostgreSQL ne connaît pas les sous-transactions :

```
BEGIN ; CALL transaction_test1() ;
```


ERROR: invalid **transaction** termination
CONTEXTE : PL/pgSQL **function** transaction_test1() **line 6 at COMMIT**

On ne peut pas utiliser en même temps une clause `EXCEPTION` et le contrôle transactionnel :

```
DO LANGUAGE plpgsql $$  
BEGIN  
    BEGIN  
        INSERT INTO test1 (a) VALUES (1);  
        COMMIT;  
        INSERT INTO test1 (a) VALUES (1/0);  
COMMIT;  
EXCEPTION  
    WHEN division_by_zero THEN  
        RAISE NOTICE 'caught division_by_zero';  
    END;  
END;  
$$;
```

ERREUR: cannot **commit** while **a** subtransaction **is** active
CONTEXTE : fonction PL/pgSQL inline_code_block, ligne 5 à **COMMIT**

3.7 CRÉATION ET MAINTENANCE DES FONCTIONS ET PROCÉDURES

3.7.1 Création



— CREATE FUNCTION
— CREATE PROCEDURE

Voici la syntaxe complète pour une fonction d'après la documentation¹⁶ :

```
CREATE [ OR REPLACE ] FUNCTION
  name ( [ [ argmode ] [ argname ] argtype [ { DEFAULT | = } default_expr ] [, ...] ] )
  [ RETURNS rettype
    | RETURNS TABLE ( column_name column_type [, ...] ) ]
{ LANGUAGE lang_name
  | TRANSFORM { FOR TYPE type_name } [, ... ]
  | WINDOW
  | { IMMUTABLE | STABLE | VOLATILE }
  | [ NOT ] LEAKPROOF
  | { CALLED ON NULL INPUT | RETURNS NULL ON NULL INPUT | STRICT }
  | [ [ EXTERNAL ] SECURITY INVOKER | [ EXTERNAL ] SECURITY DEFINER ]
  | PARALLEL { UNSAFE | RESTRICTED | SAFE }
  | COST execution_cost
  | ROWS result_rows
  | SUPPORT support_function
  | SET configuration_parameter { TO value | = value | FROM CURRENT }
  | AS 'definition'
  | AS 'obj_file', 'link_symbol'
  | sql_body
} ...
```

Voici la syntaxe complète pour une procédure d'après la documentation¹⁷ :

```
CREATE [ OR REPLACE ] PROCEDURE
  name ( [ [ argmode ] [ argname ] argtype [ { DEFAULT | = } default_expr ] [, ...] ] )
{ LANGUAGE lang_name
  | TRANSFORM { FOR TYPE type_name } [, ... ]
  | [ EXTERNAL ] SECURITY INVOKER | [ EXTERNAL ] SECURITY DEFINER
  | SET configuration_parameter { TO value | = value | FROM CURRENT }
  | AS 'definition'
  | AS 'obj_file', 'link_symbol'
  | sql_body
} ...
```

Noter qu'il n'y a pas de langage par défaut. Il est donc nécessaire de le spécifier à chaque création d'une routine comme dans les exemples ci-dessous.

¹⁶<https://www.postgresql.org/docs/current/sql-createfunction.html>

¹⁷<https://www.postgresql.org/docs/current/sql-createprocedure.html>

3.7.2 Structure d'une routine PL/pgSQL



— Reprenons le code montré plus haut :

```
CREATE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE plpgsql
IMMUTABLE
AS '
DECLARE
    resultat integer;
BEGIN
    resultat := entier1 + entier2 ;
    RETURN resultat ;
END';
```

Le langage PL/pgSQL n'est pas sensible à la casse, tout comme SQL (sauf les noms des objets ou variables, si vous les mettez entre des guillemets doubles). L'opérateur de comparaison est `=`, l'opérateur d'affectation `:=`.

3.7.3 Structure d'une routine PL/pgSQL (suite)



- `DECLARE`
— déclaration des variables locales
- `BEGIN`
— début du code de la routine
- `END`
— la fin
- Instructions séparées par des points-virgules
- Commentaires commençant par `--` ou compris entre `/*` et `*/`

Une routine est composée d'un bloc de déclaration des variables locales et d'un bloc de code. Le bloc de déclaration commence par le mot clé `DECLARE` et se termine avec le mot clé `BEGIN`. Ce mot clé est celui qui débute le bloc de code. La fin est indiquée par le mot clé `END`.

Toutes les instructions se terminent avec des points-virgules. Attention, `DECLARE`, `BEGIN` et `END` ne sont pas des instructions.

Il est possible d'ajouter des commentaires. `--` indique le début d'un commentaire qui se terminera en fin de ligne. Pour être plus précis dans la délimitation, il est aussi possible d'utiliser la notation C : `/*` est le début d'un commentaire et `*/` la fin.

3.7.4 Blocs nommés



- Labels de bloc possibles
- Plusieurs blocs d'exception possibles dans une routine
- Permet de préfixer des variables avec le label du bloc
- De donner un label à une boucle itérative
- Et de préciser de quelle boucle on veut sortir, quand plusieurs d'entre elles sont imbriquées

Indiquer le nom d'un label ainsi :

```
<<mon_label>>
-- le code (blocs DECLARE, BEGIN-END, et EXCEPTION)
```

ou bien (pour une boucle)

```
[ <<mon_label>> ]
LOOP
    ordres ...
END LOOP [ mon_label ];
```

Bien sûr, il est aussi possible d'utiliser des labels pour des boucles `FOR`, `WHILE`, `FOREACH`.

On sort d'un bloc ou d'une boucle avec la commande `EXIT`, on peut aussi utiliser `CONTINUE` pour passer à l'exécution suivante d'une boucle sans terminer l'itération courante.

Par exemple :

```
EXIT [mon_label] WHEN compteur > 1;
```

3.7.5 Modification du code d'une routine



- `CREATE OR REPLACE FUNCTION`
- `CREATE OR REPLACE PROCEDURE`
- Une routine est définie par son nom et ses arguments
- Si type de retour différent, la fonction doit d'abord être supprimée puis recrée

Une routine est surchargeable. La seule façon de les différencier est de prendre en compte les arguments (nombre et type). Les noms des arguments peuvent être indiqués mais ils seront ignorés.

Deux routines identiques aux arguments près (on parle de prototype) ne sont pas identiques, mais bien deux routines distinctes.

`CREATE OR REPLACE` a principalement pour but de modifier le code d'une routine, mais il est aussi possible de modifier les méta-données.

3.7.6 Modification des méta-données d'une routine



- `ALTER FUNCTION` / `ALTER PROCEDURE`
- Une routine est définie par son nom et ses arguments
- Permet de modifier nom, propriétaire, schéma et autres options

Toutes les méta-données discutées plus haut sont modifiables avec un `ALTER`.

3.7.7 Suppression d'une routine



- Une routine est définie par son nom et ses arguments :

```
DROP FUNCTION addition (integer, integer) ;
```

```
DROP PROCEDURE public.vide_tables (boolean);
```

```
DROP PROCEDURE public.vide_tables ();
```

La suppression se fait avec l'ordre `DROP`.

Une fonction pouvant exister en plusieurs exemplaires, avec le même nom et des arguments de type différents, il faudra parfois préciser ces derniers.

3.7.8 Utilisation des guillemets



- Les guillemets deviennent très rapidement pénibles
- préférer `$$`
- ou `$fonction$, $toto$`...

Définir une fonction entre guillemets simples (`'`) devient très pénible dès que la fonction doit en contenir parce qu'elle contient elle-même des chaînes de caractères. PostgreSQL permet de remplacer les guillemets par `$$`, ou tout mot encadré de `$`.

Par exemple, on peut reprendre la syntaxe de déclaration de la fonction `addition()` précédente en utilisant cette méthode :

```
CREATE FUNCTION addition (entier1 integer, entier2 integer)
RETURNS integer
LANGUAGE plpgsql
IMMUTABLE
```

```
AS $ma_fonction_addition$
DECLARE
    resultat integer;
BEGIN
    resultat := entier1 + entier2;
    RETURN resultat;
END
$ma_fonction_addition$;
```

Ce peut être utile aussi dans tout code réalisant une concaténation de chaînes de caractères contenant des guillemets. La syntaxe traditionnelle impose de les multiplier pour les protéger, et le code devient difficile à lire. :

```
requete := requete || ' ' AND vin LIKE ''''bordeaux%''' ' AND xyz ' '
```

En voilà une simplification grâce aux dollars :

```
requete := requete || $sql$ AND vin LIKE 'bordeaux%' AND xyz $sql$
```

Si vous avez besoin de mettre entre guillemets du texte qui inclut `$$`, vous pouvez utiliser `$Q$`, et ainsi de suite. Le plus simple étant de définir un marqueur de fin de routine plus complexe, par exemple incluant le nom de la fonction.

3.8 PARAMÈTRES ET RETOUR DES FONCTIONS ET PROCÉDURES

3.8.1 Version minimaliste



```
CREATE FUNCTION fonction (entier integer, texte text)
RETURNS int AS ...
```

Ceci une forme de fonction très simple (et très courante) : deux paramètres en entrée (implicitement en entrée seulement), et une valeur en retour.

Dans le corps de la fonction, il est aussi possible d'utiliser une notation numérotée au lieu des noms de paramètre : le premier argument a pour nom `$1`, le deuxième `$2`, etc. C'est à éviter.

Tous les types sont utilisables, y compris les types définis par l'utilisateur. En dehors des types natifs de PostgreSQL, PL/pgSQL ajoute des types de paramètres spécifiques pour faciliter l'écriture des routines.

3.8.2 Paramètres IN, OUT, INOUT & retour



```
CREATE FUNCTION cree_utilisateur (
  nom text,                -- IN
  type_id int DEFAULT 0    -- IN
) RETURNS id_utilisateur int AS ...

CREATE FUNCTION explose_date (
  IN d date,
  OUT jour int, OUT mois int, OUT annee int
) AS ...

-- VARIADIC : nombre variable
```

Si le mode d'un argument est omis, `IN` est la valeur implicite : la valeur en entrée ne sera pas modifiée par la fonction.

Un paramètre `OUT` sera modifié. S'il s'agit d'une variable d'un bloc PL appelant, sa valeur sera modifiée. Un paramètre `INOUT` est un paramètre en entrée qui peut être également modifié. (Jusque PostgreSQL 13 inclus, les procédures ne supportent pas les arguments `OUT`, seulement `IN` et `INOUT`.)

Dans le corps d'une fonction, `RETURN` est inutile avec des paramètres `OUT` parce que c'est la valeur des paramètres `OUT` à la fin de la fonction qui est retournée, comme dans l'exemple plus bas.

L'option `VARIADIC` permet de définir une fonction avec un nombre d'arguments libres à condition de respecter le type de l'argument (comme `printf` en C par exemple). Seul un argument `OUT` peut suivre un argument `VARIADIC` : l'argument `VARIADIC` doit être le dernier de la liste des paramètres en entrée puisque tous les paramètres en entrée suivant seront considérées comme faisant partie du tableau variadic. Seuls les arguments `IN` et `VARIADIC` sont utilisables avec une fonction déclarée comme renvoyant une table (clause `RETURNS TABLE`, voir plus loin).

La clause `DEFAULT` permet de rendre les paramètres optionnels. Après le premier paramètre ayant une valeur par défaut, tous les paramètres qui suivent doivent aussi avoir une valeur par défaut. Pour rendre le paramètre optionnel, il doit être le dernier argument ou alors les paramètres suivants doivent aussi avoir une valeur par défaut.

3.8.3 Type en retour : 1 valeur simple



— Fonctions uniquement

RETURNS type *-- int, text, etc*

— Tous les types de base & utilisateur

— Rien : `void`

Le type de retour (clause `RETURNS` dans l'entête) est obligatoire pour les fonctions et interdit pour les procédures.

Avant la version 11, il n'était pas possible de créer une procédure, mais il était possible de créer une fonction se comportant globalement comme une procédure en utilisant le type de retour `void`.

Des exemples plus haut utilisent des types simples, mais tous ceux de PostgreSQL ou les types créés par l'utilisateur sont utilisables.

Depuis le corps de la fonction, le résultat est renvoyé par un appel à `RETURN` (PL/pgSQL) ou `SELECT` (SQL).

3.8.4 Type en retour : 1 ligne, plusieurs champs (exemple)



Comment obtenir ceci ?

SELECT * **FROM** explode_date ('31-12-2020');

jour	mois	annee
31	0	2020

3.8.5 Type en retour : 1 ligne, plusieurs champs



3 options :

— Type composé dédié

```
CREATE TYPE ma_structure AS ( ... ) ;
CREATE FUNCTION ... RETURNS ma_structure ;
```

— Paramètres `OUT`

```
CREATE FUNCTION explode_date (IN d date,
                              OUT jour int, OUT mois int, OUT annee int) AS ...
```

— `RETURNS TABLE`

```
CREATE FUNCTION explode_date_table (d date)
RETURNS TABLE (jour integer, mois integer, annee integer) AS...
```

S'il y a besoin de renvoyer plusieurs valeurs à la fois, une première possibilité est de renvoyer un type composé défini auparavant.

Une alternative très courante est d'utiliser plusieurs paramètres `OUT` (et pas de clause `RETURN` dans l'entête) pour obtenir un enregistrement composite :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION explode_date
    (IN d date, OUT jour int, OUT mois int, OUT annee int)
AS $$
SELECT extract (day FROM d)::int,
       extract(month FROM d)::int, extract (year FROM d)::int
$$
LANGUAGE sql;

SELECT * FROM explode_date ('31-12-2020');

 jour | mois | annee
-----+-----+-----
   31 |    0 |  2020
```

(Noter que l'exemple ci-dessus est en simple SQL.)

La clause `TABLE` est une autre alternative, sans doute plus claire. Cet exemple devient alors, toujours en pur SQL :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION explode_date_table (d date)
RETURNS TABLE (jour integer, mois integer, annee integer)
LANGUAGE sql
AS $$
    SELECT  extract (day FROM d)::int,
            extract(month FROM d)::int, extract (year FROM d)::int ;
$$ ;
```

3.8.6 Retour multiligne



— 1 seul champ ou plusieurs?

```
RETURNS SETOF type    -- int, text, type personnalisé
```

```
RETURNS TABLE ( col1 type, col2 type ... )
```

— Ligne à ligne ou en bloc?

```
RETURN NEXT ...
```

```
RETURN QUERY  SELECT ...
```

```
RETURN QUERY  EXECUTE ...
```

— Le résultat est stocké **puis** envoyé

RETURNS SETOF :

Pour renvoyer plusieurs lignes, la première possibilité est de déclarer un type de retour `SETOF`. Cet exemple utilise `RETURN NEXT` pour renvoyer les lignes une à une :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION liste_entiers_setof (limite int)
  RETURNS SETOF integer
  LANGUAGE plpgsql
AS $$
BEGIN
  FOR i IN 1..limite LOOP
    RETURN NEXT i;
  END LOOP;
END
$$ ;
```

```
SELECT * FROM liste_entiers_setof (3) ;
```

```
liste_entiers_setof
-----
                1
                2
                3
```

Renvoyer une structure existante :

S'il y a plusieurs champs à renvoyer, une possibilité est d'utiliser un type dédié (composé), qu'il faudra cependant créer auparavant. L'exemple suivant utilise aussi un `RETURN QUERY` pour éviter d'itérer sur toutes les lignes du résultat :

```
CREATE TYPE pgt AS (schemaname text, tablename text) ;

CREATE OR REPLACE FUNCTION tables_by_owner (p_owner text)
  RETURNS SETOF pgt
  LANGUAGE plpgsql
```

```

AS $$
BEGIN
    RETURN QUERY SELECT schemaname::text, tablename::text
                  FROM pg_tables WHERE tableowner=p_owner
                  ORDER BY tablename ;
END $$ ;

SELECT * FROM tables_by_owner ('pgbench');

```

schemaname	tablename
public	pgbench_accounts
public	pgbench_branches
public	pgbench_history
public	pgbench_tellers

Si l'on veut renvoyer une structure correspondant exactement à une table ou vue, la syntaxe est très simple (il n'y a même pas besoin de `%ROWTYPE`) :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION tables_jamais_analyzees ()
RETURNS SETOF pg_stat_user_tables
LANGUAGE sql
AS $$
    SELECT * FROM pg_stat_user_tables
    WHERE coalesce(last_analyze, last_autoanalyze) IS NULL ;
$$ ;

```

```

SELECT * FROM tables_jamais_analyzees() \gx

```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
relicid          | 414453
schemaname       | public
relname          | table_nouvelle
...
n_mod_since_analyze | 10
n_ins_since_vacuum  | 10
last_vacuum        |
last_autovacuum    |
last_analyze       |
last_autoanalyze   |
vacuum_count       | 0
autovacuum_count   | 0
analyze_count      | 0
autoanalyze_count  | 0
-[ RECORD 2 ]-----+-----
...

```

NB : attention de ne pas oublier le `SETOF`, sinon une seule ligne sera retournée.

RETURNS TABLE :

On a vu que la clause `TABLE` permet de renvoyer plusieurs champs. Or, elle implique aussi `SETOF`, et les deux exemples ci-dessus peuvent devenir :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION liste_entiers_table (limite int)
RETURNS TABLE (j int)
AS $$
BEGIN

```

```

FOR i IN 1..limite LOOP
    j = i ;
    RETURN NEXT ; -- renvoie la valeur de j en cours
END LOOP;
END $$ LANGUAGE plpgsql;

```

```

SELECT * FROM liste_entiers_table (3) ;
j
1
2
3

```

(Noter ici que le nom du champ retourné dépend du nom de la variable utilisée, et n'est pas forcément le nom de la fonction. En effet, chaque appel à `RETURN NEXT` retourne un enregistrement composé d'une copie de toutes les variables, au moment de l'appel à `RETURN NEXT`.)

```

DROP FUNCTION tables_by_owner ;
CREATE FUNCTION tables_by_owner (p_owner text)
RETURNS TABLE (schemaname text, tablename text)
LANGUAGE plpgsql
AS $$
BEGIN
    RETURN QUERY SELECT t.schemaname::text, t.tablename::text
                  FROM pg_tables t WHERE tableowner=p_owner
                  ORDER BY t.tablename ;
END $$ ;

```

Si `RETURNS TABLE` est peut-être le plus souple et le plus clair, le choix entre toutes ces méthodes est affaire de goût, ou de compatibilité avec du code ancien ou converti d'un produit concurrent.

Renvoyer le résultat d'une requête :

Les exemples ci-dessus utilisent `RETURN NEXT` (pour du ligne à ligne) ou `RETURN QUERY` (pour envoyer directement le résultat d'une requête).

La variante `RETURN QUERY EXECUTE ...` est destinée à des requêtes en SQL dynamique (voir plus loin).



Quand plusieurs lignes sont renvoyées, tout est conservé en mémoire jusqu'à la fin de la fonction. S'il y en a beaucoup, cela peut poser des problèmes de latence, voire de mémoire. Le paramètre `work_mem` permet de définir la mémoire utilisée avant de basculer sur un fichier temporaire, qui a bien sûr un impact sur les performances.

Appel de fonction :

En général, l'appel se fait ainsi pour obtenir des lignes :

```
SELECT * FROM ma_fonction();
```

Une alternative est d'utiliser :

```
SELECT ma_fonction();
```

pour récupérer un résultat d'une seule colonne, scalaire, type composite ou `RECORD` suivant la fonction.

Cette différence concerne aussi les fonctions système :

```
SELECT * FROM pg_control_system ();
```

```
pg_control_version | catalog_version_no | system_identifieur | pg_control_...
-----+-----+-----+-----
1201 | 201909212 | 6744959735975969621 | 2021-09-17 ...
(1 ligne)
```

```
SELECT pg_control_system ();
```

```
pg_control_system
-----
(1201,201909212,6744959735975969621,"2021-09-17 18:24:05+02")
(1 ligne)
```

3.8.7 Gestion des valeurs NULL



Comment gérer les paramètres à `NULL` ?

- `STRICT` :
 - 1 paramètre `NULL` : retourne `NULL` immédiatement
- Défaut :
 - gestion par la fonction

Si une fonction est définie comme `STRICT` et qu'un des arguments d'entrée est `NULL`, PostgreSQL n'exécute même pas la fonction et utilise `NULL` comme résultat.

Dans la logique relationnelle, `NULL` signifie « la valeur est inconnue ». La plupart du temps, il est logique qu'une fonction ayant un paramètre à une valeur inconnue retourne aussi une valeur inconnue, ce qui fait que cette optimisation est très souvent pertinente.

On gagne à la fois en temps d'exécution, mais aussi en simplicité du code (il n'y a pas à gérer les cas `NULL` pour une fonction dans laquelle `NULL` ne doit jamais être injecté).

Dans la définition d'une fonction, les options sont `STRICT` ou son synonyme `RETURNS NULL ON NULL INPUT`, ou le défaut implicite `CALLED ON NULL INPUT`.

3.9 VARIABLES EN PL/PGSQL

3.9.1 Clause DECLARE



— Dans le source, partie `DECLARE` :

```
DECLARE
  i integer;
  j integer := 5;
  k integer NOT NULL DEFAULT 1;
  ch text COLLATE "fr_FR";
```

— Blocs `DECLARE` / `BEGIN` / `END` imbriqués possible
— restriction de scope de variable

En PL/pgSQL, pour utiliser une variable dans le corps de la routine (entre le `BEGIN` et le `END`), il est obligatoire de l'avoir déclarée précédemment :

- soit dans la liste des arguments (`IN`, `INOUT` ou `OUT`);
- soit dans la section `DECLARE`.

La déclaration doit impérativement préciser le nom et le type de la variable.

En option, il est également possible de préciser :

- sa valeur initiale (si rien n'est précisé, ce sera `NULL` par défaut) :

```
answer integer := 42;
```

- sa valeur par défaut, si on veut autre chose que `NULL` :

```
answer integer DEFAULT 42;
```

- une contrainte `NOT NULL` (dans ce cas, il faut impérativement un défaut différent de `NULL`, et toute éventuelle affectation ultérieure de `NULL` à la variable provoquera une erreur) :

```
answer integer NOT NULL DEFAULT 42;
```

- le collationnement à utiliser, pour les variables de type chaîne de caractères :

```
question text COLLATE "en_GB";
```

Pour les fonctions complexes, avec plusieurs niveaux de boucle par exemple, il est possible d'imbriquer les blocs `DECLARE` / `BEGIN` / `END` en y déclarant des variables locales à ce bloc. Si une variable est par erreur utilisée hors du *scope* prévu, une erreur surviendra.

3.9.2 Constantes



- Clause supplémentaire `CONSTANT` :

DECLARE

```
eur_to_frf    CONSTANT numeric := 6.55957 ;
societe_nom   CONSTANT text    := 'Dalibo SARL';
```

L'option `CONSTANT` permet de définir une variable pour laquelle il sera alors impossible d'assigner une valeur dans le reste de la routine.

3.9.3 Types de variables



- Récupérer le type d'une autre variable avec `%TYPE` :

```
quantite      integer ;
total         quantite%TYPE ;
```

- Récupérer le type de la colonne d'une table :

```
quantite      ma_table.ma_colonne%TYPE ;
```

Cela permet d'écrire des routines plus génériques.

3.9.4 Type ROW - 1



- Pour renvoyer plusieurs valeurs à partir d'une fonction
- Utiliser un type composite :

```
CREATE TYPE ma_structure AS (
    un_entier integer,
    une_chaine text,
    ...);

CREATE FUNCTION ma_fonction () RETURNS ma_structure ...;
```

3.9.5 Type ROW - 2



- Utiliser le type composite défini par la ligne d'une table

```
CREATE FUNCTION ma_fonction () RETURNS integer
AS $$
DECLARE
    ligne ma_table%ROWTYPE;
...
$$
```

L'utilisation de `%ROWTYPE` permet de définir une variable qui contient la structure d'un enregistrement de la table spécifiée. `%ROWTYPE` n'est pas obligatoire, il est néanmoins préférable d'utiliser cette forme, bien plus portable. En effet, dans PostgreSQL, toute création de table crée un type associé de même nom, le seul nom de la table est donc suffisant.

3.9.6 Type RECORD



- `RECORD` identique au type `ROW`
 - ...sauf que son type n'est connu que lors de son affectation
- `RECORD` peut changer de type au cours de l'exécution de la routine
- Curseur et boucle sur une requête

`RECORD` est beaucoup utilisé pour manipuler des curseurs, ou dans des boucles `FOR ... LOOP` : cela évite de devoir se préoccuper de déclarer un type correspondant exactement aux colonnes de la requête associée à chaque curseur.

3.9.7 Type RECORD : exemple



```
CREATE FUNCTION ma_fonction () RETURNS integer
AS $$
DECLARE
    ligne RECORD;
BEGIN
    -- récupération de la 1ère ligne uniquement
    SELECT * INTO ligne FROM ma_première_table;
    -- ou : traitement ligne à ligne
    FOR ligne IN SELECT * FROM ma_deuxième_table LOOP
        ...
    END LOOP ;
    RETURN ... ;
END $$ ;
```

Dans ces exemples, on récupère la première ligne de la fonction avec `SELECT ... INTO`, puis on ouvre un curseur implicite pour balayer chaque ligne obtenue d'une deuxième table. Le type `RECORD` permet de ne pas déclarer une nouvelle variable de type ligne.

3.10 EXÉCUTION DE REQUÊTE DANS UN BLOC PL/PGSQL

3.10.1 Requête dans un bloc PL/pgSQL



- Toutes opérations sur la base de données
- Et calculs, comparaisons, etc.
- Toute expression écrite en PL/pgSQL sera passée à `SELECT` pour interprétation par le moteur
- `PREPARE` implicite, avec cache

Par expression, on entend par exemple des choses comme :

```
IF myvar > 0 THEN
    myvar2 := 1 / myvar;
END IF;
```

Dans ce cas, l'expression `myvar > 0` sera préparée par le moteur de la façon suivante :

```
PREPARE statement_name(integer, integer) AS SELECT $1 > $2;
```

Puis cette requête préparée sera exécutée en lui passant en paramètre la valeur de `myvar` et la constante `0`.

Si `myvar` est supérieur à `0`, il en sera ensuite de même pour l'instruction suivante :

```
PREPARE statement_name(integer, integer) AS SELECT $1 / $2;
```

Comme toute requête préparée, son plan sera mis en cache.

Pour les détails, voir les dessous de PL/pgSQL¹⁸.

3.10.2 Affectation d'une valeur à une variable



- Utiliser l'opérateur `:=` :
- ```
un_entier := 5;
```
- Utiliser `SELECT INTO` :
- ```
SELECT 5 INTO un_entier;
```

Privilégiez la première écriture pour la lisibilité, la seconde écriture est moins claire et n'apporte rien puisqu'il s'agit ici d'une affectation de constante.

¹⁸<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql-implementation.html#PLPGSQL-PLAN-CACHING>

À noter que l'écriture suivante est également possible pour une affectation :

```
ma_variable := une_colonne FROM ma_table WHERE id = 5;
```

Cette méthode profite du fait que toutes les expressions du code PL/pgSQL vont être passées au moteur SQL de PostgreSQL dans un `SELECT` pour être résolues. Cela va fonctionner, mais c'est très peu lisible, et donc non recommandé.

3.10.3 Exécution d'une requête



— Affectation de la ligne :

```
SELECT *
INTO ma_variable_ligne -- type ROW ou RECORD
FROM ...;
```

— `INTO STRICT` pour garantir unicité

— `INTO` seul : juste 1 ligne!

— Plus d'un enregistrement :

— écrire une boucle

— Ordre statique :

— colonnes, clause `WHERE`, tables figées

Récupérer une ligne de résultat d'une requête dans une ligne de type `ROW` ou `RECORD` se fait avec `SELECT ... INTO`. La première ligne est récupérée. Généralement on préférera utiliser `INTO STRICT` pour lever une de ces erreurs si la requête renvoie zéro ou plusieurs lignes :

```
ERROR: query returned no rows
ERROR: query returned more than one row
```

Dans le cas du type `ROW`, la définition de la ligne doit correspondre parfaitement à la définition de la ligne renvoyée. Utiliser un type `RECORD` permet d'éviter ce type de problème. La variable obtient directement le type `ROW` de la ligne renvoyée.

Il est possible d'utiliser `SELECT INTO` avec une simple variable si l'on n'a qu'un champ d'une ligne à récupérer.

Cette fonction compte les tables, et en trace la liste (les tables ne font pas partie du résultat) :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION compte_tables () RETURNS int LANGUAGE plpgsql AS $$
DECLARE
    n int ;
    t RECORD ;
BEGIN
    SELECT count(*) INTO STRICT n
    FROM pg_tables ;

    FOR t IN SELECT * FROM pg_tables LOOP
        RAISE NOTICE 'Table %.%', t.schemaname, t.tablename;
```

```

END LOOP ;

RETURN n ;
END ;
$$ ;

# SELECT compte_tables ();

NOTICE: Table pg_catalog.pg_foreign_server
NOTICE: Table pg_catalog.pg_type
...
NOTICE: Table public.pgbench_accounts
NOTICE: Table public.pgbench_branches
NOTICE: Table public.pgbench_tellers
NOTICE: Table public.pgbench_history
compte_tables
-----
186
(1 ligne)

```

3.10.4 Exécution d'une requête sans besoin du résultat



— `PERFORM` : résultat ignoré

```

PERFORM * FROM ma_table WHERE une_colonne>0 ;
PERFORM mafonction (argument1) ;

```

— Variable `FOUND`

— si une ligne est affectée par l'instruction

— Nombre de lignes :

```

GET DIAGNOSTICS variable = ROW_COUNT;

```

On peut déterminer qu'aucune ligne n'a été trouvée par la requête en utilisant la variable `FOUND` :

```

PERFORM * FROM ma_table WHERE une_colonne>0;
IF NOT FOUND THEN
...
END IF;

```

Pour appeler une fonction, il suffit d'utiliser `PERFORM` de la manière suivante :

```

PERFORM mafonction(argument1);

```

Pour récupérer le nombre de lignes affectées par l'instruction exécutée, il faut récupérer la variable de diagnostic `ROW_COUNT` :

```

GET DIAGNOSTICS variable = ROW_COUNT;

```

Il est à noter que le `ROW_COUNT` récupéré ainsi s'applique à l'ordre SQL précédent, quel qu'il soit :

- `PERFORM ;`
- `EXECUTE ;`
- ou même à un ordre statique directement dans le code PL/pgSQL.

3.11 SQL DYNAMIQUE

3.11.1 EXECUTE d'une requête



```
EXECUTE 'chaîne' [INTO [STRICT] cible] [USING (paramètres)] ;
```

- Exécute la requête dans chaîne
- chaîne peut être construite à partir d'autres variables
- cible : résultat (une seule ligne)

`EXECUTE` dans un bloc PL/pgSQL permet notamment du SQL dynamique : l'ordre peut être construit dans une variable.

3.11.2 EXECUTE & requête dynamique : injection SQL



Si nom vaut : « 'Robert' ; DROP TABLE eleves ; »
que renvoie ceci ?

```
EXECUTE 'SELECT * FROM eleves WHERE nom = ' || nom ;
```

Un danger du SQL dynamique est de faire aveuglément confiance aux valeurs des variables en construisant un ordre SQL :

```
CREATE TEMP TABLE eleves (nom text, id int) ;  
INSERT INTO eleves VALUES ('Robert', 0) ;
```

```
-- Mise à jour d'un ID
```

```
DO $$
```

```
DECLARE
```

```
    nom text := $$'Robert' ; DROP TABLE eleves;$$ ;  
    id int ;
```

```
BEGIN
```

```
RAISE NOTICE 'A exécuter : %', 'SELECT * FROM eleves WHERE nom = ' || nom ;
```

```
EXECUTE 'UPDATE eleves SET id = 327 WHERE nom = ' || nom ;
```

```
END ;
```

```
$$ LANGUAGE plpgsql ;
```

```
NOTICE:  A exécuter : SELECT * FROM eleves WHERE nom = 'Robert' ; DROP TABLE eleves;
```

```
\d+ eleves
```

```
Aucune relation nommée « eleves » n'a été trouvée.
```

Cet exemple est directement inspiré d'un dessin très connu de XKCD¹⁹.

¹⁹<https://xkcd.com/327/>



Dans la pratique, la variable `nom` (entrée ici en dur) proviendra par exemple d'un site web, et donc contient potentiellement des caractères terminant la requête dynamique et en insérant une autre, potentiellement destructrice.

Moins grave, une erreur peut être levée à cause d'une apostrophe (*quote*) dans une chaîne texte. Il existe effectivement des gens avec une apostrophe dans le nom.

Ce qui suit concerne le SQL dynamique dans des routines PL/pgSQL, mais le principe concerne tous les langages et clients, y compris `psql` et sa méta-commande `\gexec`²⁰. En SQL pur, la protection contre les injections SQL est un argument pour utiliser les requêtes préparées²¹, dont l'ordre `EXECUTE` diffère de celui-ci du PL/pgSQL ci-dessous.

3.11.3 EXECUTE & requête dynamique : 3 possibilités



```
EXECUTE 'UPDATE tbl SET '
| quote_ident(nom_colonne)
| ' = '
| quote_literal(nouvelle_valeur)
| ' WHERE cle = '
| quote_literal(valeur_cle) ;

EXECUTE format('UPDATE matable SET %I = %L '
'WHERE clef = %L', nom_colonne, nouvelle_valeur, valeur_clef);

EXECUTE format('UPDATE table SET %I = $1 '
'WHERE clef = $2', nom_colonne) USING nouvelle_valeur, valeur_clef;
```

Les trois exemples précédents sont équivalents.

Le premier est le plus simple au premier abord. Il utilise `quote_ident` et `quote_literal` pour protéger des injections SQL²² (voir plus loin).

Le second est plus lisible grâce à la fonction de formatage `format`²³ qui évite ces concaténations et appelle implicitement les fonctions `quote_%`. Si un paramètre ne peut pas prendre la valeur NULL, utiliser `%L` (équivalent de `quote_nullable`) et non `%I` (équivalent de `quote_ident`).

La troisième alternative avec `USING` et les paramètres numériques `$1` et `$2` est considérée comme la plus performante. (Voir les détails dans la documentation²⁴).

²⁰<https://docs.postgresql.fr/current/app-psql.html#APP-PSQL-META-COMMANDS>

²¹<https://docs.postgresql.fr/current/sql-prepare.html>

²²https://fr.wikipedia.org/wiki/Injection_SQL

²³<https://docs.postgresql.fr/current/functions-string.html#FUNCTIONS-STRING-FORMAT>

²⁴<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql-statements.html#PLPGSQL-QUOTE-LITERAL-EXAMPLE>

L'exemple complet suivant tiré de la documentation officielle²⁵ utilise `EXECUTE` pour rafraîchir des vues matérialisées en masse.

```
CREATE FUNCTION rafraichir_vuemat() RETURNS integer AS $$
DECLARE
    mviews RECORD;
BEGIN
    RAISE NOTICE 'Rafraîchissement de toutes les vues matérialisées...';

    FOR mviews IN
        SELECT n.nspname AS mv_schema,
               c.relname AS mv_name,
               pg_catalog.pg_get_userbyid(c.relowner) AS owner
        FROM pg_catalog.pg_class c
    LEFT JOIN pg_catalog.pg_namespace n ON (n.oid = c.relnamespace)
    WHERE c.relkind = 'm'
    ORDER BY 1
    LOOP
        -- Maintenant "mviews" contient un enregistrement
        -- avec les informations sur la vue matérialisé
        RAISE NOTICE 'Rafraîchissement de la vue matérialisée %.% (owner: %)...',
            quote_ident(mviews.mv_schema),
            quote_ident(mviews.mv_name),
            quote_ident(mviews.owner);
        EXECUTE format('REFRESH MATERIALIZED VIEW %I.%I',
            mviews.mv_schema, mviews.mv_name) ;
    END LOOP;

    RAISE NOTICE 'Fin du rafraîchissement';
    RETURN 1;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

3.11.4 EXECUTE & requête dynamique (suite)



```
EXECUTE 'chaîne' [INTO STRICT cible] [USING (paramètres)] ;
```

- `STRICT` : 1 résultat
- sinon `NO_DATA_FOUND` ou `TOO_MANY_ROWS`
- Sans `STRICT` :
- 1ère ligne ou `NO_DATA_FOUND`
- Nombre de lignes :
- `GET DIAGNOSTICS integer_var = ROW_COUNT`

De la même manière que pour `SELECT ... INTO`, utiliser `STRICT` permet de garantir qu'il y a exactement une valeur comme résultat de `EXECUTE`, ou alors une erreur sera levée.

²⁵<https://www.postgresql.org/docs/current/plpgsql-statements.html#PLPGSQL-QUOTE-LITERAL-EXAMPLE>

Nous verrons plus loin comment traiter les exceptions.

3.11.5 Outils pour construire une requête dynamique



- `quote_ident ()`
— pour mettre entre guillemets un identifiant d'un objet PostgreSQL (table, colonne, etc.)
- `quote_literal ()`
— pour mettre entre guillemets une valeur (chaîne de caractères)
- `quote_nullable ()`
— pour mettre entre guillemets une valeur (chaîne de caractères), sauf NULL qui sera alors renvoyé sans les guillemets
- `||` : concaténer
- Ou fonction `format(...)`, équivalent de `sprintf` en C

La fonction `format` est l'équivalent de la fonction `sprintf` en C : elle formate une chaîne en fonction d'un patron et de valeurs à appliquer à ses paramètres et la retourne. Les types de paramètre reconnus par `format` sont :

- `%I` : est remplacé par un identifiant d'objet. C'est l'équivalent de la fonction `quote_ident`. L'objet en question est entouré de guillemets doubles si nécessaire;
- `%L` : est remplacé par une valeur littérale. C'est l'équivalent de la fonction `quote_literal`. Des guillemets simples sont ajoutés à la valeur et celle-ci est correctement échappée si nécessaire;
- `%S` : est remplacé par la valeur donnée sans autre forme de transformation;
- `%%` : est remplacé par un simple `%`.

Voici un exemple d'utilisation de cette fonction, utilisant des paramètres positionnels :

```
SELECT format(
    'SELECT %I FROM %I WHERE %1$I=%3$L',
    'MaColonne',
    'ma_table',
    $$l'été$$
);
```

format

```
-----
SELECT "MaColonne" FROM ma_table WHERE "MaColonne"='l'été'
```

3.12 STRUCTURES DE CONTRÔLE EN PL/PGSQL



— But du PL : les traitements procéduraux

3.12.1 Tests conditionnels - 2



Exemple :

```
IF nombre = 0 THEN
    resultat := 'zero';
ELSEIF nombre > 0 THEN
    resultat := 'positif';
ELSEIF nombre < 0 THEN
    resultat := 'négatif';
ELSE
    resultat := 'indéterminé';
END IF;
```

3.12.2 Tests conditionnels : CASE



```
CASE
WHEN nombre = 0 THEN 'zéro'
WHEN variable > 0 THEN 'positif'
WHEN variable < 0 THEN 'négatif'
ELSE 'indéterminé'
END CASE
```

ou :

```
CASE current_setting ('server_version_num')::int/10000
WHEN 8,9,10,11 THEN RAISE NOTICE 'Version non supportée !!' ;
WHEN 12,13,14,15,16 THEN RAISE NOTICE 'Version supportée' ;
ELSE RAISE NOTICE 'Version inconnue (fin 2023)' ;
END CASE ;
```

L'instruction `CASE WHEN` est proche de l'expression `CASE`²⁶ des requêtes SQL dans son principe (à part qu'elle se clôt par `END` en SQL, et `END CASE` en PL/pgSQL).

Elle est parfois plus légère à lire que des `IF` imbriqués.

Exemple complet :

²⁶<https://docs.postgresql.fr/current/functions-conditional.html#FUNCTIONS-CASE>

```
DO $$
BEGIN
CASE current_setting ('server_version_num')::int/10000
    WHEN 8,9,10,11 THEN RAISE NOTICE 'Version non supportée !!' ;
    WHEN 12,13,14,15,16 THEN RAISE NOTICE 'Version supportée' ;
    ELSE RAISE NOTICE 'Version inconnue (fin 2023)' ;
END CASE ;
END ;
$$ LANGUAGE plpgsql ;
```

3.12.3 Boucle LOOP/EXIT/CONTINUE : syntaxe



- Boucle :
 - `LOOP` / `END LOOP`
 - label possible
- En sortir :
 - `EXIT [label] [WHEN expression_booléenne]`
- Commencer une nouvelle itération de la boucle
 - `CONTINUE [label] [WHEN expression_booléenne]`

Des boucles simples s'effectuent avec `LOOP` / `END LOOP`.

Pour les détails, voir la documentation officielle²⁷.

3.12.4 Boucle LOOP/EXIT/CONTINUE : exemple



```
LOOP
    resultat := resultat + 1;
    EXIT WHEN resultat > 100;
    CONTINUE WHEN resultat < 50;
    resultat := resultat + 1;
END LOOP;
```

Cette boucle incrémente le résultat de 1 à chaque itération tant que la valeur du résultat est inférieure à 50. Ensuite, le résultat est incrémente de 1 à deux reprises pour chaque tour de boucle. On incrémente donc de 2 par tour de boucle. Arrivée à 100, la procédure sort de la boucle.

²⁷<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql-control-structures.html#PLPGSQL-CONTROL-STRUCTURES-LOOPS>

3.12.5 Boucle WHILE



```
WHILE condition LOOP
...
END LOOP;
```

- Boucle jusqu'à ce que la condition soit fausse
- Label possible

3.12.6 Boucle FOR : syntaxe



```
FOR variable in [REVERSE] entier1..entier2 [BY incrément]
LOOP
...
END LOOP;
```

- `variable` va obtenir les différentes valeurs entre entier1 et entier2
- Label possible

La boucle `FOR` n'a pas d'originalité par rapport à d'autres langages.

L'option `BY` permet d'augmenter l'incrémentation :

```
FOR variable in 1..10 BY 5...
```

L'option `REVERSE` permet de faire défiler les valeurs en ordre inverse :

```
FOR variable in REVERSE 10..1 ...
```

3.12.7 Boucle FOR ... IN ... LOOP : parcours de résultat de requête



```
FOR ligne IN ( SELECT * FROM ma_table ) LOOP
...
END LOOP;
```

- Pour boucler dans les lignes résultats d'une requête
- `ligne` de type `RECORD`, `ROW`, ou liste de variables séparées par des virgules
- Utilise un curseur en interne
- Label possible

Cette syntaxe très pratique permet de parcourir les lignes résultant d'une requête sans avoir besoin de créer et parcourir un curseur. Souvent on utilisera une variable de type `ROW` ou `RECORD` (comme dans l'exemple de la fonction `rafraichir_vueemat` plus haut), mais l'utilisation directe de variables (déclarées préalablement) est possible :

```
FOR a, b, c, d IN
  (SELECT col_a, col_b, col_c, col_d FROM ma_table)
LOOP
  -- instructions utilisant ces variables
  ...
END LOOP;
```

Attention de ne pas utiliser les variables en question hors de la boucle, elles auront gardé la valeur acquise dans la dernière itération.

3.12.8 Boucle FOREACH



```
FOREACH variable [SLICE n] IN ARRAY expression LOOP
  ...
END LOOP ;
```

- Pour boucler sur les éléments d'un tableau
- `variable` va obtenir les différentes valeurs du tableau retourné par `expression`
- `SLICE` permet de jouer sur le nombre de dimensions du tableau à passer à la variable
- Label possible

Voici deux exemples permettant d'illustrer l'utilité de `SLICE` :

- sans `SLICE` :

```
DO $$
DECLARE a int[] := ARRAY[[1,2],[3,4],[5,6]];
        b int;
BEGIN
  FOREACH b IN ARRAY a LOOP
    RAISE INFO 'var: %', b;
  END LOOP;
END $$ ;
```

```
INFO: var: 1
INFO: var: 2
INFO: var: 3
INFO: var: 4
INFO: var: 5
INFO: var: 6
```

— avec `SLICE` :

```
DO $$  
DECLARE a int[] := ARRAY[[1,2],[3,4],[5,6]];  
        b int[];  
BEGIN  
    FOREACH b SLICE 1 IN ARRAY a LOOP  
        RAISE INFO 'var: %', b;  
    END LOOP;  
END $$;
```

```
INFO:  var: {1,2}  
INFO:  var: {3,4}  
INFO:  var: {5,6}
```

et avec `SLICE 2`, on obtient :

```
INFO:  var: {{1,2},{3,4},{5,6}}
```

3.13 AUTRES PROPRIÉTÉS DES FONCTIONS



- Sécurité
- Optimisations
- Parallélisation

3.13.1 Politique de sécurité



- `SECURITY INVOKER` : défaut
- `SECURITY DEFINER`
 - « sudo de la base de données »
 - potentiellement dangereux
 - ne pas laisser à **public**!

Une fonction `SECURITY INVOKER` s'exécute avec les droits de l'appelant. C'est le mode par défaut.

Une fonction `SECURITY DEFINER` s'exécute avec les droits du créateur. Cela permet, au travers d'une fonction, de permettre à un utilisateur d'outrepasser ses droits de façon contrôlée. C'est l'équivalent du `sudo` d'Unix.



Bien sûr, une fonction `SECURITY DEFINER` doit faire l'objet d'encore plus d'attention qu'une fonction normale. Elle peut facilement constituer un trou béant dans la sécurité de votre base. C'est encore plus important si le propriétaire de la fonction est un superutilisateur, car celui-ci a la possibilité d'accéder aux fichiers de PostgreSQL et au système d'exploitation.



Plusieurs points importants sont à noter pour `SECURITY DEFINER` :

- Par défaut, toute fonction créée dans **public** est exécutable par le rôle **public**. La première chose à faire est donc de révoquer ce droit. Mieux : créer la fonction dans un schéma séparé est recommandé pour gérer plus finalement les accès.
- Il faut se protéger des variables de session qui pourraient être utilisées pour modifier le comportement de la fonction, en particulier le `search_path` (qui pourrait faire pointer vers des tables de même nom dans un autre schéma). Il doit donc **impérativement** être positionné en dur dans cette fonction (soit d'emblée, avec un `SET` en début de fonction, soit en positionnant un `SET` dans le `CREATE FUNCTION`); et/ou les fonctions doivent préciser systématiquement le schéma dans les appels de tables (`SELECT ... FROM nomschema.nomtable ...`).

Exemple d'une fonction en `SECURITY DEFINER` avec un *search path* sécurisé :

```
\c pgbench pgbench

-- A exécuter en tant que pgbench, propriétaire de la base pgbench
CREATE SCHEMA pgbench_util ;

CREATE OR REPLACE FUNCTION pgbench_util.accounts_balance (pbid integer)
  RETURNS integer
  LANGUAGE sql
  IMMUTABLE PARALLEL SAFE
  SECURITY DEFINER
  SET search_path TO ' ' -- précaution supplémentaire
AS $function$
  SELECT bbalance FROM public.pgbench_branches br WHERE br.bid = pbid ;
$function$ ;

GRANT USAGE ON SCHEMA pgbench_util TO lecteur ;
GRANT EXECUTE ON FUNCTION pgbench_util.accounts_balance TO lecteur ;
```

L'utilisateur **lecteur** peut bien lire le résultat de la fonction sans accès à la table :

```
\c pgbench lecteur

SELECT pgbench_util.accounts_balance (5) ;

 accounts_balance
-----
                0
```

Exemple de fonction laxiste et d'attaque :

```
-- Exemple sur une base pgbench, appartenant à pgbench
-- créée par exemple ainsi :
-- createdb pgbench -O pgbench
-- pgbench -U pgbench -i -s 1 pgbench
-- Deux utilisateurs :
--   pgbench
--   attaquant qui a son propre schéma

\set timing off
\set ECHO all
\set ON_ERROR_STOP 1

\c pgbench pgbench

-- Fonction non sécurisée fournie par l'utilisateur pgbench
-- à tout le monde par public
CREATE OR REPLACE FUNCTION public.accounts_balance_insecure(pbid integer)
  RETURNS integer
  LANGUAGE plpgsql
  IMMUTABLE PARALLEL SAFE
  SECURITY DEFINER
  -- oublié : SET search_path TO ' '
AS $function$ BEGIN
  RETURN bbalance FROM /* pas de schéma */ pgbench_branches br
    WHERE br.bid = pbid ;
```



```
END $function$ ;

-- Droits trop ouverts
GRANT EXECUTE ON FUNCTION accounts_balance_insecure TO public ;

-- Résultat normal : renvoie 0
SELECT * FROM accounts_balance_insecure (1) ;

-- Création d'un utilisateur avec droit d'écrire dans un schéma
\c pgbench postgres

DROP SCHEMA IF EXISTS piege CASCADE ;
--DROP ROLE attaquant ;

CREATE ROLE attaquant LOGIN ; -- pg_hba.conf laissé en exercice au lecteur

-- Il faut que l'attaquant ait un schéma où écrire,
-- et puisse donner l'accès à la victime.
-- Le schéma public convient parfaitement pour cela avant PostgreSQL 15...
CREATE SCHEMA piege ;
GRANT ALL ON SCHEMA piege TO attaquant WITH GRANT OPTION ;

\c pgbench attaquant

\conninfo

-- Résultat normal (accès peut-être indu mais pour le moment sans danger)
SELECT * FROM accounts_balance_insecure (1) ;

-- L'attaquant peut voir la fonction et étudier comment la détourner
\s accounts_balance_insecure

-- Fonction que l'attaquant veut faire exécuter à pgbench
CREATE FUNCTION piege.lit_donnees_cachees ()
RETURNS TABLE (bid int, bbalance int)
LANGUAGE plpgsql
AS $$
DECLARE
    n int ;
BEGIN
    -- affichage de l'utilisateur pgbench
    RAISE NOTICE 'Entrée dans fonction piégée en tant que %', current_user ;
    -- copie de données non autorisées dans le schéma de l'attaquant
    CREATE TABLE piege.donnees_piratees AS SELECT * FROM pgbench_tellers ;
    GRANT ALL ON piege.donnees_piratees TO attaquant ;
    -- destruction de données...
    DROP TABLE IF EXISTS pgbench_history ;
    -- sortie propre impérative pour éviter le rollback
    RETURN QUERY SELECT 666 AS bid, 42 AS bbalance ;
END ;
$$ ;

-- Vue d'enrobage pour « masquer » la vraie table de même nom
CREATE OR REPLACE VIEW piege.pgbench_branches AS
SELECT * FROM piege.lit_donnees_cachees () ;

-- Donner les droits au compte attaqué sur les objets
```

```
-- de l'attaquant
GRANT USAGE,CREATE ON SCHEMA piege TO pgbench ;
GRANT ALL ON piege.pgbench_branches TO pgbench ;
GRANT ALL ON FUNCTION piege.lit_donnees_cachees TO pgbench ;

-- Détournement du chemin d'accès
SET search_path TO piege,public ;
-- Attaque
SELECT * FROM accounts_balance_insecure (666) ;

-- Lecture des données piratées
SELECT COUNT (*) as nb_lignes_recuperees FROM piege.donnees_piratees ;
```

3.13.2 Optimisation des fonctions



- Fonctions uniquement
- À destination de l'optimiseur
- `COST cout_execution`
 - coût estimé pour l'exécution de la fonction
- `ROWS nb_lignes_resultat`
 - nombre estimé de lignes que la fonction renvoie

`COST` est un coût représenté en unité de `cpu_operator_cost` (100 par défaut).

`ROWS` vaut par défaut 1000 pour les fonctions `SETOF` ou `TABLE`, et 1 pour les autres.

Ces deux paramètres ne modifient pas le comportement de la fonction. Ils ne servent que pour aider l'optimiseur de requête à estimer le coût d'appel à la fonction, afin de savoir, si plusieurs plans sont possibles, lequel est le moins coûteux par rapport au nombre d'appels de la fonction et au nombre d'enregistrements qu'elle retourne.

3.13.3 Parallélisation



- Fonctions uniquement
- La fonction peut-elle être exécutée en parallèle ?
 - `PARALLEL UNSAFE` (défaut)
 - `PARALLEL RESTRICTED`
 - `PARALLEL SAFE`

`PARALLEL UNSAFE` indique que la fonction ne peut pas être exécutée dans le mode parallèle. La présence d'une fonction de ce type dans une requête SQL force un plan d'exécution en série. C'est la

valeur par défaut.

Une fonction est non parallélisable si elle modifie l'état d'une base ou si elle fait des changements sur la transaction.

`PARALLEL RESTRICTED` indique que la fonction peut être exécutée en mode parallèle mais l'exécution est restreinte au processus principal d'exécution.

Une fonction peut être déclarée comme restreinte si elle accède aux tables temporaires, à l'état de connexion des clients, aux curseurs, aux requêtes préparées.

`PARALLEL SAFE` indique que la fonction s'exécute correctement dans le mode parallèle sans restriction.

En général, si une fonction est marquée sûre ou restreinte à la parallélisation alors qu'elle ne l'est pas, elle pourrait renvoyer des erreurs ou fournir de mauvaises réponses lorsqu'elle est utilisée dans une requête parallèle.

En cas de doute, les fonctions doivent être marquées comme `UNSAFE`, ce qui correspond à la valeur par défaut.

3.14 UTILISATION DE FONCTIONS DANS LES INDEX



- Fonctions uniquement!
- IMMUTABLE | STABLE | VOLATILE
- Ce mode précise la « volatilité » de la fonction.
- Permet de réduire le nombre d'appels
- Index : fonctions immutables uniquement (sinon problèmes!)

On peut indiquer à PostgreSQL le niveau de volatilité (ou de stabilité) d'une fonction. Ceci permet d'aider PostgreSQL à optimiser les requêtes utilisant ces fonctions, mais aussi d'interdire leur utilisation dans certains contextes.

Une fonction est « **immutable** » si son exécution ne dépend que de ses paramètres. Elle ne doit donc dépendre ni du contenu de la base (pas de `SELECT`, ni de modification de donnée de quelque sorte), ni d'**aucun** autre élément qui ne soit pas un de ses paramètres. Les fonctions arithmétiques simples (`+`, `*`, `abs` ...) sont immutables.

À l'inverse, `now()` n'est évidemment pas immutable. Une fonction sélectionnant des données d'une table non plus. `to_char()` n'est pas non plus immutable, car son comportement dépend des paramètres de session, par exemple `to_char(timestamp with time zone, text)` dépend du paramètre de session `timezone` ...

Une fonction est « **stable** » si son exécution donne toujours le même résultat sur toute la durée d'un ordre SQL, pour les mêmes paramètres en entrée. Cela signifie que la fonction ne modifie pas les données de la base. Une fonction n'exécutant que des `SELECT` sur des tables (pas des fonctions!) sera stable. `to_char()` est stable. L'optimiseur peut réduire ainsi le nombre d'appels sans que ce soit en pratique toujours le cas.

Une fonction est « **volatile** » dans tous les autres cas. `random()` est volatile. Une fonction volatile peut même modifier les données. Une fonction non déclarée comme stable ou immutable est volatile par défaut.

La volatilité des fonctions intégrées à PostgreSQL est déjà définie. C'est au développeur de préciser la volatilité des fonctions qu'il écrit. Ce n'est pas forcément évident. Une erreur peut poser des problèmes quand le plan est mis en cache, ou, on le verra, dans des index.

Quelle importance cela a-t-il?

Prenons une table d'exemple sur les heures de l'année 2020 :

```
-- Une ligne par heure dans l'année, 8784 lignes
CREATE TABLE heures
AS
SELECT i, '2020-01-01 00:00:00+01:00'::timestamp + i * interval '1 hour' AS t
FROM generate_series (1,366*24) i;
```

Définissons une fonction un peu naïve ramenant le premier jour du mois, volatile faute de mieux :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION premierjourduois(t timestampz)
RETURNS timestampz
LANGUAGE plpgsql
VOLATILE
AS $$
BEGIN
    RAISE notice 'appel premierjourduois' ; -- trace des appels
    RETURN date_trunc ('month', t);
END $$ ;
```

Demandons juste le plan d'un appel ne portant que sur le dernier jour :

```
EXPLAIN SELECT * FROM heures
WHERE t > premierjourduois('2020-12-31 00:00:00+02:00'::timestampz)
LIMIT 10 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit  (cost=0.00..8.04 rows=10 width=12)
->  Seq Scan on heures  (cost=0.00..2353.80 rows=2928 width=12)
    Filter: (t > premierjourduois(
        '2020-12-30 23:00:00+01'::timestamp with time zone))
```

Le nombre de lignes attendues (2928) est le tiers de la table, alors que nous ne demandons que le dernier mois. Il s'agit de l'estimation forfaitaire que PostgreSQL utilise faute d'informations sur ce que va retourner la fonction.

Demander à voir le résultat mène à l'affichage de milliers de **NOTICE** : la fonction est appelée à chaque ligne pour calculer s'il faut filtrer la valeur. En effet, une fonction volatile sera systématiquement exécutée à chaque appel, et, selon le plan, ce peut être pour chaque ligne parcourue !

Cependant notre fonction ne fait que des calculs à partir du paramètre, sans effet de bord. Déclarons-la donc stable :

```
ALTER FUNCTION premierjourduois(timestamp with time zone) STABLE ;
```

Une fonction stable peut en théorie être remplacée par son résultat pendant l'exécution de la requête. Mais c'est impossible de le faire plus tôt, car on ne sait pas forcément dans quel contexte la fonction va être appelée (par exemple, en cas de requête préparée, les paramètres de la session ou les données de la base peuvent même changer entre la planification et l'exécution).

Dans notre cas, le même **EXPLAIN** simple mène à ceci :

```
NOTICE:  appel premierjourduois
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit  (cost=0.00..32.60 rows=10 width=12)
->  Seq Scan on heures  (cost=0.00..2347.50 rows=720 width=12)
    Filter: (t > premierjourduois(
        '2020-12-30 23:00:00+01'::timestamp with time zone))
```

Comme il s'agit d'un simple **EXPLAIN**, la requête n'est pas exécutée. Or le message **NOTICE** est renvoyé : la fonction est donc exécutée pour une simple planification. Un appel unique suffit, puisque la valeur d'une fonction stable ne change pas pendant toute la durée de la requête pour les mêmes

paramètres (ici une constante). Cet appel permet d'affiner la volumétrie des valeurs attendues, ce qui peut avoir un impact énorme.

Cependant, à l'exécution, les `NOTICE` apparaîtront pour indiquer que la fonction est à nouveau appelée à chaque ligne. Pour qu'un seul appel soit effectué pour toute la requête, il faudrait déclarer la fonction comme immuable, ce qui serait faux, puisqu'elle dépend implicitement du fuseau horaire.

Dans l'idéal, une fonction immuable peut être remplacée par son résultat avant même la planification d'une requête l'utilisant. C'est le cas avec les calculs arithmétiques par exemple :

```
EXPLAIN SELECT * FROM heures
WHERE i > abs(364*24) AND t > '2020-06-01'::date + interval '57 hours' ;
```

La valeur est substituée très tôt, ce qui permet de les comparer aux statistiques :

```
Seq Scan on heures (cost=0.00..179.40 rows=13 width=12)
  Filter: ((i > 8736) AND (t > '2020-06-03 09:00:00'::timestamp without time zone))
```

Pour forcer un appel unique quand on sait que la fonction renverra une constante, du moins le temps de la requête, même si elle est volatile, une astuce est de signifier à l'optimiseur qu'il n'y aura qu'une seule valeur de comparaison, même si on ne sait pas laquelle :

```
EXPLAIN (ANALYZE) SELECT * FROM heures
WHERE t > (SELECT premierjourduois('2020-12-31 00:00:00+02:00'::timestampz)) ;
```

NOTICE: appel premierjourduois

QUERY PLAN

```
Seq Scan on heures (cost=0.26..157.76 rows=2920 width=12)
  (actual time=1.090..1.206 rows=721 loops=1)
  Filter: (t > $0)
  Rows Removed by Filter: 8039
  InitPlan 1 (returns $0)
    -> Result (cost=0.00..0.26 rows=1 width=8)
        (actual time=0.138..0.139 rows=1 loops=1)
  Planning Time: 0.058 ms
  Execution Time: 1.328 ms
```

On note qu'il n'y a qu'un appel. On comprend donc l'intérêt de se poser la question à l'écriture de chaque fonction.

La volatilité est encore plus importante quand il s'agit de créer des fonctions sur index :

```
CREATE INDEX ON heures (premierjourduois( t )) ;
```

ERROR: functions in index expression must be marked IMMUTABLE

Ceci n'est possible que si la fonction est immuable. En effet, si le résultat de la fonction dépend de l'état de la base ou d'autres paramètres, la fonction exécutée au moment de la création de la clé d'index pourrait ne plus retourner le même résultat quand viendra le moment de l'interroger. PostgreSQL n'acceptera donc que les fonctions immutables dans la déclaration des index fonctionnels.



Déclarer hâtivement une fonction comme immuable juste pour pouvoir l'utiliser dans un index est dangereux : en cas d'erreur, les résultats d'une requête peuvent alors dépendre du plan d'exécution, selon que les index seront utilisés ou pas !

Cela est particulièrement fréquent quand les fuseaux horaires ou les dictionnaires sont impliqués. Vérifiez bien que vous n'utilisez que des fonctions immutables dans les index fonctionnels, les pièges sont nombreux.

Par exemple, si l'on veut une version immutable de la fonction précédente, il faut fixer le fuseau horaire dans l'appel à `date_trunc`. En effet, on peut voir avec `df+ date_trunc` que la seule version immutable de `date_trunc` n'accepte que des `timestamp` (sans fuseau), et en renvoie un. Notre fonction devient donc :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION premierjourduois_utc(t timestamptz)
RETURNS timestamptz
LANGUAGE plpgsql
IMMUTABLE
AS $$
DECLARE
    jour1    timestamp ; --sans TZ
BEGIN
    jour1 := date_trunc ('month', (t at time zone 'UTC')::timestamp) ;
    RETURN jour1 AT TIME ZONE 'UTC';
END $$ ;
```

Testons avec une date dans les dernières heures de septembre en Alaska, qui correspond au tout début d'octobre en temps universel, et par exemple aussi au Japon :

\x

```
SET timezone TO 'US/Alaska';
```

```
SELECT d,
       d AT TIME ZONE 'UTC' AS d_en_utc,
       premierjourduois_utc (d),
       premierjourduois_utc (d) AT TIME ZONE 'UTC' as pjm_en_utc
FROM (SELECT '2020-09-30 18:00:00-08'::timestamptz AS d) x;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
d              | 2020-09-30 18:00:00-08
d_en_utc       | 2020-10-01 02:00:00
premierjourduois_utc | 2020-09-30 16:00:00-08
pjm_en_utc     | 2020-10-01 00:00:00
```

```
SET timezone TO 'Japan';
```

```
SELECT d,
       d AT TIME ZONE 'UTC' AS d_en_utc,
       premierjourduois_utc (d),
       premierjourduois_utc (d) AT TIME ZONE 'UTC' as pjm_en_utc
FROM (SELECT '2020-09-30 18:00:00-08'::timestamptz AS d) x;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
d              | 2020-10-01 11:00:00+09
d_en_utc       | 2020-10-01 02:00:00
premierjourduois_utc | 2020-10-01 09:00:00+09
pjm_en_utc     | 2020-10-01 00:00:00
```

Malgré les différences d'affichage dues au fuseau horaire, c'est bien le même moment (la première seconde d'octobre en temps universel) qui est retourné par la fonction.

Pour une fonction aussi simple, la version SQL est même préférable :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION premierjourduois_utc(t timestampz)
RETURNS timestampz
LANGUAGE sql
IMMUTABLE
AS $$
    SELECT (date_trunc ('month',
                        (t at time zone 'UTC')::timestamp
                        )
           ) AT TIME ZONE 'UTC';
$$ ;
```

Enfin, la volatilité a également son importance lors d'autres opérations d'optimisation, comme l'exclusion de partitions. Seules les fonctions immutables sont compatibles avec le *partition pruning* effectué à la planification, mais les fonctions stable sont éligibles au *dynamic partition pruning* (à l'exécution) apparu avec PostgreSQL 11.

3.15 CONCLUSION



- Grand nombre de structure de contrôle (test, boucle, etc.)
- Facile à utiliser et à comprendre

3.15.1 Pour aller plus loin



- Documentation officielle
 - « Chapitre 40. PL/pgSQL - Langage de procédures SQL »
- Formation Dalibo : https://dali.bo/p2_html
 - variadic, routines polymorphes
 - triggers, tables de transition
 - curseurs
 - gestion des erreurs
 - sécurité
 - optimisation

La documentation officielle sur le langage PL/pgSQL peut être consultée en français à cette adresse²⁸.

3.15.2 Questions



```
FOR q IN (SELECT * FROM questions ) LOOP  
    répondre (q) ;  
END LOOP ;
```

²⁸<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql.html>

3.16 QUIZ



https://dali.bo/p1_quiz

3.17 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/p1_solutions.

L'exercice sur les index fonctionnels utilise la base **magasin**. La base **magasin** (dump de 96 Mo, pour 667 Mo sur le disque au final) peut être téléchargée et restaurée comme suit dans une nouvelle base **magasin** :

```
createdb magasin
curl -kL https://dali.bo/tp_magasin -o /tmp/magasin.dump
pg_restore -d magasin /tmp/magasin.dump
# le message sur public préexistant est normal
rm -- /tmp/magasin.dump
```

Les données sont dans deux schémas, **magasin** et **facturation**. Penser au `search_path`.

Pour ce TP, figer les paramètres suivants :

```
SET max_parallel_workers_per_gather to 0;
SET seq_page_cost TO 1;
SET random_page_cost TO 4;
```

3.17.1 Hello



But : Premières fonctions

Écrire une fonction `hello()` qui renvoie la chaîne de caractère « Hello World! » en SQL.

Écrire une fonction `hello_pl()` qui renvoie la chaîne de caractère « Hello World! » en PL/pgSQL.

Comparer les coûts des deux plans d'exécutions de ces requêtes. Expliquer ces coûts.

3.17.2 Division



But : Fonction avec calcul simple

Écrire en PL/pgSQL une fonction de division appelée `division`. Elle acceptera en entrée deux arguments de type entier et renverra un nombre réel (`numeric`).

Écrire cette même fonction en SQL.

Comment corriger le problème de la division par zéro ? Écrire cette nouvelle fonction dans les deux langages. (Conseil : dans ce genre de calcul impossible, il est possible d'utiliser la constante `NaN` (*Not A Number*)).

3.17.3 SELECT sur des tables dans les fonctions



But : Utiliser une table à l'intérieur d'une fonction

Ce TP utilise les tables de la base **employes_services**. Le script de création se télécharge et s'installe ainsi dans une nouvelle base **employes** :

```
curl -kL https://dali.bo/tp_employes_services -o employes_services.sql
createdb employes
psql employes < employes_services.sql
```

Les quelques tables occupent environ 80 Mo sur le disque.

Créer une fonction qui ramène le nombre d'employés embauchés une année donnée (à partir du champ `employes.date_embauche`).

Utiliser la fonction `generate_series()` pour lister le nombre d'embauches pour chaque année entre 2000 et 2010.

Créer une fonction qui fait la même chose avec deux années en paramètres une boucle `FOR ... LOOP`, `RETURNS TABLE` et `RETURN NEXT`.

3.17.4 Multiplication



But : Fonctions avec de nombreuses conditions, des manipulations de types, et un message.

Écrire une fonction de multiplication dont les arguments sont des chiffres en toute lettre, inférieurs ou égaux à « neuf ». Par exemple, `multiplication ('deux', 'trois')` doit renvoyer 6.

Si ce n'est déjà fait, faire en sorte que `multiplication` appelle une autre fonction pour faire la conversion de texte en chiffre, et n'effectue que le calcul.

Essayer de multiplier « deux » par 4. Qu'obtient-on et pourquoi ?

Corriger la fonction pour tomber en erreur si un argument est numérique (utiliser `RAISE EXCEPTION <message>`).

3.17.5 Salutations



But : Fonction plus complexe

Écrire une fonction en PL/pgSQL qui prend en argument le nom de l'utilisateur, puis lui dit « Bonjour » ou « Bonsoir » suivant l'heure de la journée. Utiliser la fonction `to_char()`.

Écrire la même fonction avec un paramètre `OUT`.

Pour calculer l'heure courante, utiliser plutôt la fonction `extract`.

Réécrire la fonction en SQL.

3.17.6 Inversion de chaîne



But : Manipuler des chaînes

Écrire une fonction `inverser` qui inverse une chaîne (pour « toto » en entrée, afficher « otot » en sortie), à l'aide d'une boucle `WHILE` et des fonctions `char_length` et `substring`.

3.17.7 Jours fériés



But : Calculs complexes avec des dates

Le calcul de la date de Pâques est complexe²⁹. On peut écrire la fonction suivante :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION paques (annee integer)
RETURNS date
AS $$
DECLARE
    a integer ;
    b integer ;
    r date ;
BEGIN
    a := (19*(annee % 19) + 24) % 30 ;
    b := (2*(annee % 4) + 4*(annee % 7) + 6*a + 5) % 7 ;
    SELECT (annee::text || '-03-31')::date + (a+b-9) INTO r ;
    RETURN r ;
END ;
$$
LANGUAGE plpgsql ;
```

Principe : Soit m l'année. On calcule successivement :

- le reste de $m/19$: c'est la valeur de a .
- le reste de $m/4$: c'est la valeur de b .
- le reste de $m/7$: c'est la valeur de c .
- le reste de $(19a + p)/30$: c'est la valeur de d .
- le reste de $(2b + 4c + 6d + q)/7$: c'est la valeur de e .

Les valeurs de p et de q varient de 100 ans en 100 ans. De 2000 à 2100, p vaut 24, q vaut 5. La date de Pâques est le $(22 + d + e)$ mars ou le $(d + e - 9)$ avril.

Afficher les dates de Pâques de 2018 à 2025.

Écrire une fonction qui calcule la date de l'Ascension, soit le jeudi de la sixième semaine après Pâques. Pour simplifier, on peut aussi considérer que l'Ascension se déroule 39 jours après Pâques.

Pour écrire une fonction qui renvoie tous les jours fériés d'une année (libellé et date), en France métropolitaine :

- Prévoir un paramètre supplémentaire pour l'Alsace-Moselle, où le Vendredi saint (précédant le dimanche de Pâques) et le 26 décembre sont aussi fériés (ou toute autre variation régionale).
- Cette fonction doit renvoyer plusieurs lignes : utiliser `RETURN NEXT`.
- Plusieurs variantes sont possibles : avec `SETOF record`, avec des paramètres `OUT`, ou avec `RETURNS TABLE (libelle, jour)`.
- Enfin, il est possible d'utiliser `RETURN QUERY`.

²⁹https://fr.wikipedia.org/wiki/Calcul_de_la_date_de_P%C3%A2ques

3.17.8 Index fonctionnels



But : Cas d'usage d'un index fonctionnel

Pour répondre aux exigences de stockage, l'application a besoin de pouvoir trouver rapidement les produits dont le volume est compris entre certaines bornes (nous négligeons ici le facteur de forme, qui est problématique dans le cadre d'un véritable stockage en entrepôt!).

Écrire une requête permettant de renvoyer l'ensemble des produits (table `magasin.produits`) dont le volume ne dépasse pas 1 litre (les unités de longueur sont en mm, 1 litre = 1 000 000 mm³).

Quel index permet d'optimiser cette requête ? (Utiliser une fonction est possible, mais pas obligatoire.)

3.18 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

3.18.1 Hello

Écrire une fonction `hello()` qui renvoie la chaîne de caractère « Hello World! » en SQL.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION hello()  
RETURNS text  
AS $BODY$  
    SELECT 'hello world !'::text;  
$BODY$  
LANGUAGE SQL;
```

Écrire une fonction `hello_pl()` qui renvoie la chaîne de caractère « Hello World! » en PL/pgSQL.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION hello_pl()  
RETURNS text  
AS $BODY$  
    BEGIN  
        RETURN 'hello world !';  
    END  
$BODY$  
LANGUAGE plpgsql;
```

Comparer les coûts des deux plans d'exécutions de ces requêtes. Expliquer ces coûts.

Requêtage :

```
EXPLAIN SELECT hello();
```

```
              QUERY PLAN  
-----  
Result  (cost=0.00..0.01 rows=1 width=32)
```

```
EXPLAIN SELECT hello_pl();
```

```
              QUERY PLAN  
-----  
Result  (cost=0.00..0.26 rows=1 width=32)
```

Par défaut, si on ne précise pas le coût (`COST`) d'une fonction, cette dernière a un coût par défaut de 100. Ce coût est à multiplier par la valeur du paramètre `cpu_operator_cost`, par défaut à 0,0025. Le coût total d'appel de la fonction `hello_pl` est donc par défaut de :

$100 * \text{cpu\_operator\_cost} + \text{cpu\_tuple\_cost}$

Ce n'est pas valable pour la fonction en SQL pur, qui est ici intégrée à la requête.

3.18.2 Division

Écrire en PL/pgSQL une fonction de division appelée `division`. Elle acceptera en entrée deux arguments de type entier et renverra un nombre réel (`numeric`).

Attention, sous PostgreSQL, la division de deux entiers est par défaut entière : il faut donc transtyper.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division (arg1 integer, arg2 integer)
RETURNS numeric
AS $BODY$
BEGIN
    RETURN arg1::numeric / arg2::numeric;
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;

SELECT division (3,2) ;

-----
division
-----
1.500000000000000000
```

Écrire cette même fonction en SQL.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division_sql (a integer, b integer)
RETURNS numeric
AS $$
    SELECT a::numeric / b::numeric;
$$
LANGUAGE SQL;
```

Comment corriger le problème de la division par zéro ? Écrire cette nouvelle fonction dans les deux langages. (Conseil : dans ce genre de calcul impossible, il est possible d'utiliser la constante `NaN` (*Not A Number*)).

Le problème se présente ainsi :

```
SELECT division(1,0);

ERROR:  division by zero
CONTEXT:  PL/pgSQL function division(integer,integer) line 3 at RETURN
```

Pour la version en PL :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division(arg1 integer, arg2 integer)
RETURNS numeric
AS $BODY$
BEGIN
    IF arg2 = 0 THEN
        RETURN 'NaN';
    ELSE
        RETURN arg1::numeric / arg2::numeric;
    END IF;
END $BODY$
LANGUAGE plpgsql;
```

```
SELECT division (3,0) ;
```

```
division
-----
NaN
```

Pour la version en SQL :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division_sql(a integer, b integer)
RETURNS numeric
AS $$
    SELECT CASE $2
        WHEN 0 THEN 'NaN'
        ELSE $1::numeric / $2::numeric
    END;
$$
LANGUAGE SQL;
```

3.18.3 SELECT sur des tables dans les fonctions

Ce TP utilise les tables de la base **employees_services**. Le script de création se télécharge et s'installe ainsi dans une nouvelle base **employees** :

```
curl -kL https://dali.bo/tp_employees_services -o employees_services.sql
createdb employees
psql employees < employees_services.sql
```

Les quelques tables occupent environ 80 Mo sur le disque.

Créer une fonction qui ramène le nombre d'employés embauchés une année donnée (à partir du champ `employees.date_embauche`).

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION nb_embauches (v_annee integer)
RETURNS integer
AS $BODY$
    DECLARE
        nb integer;
    BEGIN
        SELECT count(*)
        INTO nb
        FROM employees
        WHERE extract (year from date_embauche) = v_annee ;
        RETURN nb;
    END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql ;
```

Test :

```
SELECT nb_embauches (2006);

nb_embauches
-----
9
```

Utiliser la fonction `generate_series()` pour lister le nombre d'embauches pour chaque année entre 2000 et 2010.

```
SELECT n, nb_embauches (n)
FROM generate_series (2000,2010) n
ORDER BY n;
```

n	nb_embauches
2000	2
2001	0
2002	0
2003	1
2004	0
2005	2
2006	9
2007	0
2008	0
2009	0
2010	0

Créer une fonction qui fait la même chose avec deux années en paramètres une boucle `FOR ... LOOP`, `RETURNS TABLE` et `RETURN NEXT`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION nb_embauches (v_anneeb int, v_anneefin int)
RETURNS TABLE (annee int, nombre_embauches int)
AS $BODY$
BEGIN
    FOR i in v_anneeb..v_anneefin
    LOOP
        SELECT i, nb_embauches (i)
        INTO annee, nombre_embauches ;
        RETURN NEXT ;
    END LOOP;
    RETURN;
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;
```

Le nom de la fonction a été choisi identique à la précédente, mais avec des paramètres différents. Cela ne gêne pas le requêtage :

```
SELECT * FROM nb_embauches (2006,2010);
```

annee	nombre_embauches
2006	9
2007	0
2008	0
2009	0
2010	0

3.18.4 Multiplication

Écrire une fonction de multiplication dont les arguments sont des chiffres en toute lettre, inférieurs ou égaux à « neuf ». Par exemple, `multiplication ('deux','trois')` doit renvoyer 6.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION multiplication (arg1 text, arg2 text)
RETURNS integer
AS $BODY$
DECLARE
    a1 integer;
    a2 integer;
BEGIN
    IF arg1 = 'zéro' THEN
        a1 := 0;
    ELSEIF arg1 = 'un' THEN
        a1 := 1;
    ELSEIF arg1 = 'deux' THEN
        a1 := 2;
    ELSEIF arg1 = 'trois' THEN
        a1 := 3;
    ELSEIF arg1 = 'quatre' THEN
        a1 := 4;
    ELSEIF arg1 = 'cinq' THEN
        a1 := 5;
    ELSEIF arg1 = 'six' THEN
        a1 := 6;
    ELSEIF arg1 = 'sept' THEN
        a1 := 7;
    ELSEIF arg1 = 'huit' THEN
        a1 := 8;
    ELSEIF arg1 = 'neuf' THEN
        a1 := 9;
    END IF;

    IF arg2 = 'zéro' THEN
        a2 := 0;
    ELSEIF arg2 = 'un' THEN
        a2 := 1;
    ELSEIF arg2 = 'deux' THEN
        a2 := 2;
    ELSEIF arg2 = 'trois' THEN
        a2 := 3;
    ELSEIF arg2 = 'quatre' THEN
        a2 := 4;
    ELSEIF arg2 = 'cinq' THEN
        a2 := 5;
    ELSEIF arg2 = 'six' THEN
        a2 := 6;
    ELSEIF arg2 = 'sept' THEN
        a2 := 7;
    ELSEIF arg2 = 'huit' THEN
        a2 := 8;
    ELSEIF arg2 = 'neuf' THEN
        a2 := 9;
    END IF;

    RETURN a1*a2;
END
```

```
$BODY$  
LANGUAGE plpgsql;
```

Test:

```
SELECT multiplication('deux', 'trois');  
  
multiplication  
-----  
6
```

```
SELECT multiplication('deux', 'quatre');  
  
multiplication  
-----  
8
```

Si ce n'est déjà fait, faire en sorte que `multiplication` appelle une autre fonction pour faire la conversion de texte en chiffre, et n'effectue que le calcul.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION texte_vers_entier(arg text)  
RETURNS integer AS $BODY$  
  DECLARE  
    ret integer;  
  BEGIN  
    IF arg = 'zéro' THEN  
      ret := 0;  
    ELSEIF arg = 'un' THEN  
      ret := 1;  
    ELSEIF arg = 'deux' THEN  
      ret := 2;  
    ELSEIF arg = 'trois' THEN  
      ret := 3;  
    ELSEIF arg = 'quatre' THEN  
      ret := 4;  
    ELSEIF arg = 'cinq' THEN  
      ret := 5;  
    ELSEIF arg = 'six' THEN  
      ret := 6;  
    ELSEIF arg = 'sept' THEN  
      ret := 7;  
    ELSEIF arg = 'huit' THEN  
      ret := 8;  
    ELSEIF arg = 'neuf' THEN  
      ret := 9;  
    END IF;  
  
    RETURN ret;  
  END  
$BODY$  
LANGUAGE plpgsql;  
  
CREATE OR REPLACE FUNCTION multiplication(arg1 text, arg2 text)  
RETURNS integer  
AS $BODY$  
  DECLARE  
    a1 integer;
```

```

    a2 integer;
BEGIN
    a1 := texte_vers_entier(arg1);
    a2 := texte_vers_entier(arg2);
    RETURN a1*a2;
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;

```

Essayer de multiplier « deux » par 4. Qu'obtient-on et pourquoi ?

```
SELECT multiplication('deux', 4::text);
```

```

multiplication
-----

```

Par défaut, les variables internes à la fonction valent NULL. Rien n'est prévu pour affecter le second argument, on obtient donc NULL en résultat.

Corriger la fonction pour tomber en erreur si un argument est numérique (utiliser `RAISE EXCEPTION <message>`).

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION texte_vers_entier(arg text)
RETURNS integer AS $BODY$
DECLARE
    ret integer;
BEGIN
    IF arg = 'zéro' THEN
        ret := 0;
    ELSEIF arg = 'un' THEN
        ret := 1;
    ELSEIF arg = 'deux' THEN
        ret := 2;
    ELSEIF arg = 'trois' THEN
        ret := 3;
    ELSEIF arg = 'quatre' THEN
        ret := 4;
    ELSEIF arg = 'cinq' THEN
        ret := 5;
    ELSEIF arg = 'six' THEN
        ret := 6;
    ELSEIF arg = 'sept' THEN
        ret := 7;
    ELSEIF arg = 'huit' THEN
        ret := 8;
    ELSEIF arg = 'neuf' THEN
        ret := 9;
    ELSE
        RAISE EXCEPTION 'argument "%" invalide', arg;
        ret := NULL;
    END IF;

    RETURN ret;
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;

```

```
SELECT multiplication('deux', 4::text);
```

ERROR: argument "4" invalide

CONTEXTE : PL/pgSQL function texte_vers_entier(text) line 26 at RAISE

PL/pgSQL function multiplication(text,text) line 7 at assignment

3.18.5 Salutations

Écrire une fonction en PL/pgSQL qui prend en argument le nom de l'utilisateur, puis lui dit « Bonjour » ou « Bonsoir » suivant l'heure de la journée. Utiliser la fonction `to_char()`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION salutation(utilisateur text)
RETURNS text
AS $BODY$
DECLARE
    heure integer;
    libelle text;
BEGIN
    heure := to_char(now(), 'HH24');
    IF heure > 12
    THEN
        libelle := 'Bonsoir';
    ELSE
        libelle := 'Bonjour';
    END IF;

    RETURN libelle || ' ' || utilisateur || ' !';
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;
```

Test:

```
SELECT salutation ('Guillaume');
```

```
salutation
-----
Bonsoir Guillaume !
```

Écrire la même fonction avec un paramètre `OUT`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION salutation(IN utilisateur text, OUT message text)
AS $BODY$
DECLARE
    heure integer;
    libelle text;
BEGIN
    heure := to_char(now(), 'HH24');
    IF heure > 12
    THEN
        libelle := 'Bonsoir';
    ELSE
        libelle := 'Bonjour';
    END IF;
```

```

    message := libelle||' '||utilisateur||' !';
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;

```

Elle s'utilise de la même manière :

```

SELECT salutation ('Guillaume');

    salutation
-----
Bonsoir Guillaume !

```

Pour calculer l'heure courante, utiliser plutôt la fonction `extract`.

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION salutation(IN utilisateur text, OUT message text)
AS $BODY$
DECLARE
    heure integer;
    libelle text;
BEGIN
    SELECT INTO heure extract(hour from now())::int;
    IF heure > 12
    THEN
        libelle := 'Bonsoir';
    ELSE
        libelle := 'Bonjour';
    END IF;

    message := libelle||' '||utilisateur||' !';
END
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;

```

Réécrire la fonction en SQL.

Le `CASE ... WHEN` remplace aisément un `IF ... THEN` :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION salutation_sql(nom text)
RETURNS text
AS $$
    SELECT CASE extract(hour from now()) > 12
        WHEN 't' THEN 'Bonsoir '|| nom
        ELSE 'Bonjour '|| nom
    END::text;
$$ LANGUAGE SQL;

```

3.18.6 Inversion de chaîne

Écrire une fonction `inverser` qui inverse une chaîne (pour « toto » en entrée, afficher « otot »

en sortie), à l'aide d'une boucle `WHILE` et des fonctions `char_length` et `substring`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION inverser(str_in varchar)
RETURNS varchar
AS $$
DECLARE
    str_out varchar ;    -- à renvoyer
    position integer ;
BEGIN
    -- Initialisation de str_out, sinon sa valeur reste à NULL
    str_out := '';
    -- Position initialisée ç la longueur de la chaîne
    position := char_length(str_in);
    -- La chaîne est traitée ç l'envers
    -- Boucle: Inverse l'ordre des caractères d'une chaîne de caractères
    WHILE position > 0 LOOP
        -- la chaîne donnée en argument est parcourue
        -- à l'envers,
        -- et les caractères sont extraits individuellement
        str_out := str_out || substring(str_in, position, 1);
        position := position - 1;
    END LOOP;
    RETURN str_out;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;

SELECT inverser (' toto ' ) ;

inverser
-----
otot
```

3.18.7 Jours fériés

La fonction suivante calcule la date de Pâques d'une année :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION paques (annee integer)
RETURNS date
AS $$
DECLARE
    a integer ;
    b integer ;
    r date ;
BEGIN
    a := (19*(annee % 19) + 24) % 30 ;
    b := (2*(annee % 4) + 4*(annee % 7) + 6*a + 5) % 7 ;
    SELECT (annee::text || '-03-31')::date + (a+b-9) INTO r ;
    RETURN r ;
END ;
$$
LANGUAGE plpgsql ;
```

Afficher les dates de Pâques de 2018 à 2025.

```
SELECT paques (n) FROM generate_series (2018, 2025) n ;
```

```
paques
-----
2018-04-01
2019-04-21
2020-04-12
2021-04-04
2022-04-17
2023-04-09
2024-03-31
2025-04-20
```

Écrire une fonction qui calcule la date de l'Ascension, soit le jeudi de la sixième semaine après Pâques. Pour simplifier, on peut aussi considérer que l'Ascension se déroule 39 jours après Pâques.

Version complexe :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION ascension(annee integer)
RETURNS date
AS $$
    DECLARE
        r date;
    BEGIN
        SELECT paques(annee)::date + 40 INTO r;
        SELECT r + (4 - extract(dow from r))::integer INTO r;
        RETURN r;
    END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

Version simple :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION ascension(annee integer)
RETURNS date
AS $$
    SELECT (paques (annee) + INTERVAL '39 days')::date ;
$$
LANGUAGE sql;
```

Test :

```
SELECT paques (n), ascension(n) FROM generate_series (2018, 2025) n ;
```

```
paques | ascension
-----+-----
2018-04-01 | 2018-05-10
2019-04-21 | 2019-05-30
2020-04-12 | 2020-05-21
2021-04-04 | 2021-05-13
2022-04-17 | 2022-05-26
2023-04-09 | 2023-05-18
2024-03-31 | 2024-05-09
2025-04-20 | 2025-05-29
```

Pour écrire une fonction qui renvoie tous les jours fériés d'une année (libellé et date), en France métropolitaine :

- Prévoir un paramètre supplémentaire pour l'Alsace-Moselle, où le Vendredi saint (précédant le dimanche de Pâques) et le 26 décembre sont aussi fériés (ou toute autre variation régionale).
- Cette fonction doit renvoyer plusieurs lignes : utiliser `RETURN NEXT`.
- Plusieurs variantes sont possibles : avec `SETOF record`, avec des paramètres `OUT`, ou avec `RETURNS TABLE (libelle, jour)`.
- Enfin, il est possible d'utiliser `RETURN QUERY`.

Version avec SETOF record :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION vacances (
    annee integer,
    alsace_moselle boolean DEFAULT false
) RETURNS SETOF record
AS $$
DECLARE
    f integer;
    r record;
BEGIN
    SELECT 'Jour de l''an'::text, (annee::text||'-01-01')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Pâques'::text, paques(annee)::date + 1 INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Ascension'::text, ascension(annee)::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Fête du travail'::text, (annee::text||'-05-01')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Victoire 1945'::text, (annee::text||'-05-08')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Fête nationale'::text, (annee::text||'-07-14')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Assomption'::text, (annee::text||'-08-15')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'La toussaint'::text, (annee::text||'-11-01')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Armistice 1918'::text, (annee::text||'-11-11')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    SELECT 'Noël'::text, (annee::text||'-12-25')::date INTO r;
    RETURN NEXT r;
    IF alsace_moselle THEN
        SELECT 'Vendredi saint'::text, paques(annee)::date - 2 INTO r;
        RETURN NEXT r;
        SELECT 'Lendemain de Noël'::text, (annee::text||'-12-26')::date INTO r;
        RETURN NEXT r;
    END IF;

    RETURN;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

Le requêtage implique de nommer les colonnes :

```
SELECT *
FROM vacances(2020, true) AS (libelle text, jour date)
ORDER BY jour ;
```

libelle	jour
Jour de l'an	2020-01-01
Vendredi saint	2020-04-10
Pâques	2020-04-13
Fête du travail	2020-05-01
Victoire 1945	2020-05-08
Ascension	2020-05-21
Fête nationale	2020-07-14
Assomption	2020-08-15
La toussaint	2020-11-01
Armistice 1918	2020-11-11
Noël	2020-12-25
Lendemain de Noël	2020-12-26

Version avec paramètres OUT :

Une autre forme d'écriture possible consiste à indiquer les deux colonnes de retour comme des paramètres `OUT` :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION vacances(
    annee integer,
    alsace_moselle boolean DEFAULT false,
    OUT libelle text,
    OUT jour date)
RETURNS SETOF record
LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
    f integer;
    r record;
BEGIN
    SELECT 'Jour de l'an'::text, (annee::text || '-01-01')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Pâques'::text, paques(annee)::date + 1 INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Ascension'::text, ascension(annee)::date INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Fête du travail'::text, (annee::text || '-05-01')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Victoire 1945'::text, (annee::text || '-05-08')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Fête nationale'::text, (annee::text || '-07-14')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Assomption'::text, (annee::text || '-08-15')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
```

```

SELECT 'La toussaint'::text, (annee::text||'-11-01')::date
    INTO libelle, jour;
RETURN NEXT;
SELECT 'Armistice 1918'::text, (annee::text||'-11-11')::date
    INTO libelle, jour;
RETURN NEXT;
SELECT 'Noël'::text, (annee::text||'-12-25')::date INTO libelle, jour;
RETURN NEXT;
IF alsace_moselle THEN
    SELECT 'Vendredi saint'::text, paques(annee)::date - 2 INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
    SELECT 'Lendemain de Noël'::text, (annee::text||'-12-26')::date
        INTO libelle, jour;
    RETURN NEXT;
END IF;

RETURN;
END;
$function$;

```

La fonction s'utilise alors de façon simple :

```

SELECT *
FROM vacances(2020)
ORDER BY jour ;

```

libelle	jour
Jour de l'an	2020-01-01
Pâques	2020-04-13
Fête du travail	2020-05-01
Victoire 1945	2020-05-08
Ascension	2020-05-21
Fête nationale	2020-07-14
Assomption	2020-08-15
La toussaint	2020-11-01
Armistice 1918	2020-11-11
Noël	2020-12-25

Version avec RETURNS TABLE :

Seule la déclaration en début diffère de la version avec les paramètres OUT :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION vacances(
    annee integer, alsace_moselle boolean DEFAULT false)
    RETURNS TABLE (libelle text, jour date)
    LANGUAGE plpgsql
AS $function$
...

```

L'utilisation est aussi simple que la version précédente.

Version avec RETURN QUERY :

C'est peut-être la version la plus compacte :

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION vacances(annee integer, alsace_moselle boolean DEFAULT
↪ false)

```

```

RETURNS TABLE (libelle text, jour date)
LANGUAGE plpgsql
AS $function$
BEGIN
    RETURN QUERY SELECT 'Jour de l''an'::text, (annee::text||'-01-01')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Pâques'::text, paques(annee)::date + 1 ;
    RETURN QUERY SELECT 'Ascension'::text, ascension(annee)::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Fête du travail'::text, (annee::text||'-05-01')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Victoire 1945'::text, (annee::text||'-05-08')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Fête nationale'::text, (annee::text||'-07-14')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Assomption'::text, (annee::text||'-08-15')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'La toussaint'::text, (annee::text||'-11-01')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Armistice 1918'::text, (annee::text||'-11-11')::date ;
    RETURN QUERY SELECT 'Noël'::text, (annee::text||'-12-25')::date ;
    IF alsace_moselle THEN
        RETURN QUERY SELECT 'Vendredi saint'::text, paques(annee)::date - 2 ;
        RETURN QUERY SELECT 'Lendemain de Noël'::text, (annee::text||'-12-26')::date ;
    END IF;
    RETURN;
END;
$function$;

```

3.18.8 Index fonctionnel

Ce TP utilise la base **magasin**.

Écrire une requête permettant de renvoyer l'ensemble des produits (table `magasin.produits`) dont le volume ne dépasse pas 1 litre (les unités de longueur sont en mm, 1 litre = 1 000 000 mm³).

Concernant le volume des produits, la requête est assez simple :

```
SELECT * FROM produits WHERE longueur * hauteur * largeur < 1000000 ;
```

Quel index permet d'optimiser cette requête ? (Utiliser une fonction est possible, mais pas obligatoire.)

L'option la plus simple est de créer l'index de cette façon, sans avoir besoin d'une fonction :

```
CREATE INDEX ON produits((longueur * hauteur * largeur));
```

En général, il est plus propre de créer une fonction. On peut passer la ligne entière en paramètre pour éviter de fournir 3 paramètres. Il faut que cette fonction soit `IMMUTABLE` pour être indexable :

```

CREATE OR REPLACE function volume (p produits)
RETURNS numeric
AS $$
    SELECT p.longueur * p.hauteur * p.largeur;
$$ language SQL
PARALLEL SAFE
IMMUTABLE ;

```

(Elle est même `PARALLEL SAFE` pour la même raison qu'elle est `IMMUTABLE` : elle dépend uniquement des données de la table.)

On peut ensuite indexer le résultat de cette fonction :

```
CREATE INDEX ON produits (volume(produits)) ;
```

Il est ensuite possible d'écrire la requête de plusieurs manières, la fonction étant ici écrite en SQL et non en PL/pgSQL ou autre langage procédural :

```
SELECT * FROM produits WHERE longueur * hauteur * largeur < 1000000 ;  
SELECT * FROM produits WHERE volume(produits) < 1000000 ;
```

En effet, l'optimiseur est capable de « regarder » à l'intérieur de la fonction SQL pour déterminer que les clauses sont les mêmes, ce qui n'est pas vrai pour les autres langages.

En revanche, la requête suivante, où la multiplication est faite dans un ordre différent, n'utilise pas l'index :

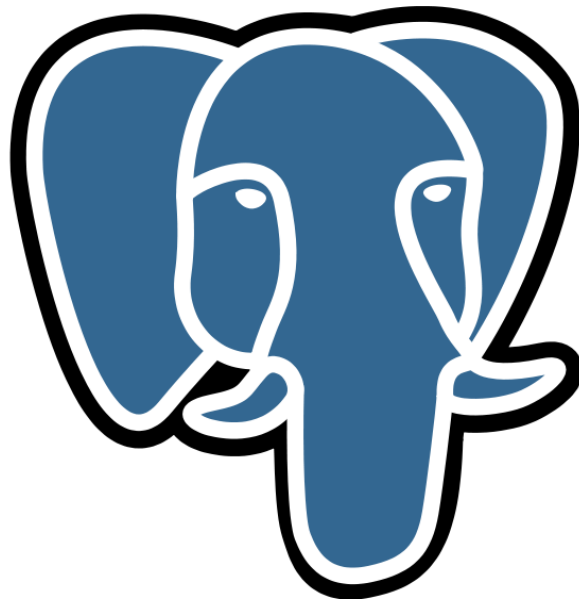
```
SELECT * FROM produits WHERE largeur * longueur * hauteur < 1000000 ;
```

et c'est notamment pour cette raison qu'il est plus propre d'utiliser la fonction.

De part l'origine « relationnel-objet » de PostgreSQL, on peut même écrire la requête de la manière suivante :

```
SELECT * FROM produits WHERE produits.volume < 1000000;
```


4/ PL/pgSQL avancé



4.1 PRÉAMBULE

4.1.1 Au menu



- Routines « variadic » et polymorphes
- Fonctions trigger
- Curseurs
- Récupérer les erreurs
- Messages d'erreur dans les logs
- Sécurité
- Optimisation
- Problèmes fréquents

4.1.2 Objectifs



- Connaître la majorité des possibilités de PL/pgSQL
- Les utiliser pour étendre les fonctionnalités de la base
- Écrire du code robuste
- Éviter les pièges de sécurité
- Savoir optimiser une routine

4.2 ROUTINES VARIADIC

4.2.1 Routines variadic : introduction



- Permet de créer des routines avec un nombre d'arguments variables
- ... mais du même type

L'utilisation du mot clé `VARIADIC` dans la déclaration des routines permet d'utiliser un nombre variable d'arguments dans la mesure où tous les arguments optionnels sont du même type de données. Ces arguments sont passés à la fonction sous forme de tableau d'arguments du même type.

VARIADIC tableau `text[]`

Il n'est pas possible d'utiliser d'autres arguments en entrée à la suite d'un paramètre `VARIADIC`.

4.2.2 Routines variadic : exemple



Récupérer le minimum d'une liste :

```
CREATE FUNCTION pluspetit(VARIADIC numeric[])
RETURNS numeric AS $$
SELECT min($1[i]) FROM generate_subscripts($1, 1) g(i);
$$ LANGUAGE SQL;

SELECT pluspetit(10, -1, 5, 4.4);
 pluspetit
-----
          -1
(1 row)
```

Quelques explications sur cette fonction :

- SQL est un langage de routines stockées
 - une routine SQL ne contient que des ordres SQL exécutés séquentiellement
 - le résultat de la fonction est le résultat du dernier ordre
- `generate_subscript()` prend un tableau en premier paramètre et la dimension de ce tableau (un tableau peut avoir plusieurs dimensions), et elle retourne une série d'entiers allant du premier au dernier indice du tableau dans cette dimension
- `g(i)` est un alias : `generate_subscripts` est une SRF (`set-returning function`), retourne un `SETOF`), `g` est donc le nom de l'alias de table, et `i` le nom de l'alias de colonne.

4.2.3 Routines variadic : exemple PL/pgSQL



- En PL/pgSQL, cette fois-ci
- Démonstration de `FOREACH xxx IN ARRAY aaa LOOP`
- Précédemment, obligé de convertir le tableau en relation pour boucler (`unnest`)

En PL/pgSQL, il est possible d'utiliser une boucle `FOREACH` pour parcourir directement le tableau des arguments optionnels.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION pluspetit(VARIADIC liste numeric[])
  RETURNS numeric
  LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
  courant numeric;
  plus_petit numeric;
BEGIN
  FOREACH courant IN ARRAY liste LOOP
    IF plus_petit IS NULL OR courant < plus_petit THEN
      plus_petit := courant;
    END IF;
  END LOOP;
  RETURN plus_petit;
END
$function$;
```

Auparavant, il fallait développer le tableau avec la fonction `unnest()` pour réaliser la même opération.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION pluspetit(VARIADIC liste numeric[])
  RETURNS numeric
  LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
  courant numeric;
  plus_petit numeric;
BEGIN
  FOR courant IN SELECT unnest(liste) LOOP
    IF plus_petit IS NULL OR courant < plus_petit THEN
      plus_petit := courant;
    END IF;
  END LOOP;
  RETURN plus_petit;
END
$function$;
```

4.3 ROUTINES POLYMORPHES

4.3.1 Routines polymorphes : introduction



- Typage des variables oblige à dupliquer les routines communes à plusieurs types
- PostgreSQL propose des types polymorphes
- Le typage se fait à l'exécution

Pour pouvoir utiliser la même fonction en utilisant des types différents, il est nécessaire de la redéfinir avec les différents types autorisés en entrée. Par exemple, pour autoriser l'utilisation de données de type `integer` ou `float` en entrée et retournées par une même fonction, il faut la dupliquer.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
  addition(var1 integer, var2 integer)
RETURNS integer
AS $$
DECLARE
  somme integer;
BEGIN
  somme := var1 + var2;
  RETURN somme;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
  addition(var1 float, var2 float)
RETURNS float
AS $$
DECLARE
  somme float;
BEGIN
  somme := var1 + var2;
  RETURN somme;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

L'utilisation de types polymorphes permet d'éviter ce genre de duplications fastidieuses.

4.3.2 Routines polymorphes : anyelement



- Remplace tout type de données simple ou composite
 - pour les paramètres en entrée comme pour les paramètres en sortie
- Tous les paramètres et type de retour de type `anyelement` se voient attribués le même type
- Donc un seul type pour tous les `anyelement` autorisés
- Paramètre spécial `$0` : du type attribué aux éléments `anyelement`

4.3.3 Routines polymorphes : anyarray



- `anyarray` remplace tout tableau de type de données simple ou composite
 - pour les paramètres en entrée comme pour les paramètres en sortie
- Le typage se fait à l'exécution
- Tous les paramètres de type `anyarray` se voient attribués le même type

4.3.4 Routines polymorphes : exemple



L'addition est un exemple fréquent :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
  addition(var1 anyelement, var2 anyelement)
RETURNS anyelement
AS $$
DECLARE
  somme ALIAS FOR $0;
BEGIN
  somme := var1 + var2;
  RETURN somme;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

4.3.5 Routines polymorphes : tests



```
# SELECT addition(1, 3);
addition
-----
         4
(1 row)

# SELECT addition(1.3, 3.5);
addition
-----
        4.8
(1 row)
```

L'opérateur `+` étant défini pour les entiers comme pour les `numeric`, la fonction ne pose aucun problème pour ces deux types de données, et retourne une donnée du même type que les données d'entrée.

4.3.6 Routines polymorphes : problème



— Attention lors de l'utilisation de type polymorphe...

```
# SELECT addition('un'::text, 'mot'::text);
ERREUR: L'opérateur n'existe pas : text + text
LIGNE 1 : SELECT    $1 + $2
^
ASTUCE : Aucun opérateur correspond au nom donné et aux types d'arguments.
         Vous devez ajouter des conversions explicites de type.
REQUÊTE : SELECT    $1 + $2
CONTEXTE : PL/pgSQL function "addition" line 4 at assignment
```

Le typage n'étant connu qu'à l'exécution, c'est aussi à ce moment que se déclenchent les erreurs.

De même, l'affectation du type unique pour tous les éléments se fait sur la base du premier élément, ainsi :

```
# SELECT addition(1, 3.5);
ERROR: function addition(integer, numeric) does not exist
LIGNE 1 : SELECT addition(1, 3.5);
^
ASTUCE : No function matches the given name and argument types.
         You might need to add explicit type casts.
```

génère une erreur car du premier argument est déduit le type `integer`, ce qui n'est évidemment pas le cas du deuxième. Il peut donc être nécessaire d'utiliser une conversion explicite pour résoudre ce genre de problématique.

```
# SELECT addition(1::numeric, 3.5);
addition
-----
4.5
```

4.4 FONCTIONS TRIGGER

4.4.1 Fonctions trigger : introduction



- Fonction stockée
- Action déclenchée par `INSERT` (incluant `COPY`), `UPDATE`, `DELETE`, `TRUNCATE`
- Mode **par ligne** ou **par instruction**
- Exécution d'une fonction

Un trigger est une spécification précisant que la base de données doit exécuter une fonction particulière quand un certain type d'opération est traité. Les fonctions trigger peuvent être définies pour s'exécuter avant ou après une commande `INSERT`, `UPDATE`, `DELETE` ou `TRUNCATE`.

La fonction trigger doit être définie avant que le trigger lui-même puisse être créé. La fonction trigger doit être déclarée comme une fonction ne prenant aucun argument et retournant un type `trigger`.

Une fois qu'une fonction trigger est créée, le trigger est créé avec `CREATE TRIGGER`. La même fonction trigger est utilisable par plusieurs triggers.

Un trigger `TRUNCATE` ne peut utiliser que le mode par instruction, contrairement aux autres triggers pour lesquels vous avez le choix entre « par ligne » et « par instruction ».

Enfin, l'instruction `COPY` est traitée comme s'il s'agissait d'une commande `INSERT`.

À noter que les problématiques de visibilité et de volatilité depuis un trigger sont assez complexes dès lors que l'on lit ou modifie les données. Voir la documentation¹ pour plus de détails à ce sujet.

4.4.2 Fonctions trigger : variables (1/5)



- `OLD` :
 - type de données `RECORD` correspondant à la ligne avant modification
 - valable pour un `DELETE` et un `UPDATE`
- `NEW` :
 - type de données `RECORD` correspondant à la ligne après modification
 - valable pour un `INSERT` et un `UPDATE`

¹<https://docs.postgresql.fr/current/trigger-datachanges.html>

4.4.3 Fonctions trigger : variables (2/5)



- Ces deux variables sont valables uniquement pour les triggers en mode ligne
 - pour les triggers en mode instruction, la version 10 propose les tables de transition
- Accès aux champs par la notation pointée
 - `NEW.champ1` pour accéder à la nouvelle valeur de `champ1`

4.4.4 Fonctions trigger : variables (3/5)



- `TG_NAME`
 - nom du trigger qui a déclenché l'appel de la fonction
- `TG_WHEN`
 - chaîne valant `BEFORE`, `AFTER` ou `INSTEAD OF` suivant le type du trigger
- `TG_LEVEL`
 - chaîne valant `ROW` ou `STATEMENT` suivant le mode du trigger
- `TG_OP`
 - chaîne valant `INSERT`, `UPDATE`, `DELETE`, `TRUNCATE` suivant l'opération qui a déclenché le trigger

4.4.5 Fonctions trigger : variables (4/5)



- `TG_RELID`
 - `OID` de la table qui a déclenché le trigger
- `TG_TABLE_NAME`
 - nom de la table qui a déclenché le trigger
- `TG_TABLE_SCHEMA`
 - nom du schéma contenant la table qui a déclenché le trigger

Vous pourriez aussi rencontrer dans du code la variable `TG_RELNAME`. C'est aussi le nom de la table qui a déclenché le trigger. Attention, cette variable est obsolète, il est préférable d'utiliser maintenant `TG_TABLE_NAME`.

4.4.6 Fonctions trigger : variables (5/5)



- `TG_NARGS`
— nombre d'arguments donnés à la fonction trigger
- `TG_ARGV`
— les arguments donnés à la fonction trigger (le tableau commence à 0)

La fonction trigger est déclarée sans arguments mais il est possible de lui en passer dans la déclaration du trigger. Dans ce cas, il faut utiliser les deux variables ci-dessus pour y accéder. Attention, tous les arguments sont convertis en texte. Il faut donc se cantonner à des informations simples, sous peine de compliquer le code.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION verifier_somme()
RETURNS trigger AS $$
DECLARE
    fact_limit integer;
    arg_color varchar;
BEGIN
    fact_limit := TG_ARGV[0];

    IF NEW.somme > fact_limit THEN
        RAISE NOTICE 'La facture % necessite une verification. '
                     'La somme % depasse la limite autorisee de %.',
                     NEW.idfact, NEW.somme, fact_limit;
    END IF;

    NEW.datecreate := current_timestamp;

    return NEW;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;

CREATE TRIGGER trig_verifier_debit
BEFORE INSERT OR UPDATE ON test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE verifier_somme(400);

CREATE TRIGGER trig_verifier_credit
BEFORE INSERT OR UPDATE ON test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE verifier_somme(800);
```

4.4.7 Fonctions trigger : retour



- Une fonction trigger a un type de retour spécial : `trigger`
- Trigger `BEFORE FOR EACH ROW` :
 - si retour `NULL` : annulation de l'opération, sans erreur, la transaction continue
 - modification possible de `NEW`
 - `BEFORE DELETE` : `NEW` est `NULL`, retourner `OLD`
 - `BEFORE INSERT` : `OLD` est `NULL`, retourner `NEW`
- Trigger `AFTER` :
 - valeur de retour ignorée (même `NULL`)
- Trigger `FOR EACH STATEMENT` :
 - valeur de retour ignorée, renvoyer `NULL`
- `RAISE EXCEPTION` toujours possible, interrompt la transaction

Une fonction trigger retourne le type spécial `trigger`. Pour cette raison, ces fonctions ne peuvent être utilisées que dans le contexte d'un ou plusieurs triggers.

Pour pouvoir être utilisée comme valeur de retour dans la fonction (avec `RETURN`), une variable doit être de structure identique à celle de la table sur laquelle le trigger a été déclenché. Les variables spéciales `OLD` (ancienne valeur avant application de l'action à l'origine du déclenchement) et `NEW` (nouvelle valeur après application de l'action) sont également disponibles, utilisables et même modifiables.

Trigger BEFORE ... FOR EACH ROW :

La valeur de retour d'un trigger de type ligne déclenché avant l'opération peut changer complètement l'effet de la commande.

Il est possible de changer les valeurs de la nouvelle ligne créée par une action `INSERT` ou `UPDATE` en modifiant `NEW` directement, puis en faisant `RETURN NEW`.

Il est également possible d'annuler complètement l'action sur la ligne, sans erreur en retournant `NULL`. Cette annulation ne vaut que pour la ligne, et la transaction continue normalement. Les triggers ne sont plus déclenchés pour cette ligne.



Attention ! Dans le cas d'une fonction trigger `BEFORE DELETE`, il faut prendre en compte que `NEW` contient `NULL`, et en conséquence `RETURN NEW` provoque l'annulation du `DELETE` ! Dans ce cas, la convention est de faire un `RETURN OLD` pour poursuivre, ou `RETURN NULL` pour une annulation explicite.

Trigger AFTER ... FOR EACH ROW et FOR EACH STATEMENT :



En revanche, la valeur de retour utilisée n'a pas d'effet dans les cas des triggers `ROW` et `AFTER`, et des triggers `FOR EACH STATEMENT` (par exemple les triggers sur `TRUNCATE` ou les triggers utilisant les tables de transition). La documentation conseille alors de toujours retourner `NULL`.

Dans ces cas, il reste possible d'annuler l'action en remontant une erreur à l'exécution de la fonction (`RAISE EXCEPTION`). Mais cela va annuler toute la transaction.

4.4.8 Fonctions trigger : exemple - 1



— Horodater une opération sur une ligne

```
CREATE TABLE ma_table (
  id serial,
  -- un certain nombre de champs informatifs
  date_ajout timestamp,
  date_modif timestamp);
```

4.4.9 Fonctions trigger : exemple - 2



```
CREATE OR REPLACE FUNCTION horodatage() RETURNS trigger
AS $$
BEGIN
  IF TG_OP = 'INSERT' THEN
    NEW.date_ajout := now();
  ELSEIF TG_OP = 'UPDATE' THEN
    NEW.date_modif := now();
  END IF;
  RETURN NEW;
END; $$ LANGUAGE plpgsql;
```

4.4.10 Options de CREATE TRIGGER



`CREATE TRIGGER` permet quelques variantes :

- `CREATE TRIGGER name WHEN ( condition )`
- `CREATE TRIGGER name BEFORE UPDATE OF colx ON my_table`
- `CREATE CONSTRAINT TRIGGER` : exécuté qu'au moment de la validation de la transaction
- `CREATE TRIGGER view_insert INSTEAD OF INSERT ON my_view`

- On peut ne déclencher un trigger que si une condition est vérifiée. Cela simplifie souvent le code du trigger, et gagne en performances : plus besoin pour le moteur d'aller exécuter la fonction.
- On peut ne déclencher un trigger que si une colonne spécifique a été modifiée. Il ne s'agit donc que de triggers sur `UPDATE`. Encore un moyen de simplifier le code et de gagner en performances en évitant les déclenchements inutiles.
- On peut créer un trigger en le déclarant comme étant un trigger de contrainte. Il peut alors être *deferrable*, *deferred*, comme tout autre contrainte, c'est-à-dire n'être exécuté qu'au moment de la validation de la transaction, ce qui permet de ne vérifier les contraintes implémentées par le trigger qu'au moment de la validation finale.
- On peut créer un trigger sur une vue. C'est un trigger `INSTEAD OF`, qui permet de programmer de façon efficace les `INSERT / UPDATE / DELETE / TRUNCATE` sur les vues. Auparavant, il fallait passer par le système de règles (`RULES`), complexe et sujet à erreurs.

4.4.11 Tables de transition



- Pour les triggers de type `AFTER` et de niveau statement
- Possibilité de stocker les lignes avant et/ou après modification
 - `REFERENCING OLD TABLE`
 - `REFERENCING NEW TABLE`
- Par exemple :

```
CREATE TRIGGER tr1
AFTER DELETE ON t1
REFERENCING OLD TABLE AS oldtable
FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE log_delete();
```

Dans le cas d'un trigger en mode instruction, il n'est pas possible d'utiliser les variables `OLD` et `NEW` car elles ciblent une seule ligne. Pour cela, le standard SQL parle de tables de transition.

La version 10 de PostgreSQL permet donc de rattraper le retard à ce sujet par rapport au standard SQL et SQL Server.

Voici un exemple de leur utilisation.

Nous allons créer une table `t1` qui aura le trigger et une table archives qui a pour but de récupérer les enregistrements supprimés de la table `t1`.

```
CREATE TABLE t1 (c1 integer, c2 text);

CREATE TABLE archives (id integer GENERATED ALWAYS AS IDENTITY,
  dlog timestamp DEFAULT now(),
  t1_c1 integer, t1_c2 text);
```

Maintenant, il faut créer le code de la procédure stockée :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION log_delete() RETURNS trigger LANGUAGE plpgsql AS $$
BEGIN
    INSERT INTO archives (t1_c1, t1_c2) SELECT c1, c2 FROM oldtable;
    RETURN null;
END
$$;
```

Et ajouter le trigger sur la table t1 :

```
CREATE TRIGGER tr1
AFTER DELETE ON t1
REFERENCING OLD TABLE AS oldtable
FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE log_delete();
```

Maintenant, insérons un million de ligne dans t1 et supprimons-les :

```
INSERT INTO t1 SELECT i, 'Ligne '||i FROM generate_series(1, 1000000) i;

DELETE FROM t1;
Time: 2141.871 ms (00:02.142)
```

La suppression avec le trigger prend 2 secondes. Il est possible de connaître le temps à supprimer les lignes et le temps à exécuter le trigger en utilisant l'ordre `EXPLAIN ANALYZE` :

```
TRUNCATE archives;

INSERT INTO t1 SELECT i, 'Ligne '||i FROM generate_series(1, 1000000) i;

EXPLAIN (ANALYZE) DELETE FROM t1;
               QUERY PLAN
-----
Delete on t1  (cost=0.00..14241.98 rows=796798 width=6)
              (actual time=781.612..781.612 rows=0 loops=1)
-> Seq Scan on t1  (cost=0.00..14241.98 rows=796798 width=6)
                  (actual time=0.113..104.328 rows=1000000 loops=1)
Planning time: 0.079 ms
Trigger tr1: time=1501.688 calls=1
Execution time: 2287.907 ms
(5 rows)
```

Donc la suppression des lignes met 0,7 seconde alors que l'exécution du trigger met 1,5 seconde.

Pour comparer, voici l'ancienne façon de faire (configuration d'un trigger en mode ligne) :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION log_delete() RETURNS trigger LANGUAGE plpgsql AS $$
BEGIN
    INSERT INTO archives (t1_c1, t1_c2) VALUES (old.c1, old.c2);
    RETURN null;
END
$$;
```

```
DROP TRIGGER tr1 ON t1;
```

```
CREATE TRIGGER tr1
AFTER DELETE ON t1
FOR EACH ROW
```

```
EXECUTE PROCEDURE log_delete();

TRUNCATE archives;

TRUNCATE t1;

INSERT INTO t1 SELECT i, 'Ligne '||i FROM generate_series(1, 1000000) i;

DELETE FROM t1;
Time: 8445.697 ms (00:08.446)

TRUNCATE archives;

INSERT INTO t1 SELECT i, 'Ligne '||i FROM generate_series(1, 1000000) i;

EXPLAIN (ANALYZE) DELETE FROM t1;
               QUERY PLAN
-----
Delete on t1  (cost=0.00..14241.98 rows=796798 width=6)
              (actual time=1049.420..1049.420 rows=0 loops=1)
    -> Seq Scan on t1  (cost=0.00..14241.98 rows=796798 width=6)
                          (actual time=0.061..121.701 rows=1000000 loops=1)
Planning time: 0.096 ms
Trigger tr1: time=7709.725 calls=1000000
Execution time: 8825.958 ms
(5 rows)
```

Donc avec un trigger en mode ligne, la suppression du million de lignes met presque 9 secondes à s'exécuter, dont 7,7 pour l'exécution du trigger. Sur le trigger en mode instruction, il faut compter 2,2 secondes, dont 1,5 sur le trigger. Les tables de transition nous permettent de gagner en performance.

Le gros intérêt des tables de transition est le gain en performance que cela apporte.

4.5 CURSEURS

4.5.1 Curseurs : introduction



- Exécuter une requête en une fois peut ramener beaucoup de résultats
- Tout ce résultat est en mémoire
 - risque de dépassement mémoire
- La solution : les curseurs
- Un curseur permet d'exécuter la requête sur le serveur mais de ne récupérer les résultats que petit bout par petit bout
- Dans une transaction ou une routine

À noter que la notion de curseur existe aussi en SQL pur, sans passer par une routine PL/pgSQL. On les crée en utilisant la commande `DECLARE`, et les règles de manipulation sont légèrement différentes (on peut par exemple créer un curseur `WITH HOLD`, qui persistera après la fin de la transaction). Voir la documentation pour plus d'informations à ce sujet : <https://docs.postgresql.fr/current/sql-declare.html>

4.5.2 Curseurs : déclaration d'un curseur



- Avec le type `refcursor`
- Avec la pseudo-instruction `CURSOR FOR`
- Avec une requête paramétrée
- Exemples :

```
curseur1 refcursor;  
curseur2 CURSOR FOR SELECT * FROM ma_table;  
curseur3 CURSOR (param integer) IS  
SELECT * FROM ma_table WHERE un_champ=param;
```

La première forme permet la création d'un curseur non lié à une requête.

4.5.3 Curseurs : ouverture d'un curseur



- Lier une requête à un curseur :

OPEN curseur **FOR** requete

- Plan de la requête mis en cache
- Lier une requête dynamique à un curseur

OPEN curseur **FOR EXECUTE** chaine_requete

Voici un exemple de lien entre une requête et un curseur :

```
OPEN curseur FOR SELECT * FROM ma_table;
```

Et voici un exemple d'utilisation d'une requête dynamique :

```
OPEN curseur FOR EXECUTE 'SELECT * FROM ' || quote_ident(TG_TABLE_NAME);
```

4.5.4 Curseurs : ouverture d'un curseur lié



- Instruction SQL : `OPEN curseur(arguments)`
- Permet d'ouvrir un curseur déjà lié à une requête
- Impossible d'ouvrir deux fois le même curseur
- Plan de la requête mise en cache
- Exemple

```
curseur CURSOR FOR SELECT * FROM ma_table;
...
OPEN curseur;
```

4.5.5 Curseurs : récupération des données



- Instruction SQL :

```
FETCH [ direction { FROM | IN } ] curseur INTO cible
```

- Récupère la prochaine ligne
- FOUND indique si cette nouvelle ligne a été récupérée
- Cible est
 - une variable RECORD
 - une variable ROW
 - un ensemble de variables séparées par des virgules

4.5.6 Curseurs : récupération des données



- direction du **FETCH** :

```
— NEXT , PRIOR
```

```
— FIRST , LAST
```

```
— ABSOLUTE nombre , RELATIVE nombre
```

```
— nombre
```

```
— ALL
```

```
— FORWARD , FORWARD nombre , FORWARD ALL
```

```
— BACKWARD , BACKWARD nombre , BACKWARD ALL
```

4.5.7 Curseurs : modification des données



- Mise à jour d'une ligne d'un curseur :

```
UPDATE une_table SET ...  
WHERE CURRENT OF curseur;
```

- Suppression d'une ligne d'un curseur :

```
DELETE FROM une_table  
WHERE CURRENT OF curseur;
```

Attention, ces différentes syntaxes ne modifient pas les données dans le curseur en mémoire, mais font réellement la modification dans la table. L'emplacement actuel du curseur est utilisé ici pour identifier la ligne correspondante à mettre à jour.

4.5.8 Curseurs : fermeture d'un curseur



- Instruction SQL : `CLOSE curseur`
- Ferme le curseur
- Permet de récupérer de la mémoire
- Permet aussi de réouvrir le curseur

4.5.9 Curseurs : renvoi d'un curseur



- Fonction renvoyant une valeur de type `refcursor`
- Permet donc de renvoyer plusieurs valeurs

Voici un exemple d'utilisation d'une référence de curseur retournée par une fonction :

```
CREATE FUNCTION consult_all_stock(refcursor) RETURNS refcursor AS $$  
BEGIN  
    OPEN $1 FOR SELECT * FROM stock;  
    RETURN $1;  
END;  
$$ LANGUAGE plpgsql;  
  
-- doit être dans une transaction pour utiliser les curseurs.  
BEGIN;  
  
SELECT * FROM consult_all_stock('cursor_a');  
  
FETCH ALL FROM cursor_a;  
COMMIT;
```

4.6 GESTION DES ERREURS

4.6.1 Gestion des erreurs : introduction



- Sans exceptions :
 - toute erreur provoque un arrêt de la fonction
 - toute modification suite à une instruction SQL (`INSERT`, `UPDATE`, `DELETE`) est annulée
 - d'où l'ajout d'une gestion personnalisée des erreurs avec le concept des exceptions

4.6.2 Gestion des erreurs : une exception



- La fonction comporte un bloc supplémentaire, `EXCEPTION` :

```

DECLARE
  -- déclaration des variables locales
BEGIN
  -- instructions de la fonction
EXCEPTION
WHEN condition THEN
  -- instructions traitant cette erreur
WHEN condition THEN
  -- autres instructions traitant cette autre erreur
  -- etc.
END
```

4.6.3 Gestion des erreurs : flot dans une fonction



- L'exécution de la fonction commence après le `BEGIN`
- Si aucune erreur ne survient, le bloc `EXCEPTION` est ignoré
- Si une erreur se produit
 - tout ce qui a été modifié dans la base dans le bloc est annulé
 - les variables gardent par contre leur état
 - l'exécution passe directement dans le bloc de gestion de l'exception

4.6.4 Gestion des erreurs : flot dans une exception



- Recherche d'une condition satisfaisante
- Si cette condition est trouvée
 - exécution des instructions correspondantes
- Si aucune condition n'est compatible
 - sortie du bloc `BEGIN / END` comme si le bloc d'exception n'existait pas
 - passage de l'exception au bloc `BEGIN / END` contenant (après annulation de ce que ce bloc a modifié en base)
- Dans un bloc d'exception, les instructions `INSERT`, `UPDATE`, `DELETE` de la fonction ont été annulées
- Dans un bloc d'exception, les variables locales de la fonction ont gardé leur ancienne valeur

4.6.5 Gestion des erreurs : codes d'erreurs



- `SQLSTATE` : code d'erreur
- `SQLERRM` : message d'erreur
- Par exemple :
 - `Data Exception` : division par zéro, overflow, argument invalide pour certaines fonctions, etc.
 - `Integrity Constraint Violation` : unicité, CHECK, clé étrangère, etc.
 - `Syntax Error`
 - `PL/pgSQL Error` : `RAISE EXCEPTION`, pas de données, trop de lignes, etc.
- Les erreurs sont contenues dans des classes d'erreurs plus génériques, qui peuvent aussi être utilisées

Toutes les erreurs sont référencées dans la documentation²

Attention, des codes d'erreurs nouveaux apparaissent à chaque version.

La classe `data_exception` contient de nombreuses erreurs, comme `datetime_field_overflow`, `invalid_escape_character`, `invalid_binary_representation`... On peut donc, dans la déclaration de l'exception, intercepter toutes les erreurs de type `data_exception` d'un coup, ou une par une.

L'instruction `GET STACKED DIAGNOSTICS` permet d'avoir une vision plus précise de l'erreur récupérée par le bloc de traitement des exceptions. La liste de toutes les informations que l'on peut collecter est disponible dans la documentation³.

La démonstration ci-dessous montre comment elle peut être utilisée.

²<https://docs.postgresql.fr/current/errcodes-appendix.html>

³<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql-control-structures.html#plpgsql-exception-diagnostics-values>

```
# CREATE TABLE t5(c1 integer PRIMARY KEY);
CREATE TABLE
# INSERT INTO t5 VALUES (1);
INSERT 0 1
# CREATE OR REPLACE FUNCTION test(INT4) RETURNS void AS $$
DECLARE
    v_state TEXT;
    v_msg TEXT;
    v_detail TEXT;
    v_hint TEXT;
    v_context TEXT;
BEGIN
    BEGIN
        INSERT INTO t5 (c1) VALUES ($1);
    EXCEPTION WHEN others THEN
        GET STACKED DIAGNOSTICS
            v_state = RETURNED_SQLSTATE,
            v_msg = MESSAGE_TEXT,
            v_detail = PG_EXCEPTION_DETAIL,
            v_hint = PG_EXCEPTION_HINT,
            v_context = PG_EXCEPTION_CONTEXT;
        raise notice E'Et une exception :
            state : %
            message: %
            detail : %
            hint : %
            context: %', v_state, v_msg, v_detail, v_hint, v_context;
    END;
    RETURN;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
# SELECT test(2);
test
-----

(1 row)

# SELECT test(2);
NOTICE: Et une exception :
        state : 23505
        message: duplicate key value violates unique constraint "t5_pkey"
        detail : Key (c1)=(2) already exists.
        hint :
        context: SQL statement "INSERT INTO t5 (c1) VALUES ($1)"
PL/pgSQL function test(integer) line 10 at SQL statement
test
-----

(1 row)
```

4.6.6 Messages d'erreurs : RAISE - 1



- Envoyer une trace dans les journaux applicatifs et/ou vers le client
 - `RAISE niveau message`
- Niveau correspond au niveau d'importance du message
 - `DEBUG`, `LOG`, `INFO`, `NOTICE`, `WARNING`, `EXCEPTION`
- Message est la trace à enregistrer
- Message dynamique... tout signe `%` est remplacé par la valeur indiquée après le message
- Champs `DETAIL` et `HINT` disponibles

Il convient de noter qu'un message envoyé de cette manière ne fera pas partie de l'éventuel résultat d'une fonction, et ne sera donc pas exploitable en SQL. Pour cela, il faut utiliser l'instruction `RETURN` avec un type de retour approprié.

Le traitement des messages de ce type et leur destination d'envoi sont contrôlés par le serveur à l'aide des paramètres `log_min_messages` et `client_min_messages`.

4.6.7 Messages d'erreurs : RAISE - 2



Exemples :

```
RAISE WARNING 'valeur % interdite', valeur;

RAISE WARNING 'valeur % ambiguë',
valeur
USING HINT = 'Contrôlez la valeur saisie en amont';
```

Les autres niveaux pour `RAISE` ne sont que des messages, sans déclenchement d'exception.

4.6.8 Messages d'erreurs : configuration des logs



- Deux paramètres importants pour les traces
 - `log_min_messages`
 - niveau minimum pour que la trace soit enregistrée dans les journaux
 - `client_min_messages`
 - niveau minimum pour que la trace soit envoyée au client
- Dans le cas d'un `RAISE NOTICE message`, il faut avoir soit `log_min_messages`, soit `client_min_messages`, soit les deux à la valeur `NOTICE` au minimum.

4.6.9 Messages d'erreurs : RAISE EXCEPTION - 1



- Annule le bloc en cours d'exécution
 - `RAISE EXCEPTION message`
- Sauf en cas de présence d'un bloc `EXCEPTION` gérant la condition `RAISE_EXCEPTION`
- message est la trace à enregistrer, et est dynamique... tout signe % est remplacé par la valeur indiquée après le message

4.6.10 Messages d'erreurs : RAISE EXCEPTION - 2



Exemple :

```
RAISE EXCEPTION 'erreur interne';
-- La chose à ne pas faire !
```

Le rôle d'une exception est d'intercepter une erreur pour exécuter un traitement permettant soit de corriger l'erreur, soit de remonter une erreur pertinente. Intercepter un problème pour retourner « erreur interne » n'est pas une bonne idée.

4.6.11 Flux des erreurs dans du code PL



- Les exceptions non traitées «remontent»
 - de bloc `BEGIN / END` imbriqués vers les blocs parents (fonctions appelantes comprises)
 - jusqu'à ce que personne ne puisse les traiter
 - voir note pour démonstration

Démonstration en plusieurs étapes :

```
# CREATE TABLE ma_table (
  id integer unique
);
CREATE TABLE

# CREATE OR REPLACE FUNCTION public.demo_exception()
  RETURNS void
  LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
BEGIN
```



```

INSERT INTO ma_table VALUES (1);
-- Va déclencher une erreur de violation de contrainte d'unicité
INSERT INTO ma_table VALUES (1);
END
$function$;
CREATE FUNCTION

# SELECT demo_exception();
ERROR:  duplicate key value violates unique constraint "ma_table_id_key"
DETAIL:  Key (id)=(1) already exists.
CONTEXT:  SQL statement "INSERT INTO ma_table VALUES (1)"
PL/pgSQL function demo_exception() line 6 at SQL statement

```

Une exception a été remontée avec un message explicite.

```

# SELECT * FROM ma_table ;
a
(0 row)

```

La fonction a bien été annulée.

4.6.12 Flux des erreurs dans du code PL - 2



- Les erreurs remontent
- Cette fois-ci, on rajoute un bloc PL pour intercepter l'erreur

```

# CREATE OR REPLACE FUNCTION public.demo_exception()
  RETURNS void
  LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
BEGIN
  INSERT INTO ma_table VALUES (1);
  -- Va déclencher une erreur de violation de contrainte d'unicité
  INSERT INTO ma_table VALUES (1);
EXCEPTION WHEN unique_violation THEN
  RAISE NOTICE 'violation d'unicite, mais celle-ci n'est pas grave';
  RAISE NOTICE 'erreur: %',sqlerrm;
END
$function$;
CREATE FUNCTION

# SELECT demo_exception();
NOTICE:  violation d'unicite, mais celle-ci n'est pas grave
NOTICE:  erreur: duplicate key value violates unique constraint "ma_table_id_key"
demo_exception
-----
(1 row)

```

L'erreur est bien devenue un message de niveau `NOTICE`.

```
# SELECT * FROM ma_table ;
a
(0 row)
```

La table n'en reste pas moins vide pour autant puisque le bloc a été annulé.

4.6.13 Flux des erreurs dans du code PL - 3



— Cette fois-ci, on rajoute un bloc PL indépendant pour gérer le second `INSERT`

Voici une nouvelle version de la fonction :

```
# CREATE OR REPLACE FUNCTION public.demo_exception()
  RETURNS void
  LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
BEGIN
  INSERT INTO ma_table VALUES (1);
  -- L'operation suivante pourrait échouer.
  -- Il ne faut pas perdre le travail effectué jusqu'à ici
  BEGIN
    -- Va déclencher une erreur de violation de contrainte d'unicité
    INSERT INTO ma_table VALUES (1);
    EXCEPTION WHEN unique_violation THEN
      -- Cette exception est bien celle du bloc imbriqué
      RAISE NOTICE 'violation d'unicite, mais celle-ci n'est pas grave';
      RAISE NOTICE 'erreur: %',sqlerrm;
    END; -- Fin du bloc imbriqué
  END
$function$;
CREATE FUNCTION

# SELECT demo_exception();
NOTICE: violation d'unicite, mais celle-ci n'est pas grave
NOTICE: erreur: duplicate key value violates unique constraint "ma_table_id_key"
demo_exception
-----
(1 row)
```

En apparence, le résultat est identique.

```
# SELECT * FROM ma_table ;
a
1
(1 row)
```

Mais cette fois-ci, le bloc `BEGIN` parent n'a pas eu d'exception, il s'est donc bien terminé.

4.6.14 Flux des erreurs dans du code PL - 4



- Illustrons maintenant la remontée d'erreurs
- Nous avons deux blocs imbriqués
- Une erreur non prévue va se produire dans le bloc intérieur

On commence par ajouter une contrainte sur la colonne pour empêcher les valeurs supérieures ou égales à 10 :

```
# ALTER TABLE ma_table ADD CHECK (id < 10 ) ;
ALTER TABLE
```

Puis, on recrée la fonction de façon à ce qu'elle déclenche cette erreur dans le bloc le plus bas, et la gère uniquement dans le bloc parent :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION public.demo_exception()
RETURNS void
LANGUAGE plpgsql
AS $function$
DECLARE
BEGIN
    INSERT INTO ma_table VALUES (1);
    -- L'opération suivante pourrait échouer.
    -- Il ne faut pas perdre le travail effectué jusqu'à ici
    BEGIN
        -- Va déclencher une erreur de violation de check (col < 10)
        INSERT INTO ma_table VALUES (100);
    EXCEPTION WHEN unique_violation THEN
        -- Cette exception est bien celle du bloc imbriqué
        RAISE NOTICE 'violation d'unicite, mais celle-ci n'est pas grave';
        RAISE NOTICE 'erreur: %',sqlerrm;
    END; -- Fin du bloc imbriqué
EXCEPTION WHEN check_violation THEN
    RAISE NOTICE 'violation de contrainte check';
    RAISE EXCEPTION 'mais on va remonter une exception à l'appelant, '
        'juste pour le montrer';
END
$function$;
```

Exécutons la fonction :

```
# SELECT demo_exception();
ERROR: duplicate key value violates unique constraint "ma_table_id_key"
DETAIL: Key (id)=(1) already exists.
CONTEXT: SQL statement "INSERT INTO ma_table VALUES (1)"
PL/pgSQL function demo_exception() line 4 at SQL statement
```

C'est normal, nous avons toujours l'enregistrement à 1 du test précédent. L'exception se déclenche donc dans le bloc parent, sans espoir d'interception : nous n'avons pas d'exception pour lui.

Nettoyons donc la table, pour reprendre le test :

```
# TRUNCATE ma_table ;  
TRUNCATE TABLE  
# SELECT demo_exception();  
NOTICE: violation de contrainte check  
ERREUR: mais on va remonter une exception à l'appelant, juste pour le montrer  
CONTEXT: PL/pgSQL function demo_exception() line 17 at RAISE
```

Le gestionnaire d'exception qui intercepte l'erreur est bien ici celui de l'appelant. Par ailleurs, comme nous retournons nous-même une exception, la requête ne retourne pas de résultat, mais une erreur : il n'y a plus personne pour récupérer l'exception, c'est donc PostgreSQL lui-même qui s'en charge.

4.6.15 Abus des exceptions



- Ne pas abuser des exceptions
 - les sous-transactions ne sont pas gratuites
 - Si saturation, paramètre SLRU dédié (v17)

La levée d'une exception revient à poser un `SAVEPOINT` pendant la transaction (une forme de sous-transaction).

En cas de trop nombreuses levées d'exception, un des caches dédiés en mémoire partagée (SLRU) de PostgreSQL peut saturer et poser des soucis de performance (le *wait event* `SubtransSLRU` apparaît dans `pg_stat_activity.wait_event`). Depuis PostgreSQL 17 le DBA peut monter ce cache, avec le paramètre `subtransaction_buffers`.

4.7 SÉCURITÉ

4.7.1 Sécurité : droits



- L'exécution de la routine dépend du droit `EXECUTE`
- Par défaut, ce droit est donné à la création de la routine
 - au propriétaire de la routine
 - au groupe spécial PUBLIC

4.7.2 Sécurité : ajout



- Ce droit peut être donné avec l'instruction SQL `GRANT` :

```
GRANT { EXECUTE | ALL [ PRIVILEGES ] }
ON { { FUNCTION | PROCEDURE | ROUTINE } routine_name
    [ ( [ [ argmode ] [ arg_name ] arg_type [, ...] ] ) ] [, ... ]
    | ALL { FUNCTIONS | PROCEDURES | ROUTINES } IN SCHEMA
    ↪ schema_name [, ...] }
TO role_specification [, ...] [ WITH GRANT OPTION ]
```

4.7.3 Sécurité : suppression



- Un droit peut être révoqué avec l'instruction SQL `REVOKE`

```
REVOKE [ GRANT OPTION FOR ]
{ EXECUTE | ALL [ PRIVILEGES ] }
ON { { FUNCTION | PROCEDURE | ROUTINE } function_name
    [ ( [ [ argmode ] [ arg_name ] arg_type [, ...] ] ) ] [, ... ]
    | ALL { FUNCTIONS | PROCEDURES | ROUTINES } IN SCHEMA
    ↪ schema_name [, ...] }
FROM { [ GROUP ] role_name | PUBLIC } [, ...]
[ CASCADE | RESTRICT ]
```

4.7.4 Sécurité : SECURITY INVOKER/DEFINER



- `SECURITY INVOKER`
 - la routine s'exécute avec les droits de l'utilisateur qui l'exécute
- `SECURITY DEFINER`
 - la routine s'exécute avec les droits du propriétaire
 - équivalent du `sudo` Unix
 - Impérativement sécuriser les variables d'environnement
 - et surtout `search_path`

Rappelons qu'une fonction s'exécute par défaut avec les droits d'accès de l'utilisateur qui l'exécute ; et que pour donner accès à ses données, un utilisateur peut mettre à disposition des autres des fonctions en mode `SECURITY DEFINER` qui profiteront de ses droits. Il est impératif de réinitialiser l'environnement et en particulier le `search_path` pour éviter des attaques de la part d'utilisateurs malveillants, et de restreindre au maximum l'accès à ces fonctions.

4.7.5 Sécurité : LEAKPROOF



- `LEAKPROOF`
 - indique au planificateur que la routine ne peut pas faire fuiter d'information de contexte
 - réservé aux superutilisateurs
 - si on la déclare telle, s'assurer que la routine est véritablement sûre !
 - Option utile lorsque l'on utilise des vues avec l'option `security_barrier`

Certains utilisateurs créent des vues pour filtrer des lignes, afin de restreindre la visibilité sur certaines données. Or, cela peut se révéler dangereux si un utilisateur malintentionné a la possibilité de créer une fonction car il peut facilement contourner cette sécurité si cette option n'est pas utilisée, notamment en jouant sur des paramètres de fonction comme `COST`, qui permet d'indiquer au planificateur un coût estimé pour la fonction.

En indiquant un coût extrêmement faible, le planificateur aura tendance à réécrire la requête, et à déplacer l'exécution de la fonction dans le code même de la vue, avant l'application des filtres restreignant l'accès aux données : la fonction a donc accès à tout le contenu de la table, et peut faire fuiter des données normalement inaccessibles, par exemple à travers l'utilisation de la commande `RAISE`.

L'option `security_barrier` des vues dans PostgreSQL bloque ce comportement du planificateur, mais en conséquence empêche le choix de plans d'exécutions potentiellement plus performants. Déclarer une fonction avec l'option `LEAKPROOF` permet d'indiquer à PostgreSQL que celle-ci ne peut pas

occasionner de fuite d'informations. Ainsi, le planificateur de PostgreSQL sait qu'il peut en optimiser l'exécution. Cette option n'est accessible qu'aux superutilisateurs.

4.7.6 Sécurité : visibilité des sources - 1



- Le code d'une fonction est visible par tout le monde
 - y compris ceux qui n'ont pas le droit d'exécuter la fonction
- Vous devez donc écrire un code robuste
 - pas espérer que, comme personne n'en a le code, personne ne trouvera de faille
- **Surtout pour les fonctions SECURITY DEFINER**

4.7.7 Sécurité : visibilité des sources - 2



```
# SELECT proargnames, prosrc
FROM pg_proc WHERE proname='addition';

-[ RECORD 1 ]-----
proargnames | {var1,var2}
prosrc      |
:           | DECLARE
:           |     somme ALIAS FOR $0;
:           | BEGIN
:           |     somme := var1 + var2;
:           | RETURN somme;
:           | END;
:           |
```

La méta-commande `psql \df+ public.addition` permet également d'obtenir cette information.

4.7.8 Sécurité : Injections SQL



- Les paramètres d'une routine doivent être considérés comme hostiles :
 - ils contiennent des données non validées (qui appelle la routine?)
 - ils peuvent, si l'utilisateur est imaginatif, être utilisés pour exécuter du code
- Utiliser `quote_ident`, `quote_literal` et `quote_nullable`
- Utiliser aussi `format`

Voici un exemple simple :

```
CREATE TABLE ma_table_secrete1 (b integer, a integer);
INSERT INTO ma_table_secrete1 SELECT i,i from generate_series(1,20) i;

CREATE OR REPLACE FUNCTION demo_injection ( param1 text, value1 text )
  RETURNS SETOF ma_table_secrete1
  LANGUAGE plpgsql
  SECURITY DEFINER
AS $function$
-- Cette fonction prend un nom de colonne variable
-- et l'utilise dans une clause WHERE
-- Il faut donc une requête dynamique
-- Par contre, mon utilisateur 'normal' qui appelle
-- n'a droit qu'aux enregistrements où a<10
DECLARE
  ma_requete text;
  ma_ligne record;
BEGIN
  ma_requete := 'SELECT * FROM ma_table_secrete1 WHERE ' || param1 || ' = ' ||
    value1 || ' AND a < 10';
  RETURN QUERY EXECUTE ma_requete;
END
$function$;

# SELECT * from demo_injection ('b','2');
 a | b
---+---
 2 | 2
(1 row)

# SELECT * from demo_injection ('a','20');
 a | b
---+---
(0 row)
```

Tout va bien, elle effectue ce qui est demandé.

Par contre, elle effectue aussi ce qui n'est pas prévu :

```
# SELECT * from demo_injection ('1=1 --','');
 a | b
---+---
 1 | 1
 2 | 2
 3 | 3
 4 | 4
 5 | 5
 6 | 6
 7 | 7
 8 | 8
 9 | 9
10 | 10
11 | 11
12 | 12
13 | 13
14 | 14
15 | 15
```



```
16 | 16
17 | 17
18 | 18
19 | 19
20 | 20
(20 lignes)
```

Cet exemple est évidemment simplifié.

Une règle demeure : ne jamais faire confiance aux paramètres d'une fonction. Au minimum, un `quote_ident` pour param1 et un `quote_literal` pour val1 étaient obligatoires, pour se protéger de ce genre de problèmes.

4.8 OPTIMISATION

4.8.1 Fonctions immutables, stables ou volatiles - 1



- Par défaut, PostgreSQL considère que les fonctions sont `VOLATILE`
- `volatile` : fonction dont l'exécution ne peut ni ne doit être évitée

Les fonctions de ce type sont susceptibles de renvoyer un résultat différent à chaque appel, comme par exemple `random()` ou `setval()`.

Toute fonction ayant des effets de bords doit être qualifiée `volatile` dans le but d'éviter que PostgreSQL utilise un résultat intermédiaire déjà calculé et évite ainsi d'exécuter le code de la fonction.

À noter qu'il est possible de « forcer » le pré-calcul du résultat d'une fonction volatile dans une requête SQL en utilisant une sous-requête. Par exemple, dans l'exemple suivant, `random()` est exécutée pour chaque ligne de la table `ma_table`, et renverra donc une valeur différente par ligne :

```
SELECT random() FROM ma_table;
```

Par contre, en utilisant une sous-requête, l'optimiseur va pré-calculer le résultat de `random()` ... l'exécution sera donc plus rapide, mais le résultat différent, puisque la même valeur sera affichée pour toutes les lignes !

```
SELECT ( SELECT random() ) FROM ma_table;
```

4.8.2 Fonctions immutables, stables ou volatiles - 2



- `immutable` : fonctions déterministes, dont le résultat peut être précalculé avant de planifier la requête.

Certaines fonctions que l'on écrit sont déterministes. C'est-à-dire qu'à paramètre(s) identique(s), le résultat est identique.

Le résultat de telles fonctions est alors remplaçable par son résultat avant même de commencer à planifier la requête.

Voici un exemple qui utilise cette particularité :

```
create function factorielle (a integer) returns bigint as
$$
declare
    result bigint;
begin
```

```
    if a=1 then
        return 1;
    else
        return a*(factorielle(a-1));
    end if;
end;
$$
language plpgsql immutable;

# CREATE TABLE test (a bigint UNIQUE);
CREATE TABLE
# INSERT INTO test SELECT generate_series(1,1000000);
INSERT 0 1000000
# ANALYZE test;
# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test WHERE a < factorielle(12);
          QUERY PLAN
-----
Seq Scan on test  (cost=0.00..16925.00 rows=1000000 width=8)
      (actual time=0.032..130.921 rows=1000000 loops=1)
    Filter: (a < '479001600'::bigint)
 Planning time: 896.039 ms
 Execution time: 169.954 ms
(4 rows)
```

La fonction est exécutée une fois, remplacée par sa constante, et la requête est ensuite planifiée.

Si on déclare la fonction comme stable :

```
# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test WHERE a < factorielle(12);
          QUERY PLAN
-----
Index Only Scan using test_a_key on test
  (cost=0.68..28480.67 rows=1000000 width=8)
    (actual time=0.137..115.592 rows=1000000 loops=1)
  Index Cond: (a < factorielle(12))
 Heap Fetches: 0
 Planning time: 4.682 ms
 Execution time: 153.762 ms
(5 rows)
```

La requête est planifiée sans connaître `factorielle(12)`, donc avec une hypothèse très approximative sur la cardinalité. `factorielle(12)` est calculé, et la requête est exécutée. Grâce au `Index Only Scan`, le requête s'effectue rapidement.

Si on déclare la fonction comme volatile :

```
# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test WHERE a < factorielle(12);
          QUERY PLAN
-----
Seq Scan on test  (cost=0.00..266925.00 rows=333333 width=8)
      (actual time=1.005..57519.702 rows=1000000 loops=1)
    Filter: (a < factorielle(12))
 Planning time: 0.388 ms
 Execution time: 57573.508 ms
(4 rows)
```

La requête est planifiée, et `factorielle(12)` est calculé pour chaque enregistrement de la table, car on ne sait pas si elle retourne toujours le même résultat.

4.8.3 Fonctions immutables, stables ou volatiles - 3



— `stable` : fonction ayant un comportement **stable** au sein d'un même ordre SQL.

Ces fonctions retournent la même valeur pour la même requête SQL, mais peuvent retourner une valeur différente dans la prochaine instruction.

Il s'agit typiquement de fonctions dont le traitement dépend d'autres valeurs dans la base de données, ou bien de réglages de configuration. Les fonctions comme `to_char()`, `to_date()` sont `STABLE` et non `IMMUTABLE` car des paramètres de configuration (*locale* utilisée pour `to_char()`, *timezone* pour les fonctions temporelles, etc.) pourraient influencer sur le résultat.

À noter au passage que les fonctions de la famille de `current_timestamp` (et donc le fréquemment utilisé `now()`) renvoient de plus une valeur constante au sein d'une même transaction.

PostgreSQL refusera de déclarer comme `STABLE` toute fonction modifiant des données : elle ne peut pas être stable si elle modifie la base.

4.8.4 Optimisation : rigueur



— Fonction `STRICT`

— La fonction renvoie `NULL` si au moins un des arguments est `NULL`

Les fonctions définies comme `STRICT` ou `RETURNS NULL ON NULL INPUT` annule l'exécution de la requête si l'un des paramètres passés est `NULL`. Dans ce cas, la fonction est considérée comme ayant renvoyé `NULL`.

Si l'on reprend l'exemple de la fonction `factorielle()` :

```
create or replace function factorielle (a integer) returns bigint as
$$
declare
    result bigint;
begin
    if a=1 then
        return 1;
    else
        return a*(factorielle(a-1));
    end if;
end;
```

```
end;
$$
language plpgsql immutable STRICT;
```

on obtient le résultat suivant si elle est exécutée avec la valeur `NULL` passée en paramètre :

```
# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test WHERE a < factorielle(NULL);
QUERY PLAN

-----
Result  (cost=0.00..0.00 rows=0 width=8)
        (actual time=0.002..0.002 rows=0 loops=1)
  One-Time Filter: false
Planning time: 0.100 ms
Execution time: 0.039 ms
(4 rows)
```

4.8.5 Optimisation : EXCEPTION



- Un bloc contenant une clause `EXCEPTION` est plus coûteuse en entrée/sortie qu'un bloc sans
- un `SAVEPOINT` est créé à chaque fois pour pouvoir annuler le bloc uniquement.
- À utiliser avec parcimonie
- Un bloc `BEGIN` imbriqué a un coût aussi
 - un `SAVEPOINT` est créé à chaque fois.

4.8.6 Requête statique ou dynamique ?



- Les requêtes statiques :
 - sont écrites « en dur » dans le code PL/pgSQL
 - donc pas d'`EXECUTE` ou `PERFORM`
 - sont préparées une fois par session, à leur première exécution
 - peuvent avoir un plan générique lorsque c'est jugé utile par le planificateur

Avant la version 9.2, un plan générique (indépendant des paramètres de l'ordre SQL) était systématiquement généré et utilisé. Ce système permet de gagner du temps d'exécution si la requête est réutilisée plusieurs fois, et qu'elle est coûteuse à planifier.

Toutefois, un plan générique n'est pas forcément idéal dans toutes les situations, et peut conduire à des mauvaises performances.

Par exemple :

```
SELECT * FROM ma_table WHERE col_pk = param_function ;
```

est un excellent candidat à être écrit statiquement : le plan sera toujours le même : on attaque l'index de la clé primaire pour trouver l'enregistrement.

```
SELECT * FROM ma_table WHERE col_timestamp > param_function ;
```

est un moins bon candidat : le plan, idéalement, dépend de param_function : on ne parcourt pas la même fraction de la table suivant la valeur de param_function.

Par défaut, un plan générique ne sera utilisé dès la première exécution d'une requête statique que si celle-ci ne dépend d'aucun paramètre. Dans le cas contraire, cela ne se produira qu'au bout de plusieurs exécutions de la requête, et seulement si le planificateur détermine que les plans spécifiques utilisés n'apportent pas d'avantage par rapport au plan générique.

4.8.7 Requête statique ou dynamique ? - 2



- Les requêtes dynamiques :
 - sont écrites avec un `EXECUTE`, `PERFORM` ...
 - sont préparées à chaque exécution
 - ont un plan optimisé
 - sont donc plus coûteuses en planification
 - mais potentiellement plus rapides à l'exécution

L'écriture d'une requête dynamique est par contre un peu plus pénible, puisqu'il faut fabriquer un ordre SQL, puis le passer en paramètre à `EXECUTE`, avec tous les quote_* que cela implique pour en protéger les paramètres.

Pour se faciliter la vie, on peut utiliser `EXECUTE query USING param1, param2 ...`, qui est même quelquefois plus lisible que la syntaxe en dur : les paramètres de la requête sont clairement identifiés dans cette syntaxe.

Par contre, la syntaxe `USING` n'est utilisable que si le nombre de paramètres est fixe.

4.8.8 Requête statique ou dynamique ? -3



- Alors, statique ou dynamique ?
- Si la requête est simple : statique
 - peu de `WHERE`
 - peu ou pas de jointure
- Sinon dynamique

La limite est difficile à placer, il s'agit de faire un compromis entre le temps de planification d'une

requête (quelques dizaines de microsecondes pour une requête basique à potentiellement plusieurs secondes si on dépasse la dizaine de jointures) et le temps d'exécution.

Dans le doute, réalisez un test de performance de la fonction sur un jeu de données représentatif.

4.9 OUTILS



- Deux outils disponibles
 - un debugger
 - un pseudo-profiler

Tous les outils d'administration PostgreSQL permettent d'écrire des routines stockées en PL/pgSQL, la plupart avec les fonctionnalités habituelles (comme le surlignage des mots clés, l'indentation automatique, etc.).

Par contre, pour aller plus loin, l'offre est restreinte. Il existe tout de même un debugger qui fonctionne avec pgAdmin 4, sous la forme d'une extension.

4.9.1 pldebugger



- License Artistic 2.0
- Développé par EDB et intégrable dans pgAdmin
- Installé par défaut avec le one-click installer
 - mais non activé
- Compilation nécessaire pour les autres systèmes

pldebugger est un outil initialement créé par Dave Page et Korrry Douglas au sein d'EnterpriseDB, repris par la communauté. Il est proposé sous license libre (Artistic 2.0).

Il fonctionne grâce à des hooks implémentés dans la version 8.2 de PostgreSQL.

Il est assez peu connu, ce qui explique que peu l'utilisent. Seul l'outil d'installation « one-click installer » l'installe par défaut. Pour tous les autres systèmes, cela réclame une compilation supplémentaire. Cette compilation est d'ailleurs peu aisée étant donné qu'il n'utilise pas le système pgxs.

4.9.2 pldebugger - Compilation



- Récupérer le source avec git
- Copier le répertoire dans le répertoire contrib des sources de PostgreSQL
- Et les suivre étapes standards
 - make
 - make install

Voici les étapes à réaliser pour compiler pldebugger en prenant pour hypothèse que les sources de PostgreSQL sont disponibles dans le répertoire `/usr/src/postgresql-10` et qu'ils ont été préconfigurés avec la commande `./configure` :

- Se placer dans le répertoire contrib des sources de PostgreSQL :

```
$ cd /usr/src/postgresql-10/contrib
```

- Cloner le dépôt git :

```
$ git clone git://git.postgresql.org/git/pldebugger.git
Cloning into 'pldebugger'...
remote: Counting objects: 441, done.
remote: Compressing objects: 100% (337/337), done.
remote: Total 441 (delta 282), reused 171 (delta 104)
Receiving objects: 100% (441/441), 170.24 KiB, done.
Resolving deltas: 100% (282/282), done.
```

- Se placer dans le nouveau répertoire `pldebugger` :

```
$ cd pldebugger
```

- Compiler pldebugger :

```
$ make
```

- Installer pldebugger :

```
# make install
```

L'installation copie le fichier `plugin_debugger.so` dans le répertoire des bibliothèques partagées de PostgreSQL. L'installation copie ensuite les fichiers SQL et de contrôle de l'extension `pldbgapi` dans le répertoire `extension` du répertoire `share` de PostgreSQL.

4.9.3 pldebugger - Activation



- Configurer `shared_preload_libraries`
 - `shared_preload_libraries = 'plugin_debugger'`
- Redémarrer PostgreSQL
- Installer l'extension `pldbgapi` :

```
CREATE EXTENSION pldbapi;
```

La configuration du paramètre `shared_preload_libraries` permet au démarrage de PostgreSQL de laisser la bibliothèque `plugin_debugger` s'accrocher aux hooks de l'interpréteur PL/pgSQL. Du coup, pour que la modification de ce paramètre soit prise en compte, il faut redémarrer PostgreSQL.

L'interaction avec pldebugger se fait par l'intermédiaire de procédures stockées. Il faut donc au préalable créer ces procédures stockées dans la base contenant les procédures PL/pgSQL à débbuguer. Cela se fait en créant l'extension :

```
$ psql
psql (13.0)
Type "help" for help.

postgres# create extension pldbgapi;
CREATE EXTENSION
```

4.9.4 auto_explain



- Mise en place globale (traces) :
 - `shared_preload_libraries='auto_explain'` si global
 - `ALTER DATABASE erp SET auto_explain.log_min_duration = '3s'`
- Ou par session :
 - `LOAD 'auto_explain'`
 - `SET auto_explain.log_analyze TO true;`
 - `SET auto_explain.log_nested_statements TO true;`

`auto_explain` est une « contrib » officielle de PostgreSQL (et non une extension). Il permet de tracer le plan d'une requête. En général, on ne trace ainsi que les requêtes dont la durée d'exécution dépasse la durée configurée avec le paramètre `auto_explain.log_min_duration`. Par défaut, ce paramètre est à -1 pour ne tracer aucun plan.

Comme dans un `EXPLAIN` classique, on peut activer toutes les options (par exemple `ANALYZE` ou `TIMING` avec, respectivement `SET auto_explain.log_analyze TO true;` et `SET auto_explain.log_timing TO true;` mais l'impact en performance peut être important même pour les requêtes qui ne seront pas tracées.

D'autres options existent, qui reprennent les paramètres habituels d'`EXPLAIN`, notamment `auto_explain.log_buffering` et `auto_explain.log_settings` (voir la documentation⁴).

L'exemple suivant utilise deux fonctions imbriquées mais cela marche pour une simple requête :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION table_nb_indexes (tablename IN text, nbi OUT int)
RETURNS int
LANGUAGE plpgsql
AS $$
BEGIN
    SELECT COUNT(*) INTO nbi
    FROM pg_index i INNER JOIN pg_class c ON (c.oid=indrelid)
    WHERE relname LIKE tablename ;
    RETURN ;
END;
```

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/auto-explain.html>

```

END ;
$$
;
CREATE OR REPLACE FUNCTION table_nb_col_indexes
(tabname IN text, nb_cols OUT int, nb_indexes OUT int)
RETURNS record
LANGUAGE plpgsql
AS $$
BEGIN
    SELECT COUNT(*) INTO nb_cols
    FROM pg_attribute
    WHERE attname LIKE tabname ;

    SELECT nbi INTO nb_indexes FROM table_nb_indexes (tabname) ;

    RETURN ;
END ;
$$
;

```

Chargement dans la session d'`auto_explain` (si pas déjà présent dans `shared_preload_libraries`):

```
LOAD 'auto_explain' ;
```

Activation pour toutes les requêtes, avec les options `ANALYZE` et `BUFFERS`, puis affichage dans la console (si la sortie dans les traces ne suffit pas) :

```

SET auto_explain.log_min_duration TO 0 ;
SET auto_explain.log_analyze TO on ;
SET auto_explain.log_buffers TO on ;
SET client_min_messages TO log ;

```

Test de la première fonction : le plan s'affiche, mais les compteurs (ici juste *shared hit*), ne concernent que la fonction dans son ensemble.

```
postgres=# SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg_class') ;
```

```

LOG:  duration: 2.208 ms  plan:
Query Text: SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg_class') ;
Function Scan on table_nb_col_indexes  (cost=0.25..0.26 rows=1 width=8)
      (actual time=2.203..2.203 rows=1 loops=1)

  Buffers: shared hit=294

```

nb_cols	nb_indexes
0	3

En activant `auto_explain.log_nested_statements`, on voit clairement les plans de chaque requête exécutée :

```
SET auto_explain.log_nested_statements TO on ;
```

```
postgres=# SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg_class') ;
```

```

LOG:  duration: 0.235 ms  plan:
Query Text: SELECT  COUNT(*)                                FROM      pg_attribute

```

```

WHERE   attname LIKE tabname
Aggregate (cost=65.95..65.96 rows=1 width=8)
  (actual time=0.234..0.234 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=24
  -> Index Only Scan using pg_attribute_relid_attnam_index on pg_attribute
        (cost=0.28..65.94 rows=1 width=0)
        (actual time=0.233..0.233 rows=0 loops=1)
        Index Cond: ((attname >= 'pg'::text) AND (attname < 'ph'::text))
        Filter: (attname ~~ 'pg_class'::text)
        Heap Fetches: 0
        Buffers: shared hit=24

```

```

LOG:  duration: 0.102 ms  plan:
Query Text: SELECT COUNT(*) FROM pg_index i
  INNER JOIN pg_class c ON (c.oid=indrelid)
  WHERE relname LIKE tabname
Aggregate (cost=24.48..24.49 rows=1 width=8)
  (actual time=0.100..0.100 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=18
  -> Nested Loop (cost=0.14..24.47 rows=1 width=0)
        (actual time=0.096..0.099 rows=3 loops=1)
        Buffers: shared hit=18
        -> Seq Scan on pg_class c (cost=0.00..23.30 rows=1 width=4)
              (actual time=0.091..0.093 rows=1 loops=1)
              Filter: (relname ~~ 'pg_class'::text)
              Rows Removed by Filter: 580
              Buffers: shared hit=16
        -> Index Only Scan using pg_index_indrelid_index on pg_index i
              (cost=0.14..1.16 rows=1 width=4)
              (actual time=0.003..0.004 rows=3 loops=1)
              Index Cond: (indrelid = c.oid)
              Heap Fetches: 0
              Buffers: shared hit=2

```

```

LOG:  duration: 0.703 ms  plan:
Query Text: SELECT nbi FROM table_nb_indexes (tabname)
Function Scan on table_nb_indexes (cost=0.25..0.26 rows=1 width=4)
  (actual time=0.702..0.702 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=26

```

```

LOG:  duration: 1.524 ms  plan:
Query Text: SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg_class') ;
Function Scan on table_nb_col_indexes (cost=0.25..0.26 rows=1 width=8)
  (actual time=1.520..1.520 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=59

```

```

nb_cols | nb_indexes
-----+-----
0 | 3

```

Cet exemple permet de mettre le doigt sur un petit problème de performance dans la fonction : le `_` est interprété comme critère de recherche. En modifiant le paramètre on peut constater le changement de plan au niveau des index :

```
postgres=# SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg\_class') ;
```

```
LOG:  duration: 0.141 ms  plan:
```

```

Query Text: SELECT COUNT(*)                                FROM    pg_attribute
            WHERE    attname LIKE tabname
Aggregate  (cost=56.28..56.29 rows=1 width=8)
            (actual time=0.140..0.140 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=24
  -> Index Only Scan using pg_attribute_relid_attnam_index on pg_attribute
        (cost=0.28..56.28 rows=1 width=0)
        (actual time=0.138..0.138 rows=0 loops=1)
    Index Cond: (attname = 'pg_class'::text)
    Filter: (attname ~~ 'pg\class'::text)
    Heap Fetches: 0
    Buffers: shared hit=24

LOG:  duration: 0.026 ms  plan:
Query Text: SELECT COUNT(*)                                FROM    pg_index i
            INNER JOIN pg_class c ON (c.oid=indrelid)
            WHERE    relname LIKE tabname
Aggregate  (cost=3.47..3.48 rows=1 width=8) (actual time=0.024..0.024 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=8
  -> Nested Loop (cost=0.42..3.47 rows=1 width=0) (...)
        Buffers: shared hit=8
        -> Index Scan using pg_class_relname_nsp_index on pg_class c
              (cost=0.28..2.29 rows=1 width=4)
              (actual time=0.017..0.018 rows=1 loops=1)
            Index Cond: (relname = 'pg_class'::text)
            Filter: (relname ~~ 'pg\class'::text)
            Buffers: shared hit=6
        -> Index Only Scan using pg_index_indrelid_index on pg_index i  (...)
            Index Cond: (indrelid = c.oid)
            Heap Fetches: 0
            Buffers: shared hit=2

LOG:  duration: 0.414 ms  plan:
Query Text: SELECT nbi                                FROM table_nb_indexes (tablename)
Function Scan on table_nb_indexes  (cost=0.25..0.26 rows=1 width=4)
            (actual time=0.412..0.412 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=16

LOG:  duration: 1.046 ms  plan:
Query Text: SELECT * FROM table_nb_col_indexes ('pg\class') ;
Function Scan on table_nb_col_indexes  (cost=0.25..0.26 rows=1 width=8)
            (actual time=1.042..1.043 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=56

nb_cols | nb_indexes
-----+-----
0 |          3

```

Pour les procédures, il est possible de mettre en place cette trace avec `ALTER PROCEDURE ... SET auto_explain.log_n`. Cela ne fonctionne pas pour les fonctions.

pgBadger est capable de lire les plans tracés par `auto_explain`, de les intégrer à son rapport et d'inclure un lien vers [depesz.com](https://explain.depesz.com)⁵ pour une version plus lisible.

⁵<https://explain.depesz.com/>

4.9.5 pldebugger - Utilisation



— Via pgAdmin

Le menu contextuel pour accéder au débogage d'une fonction :

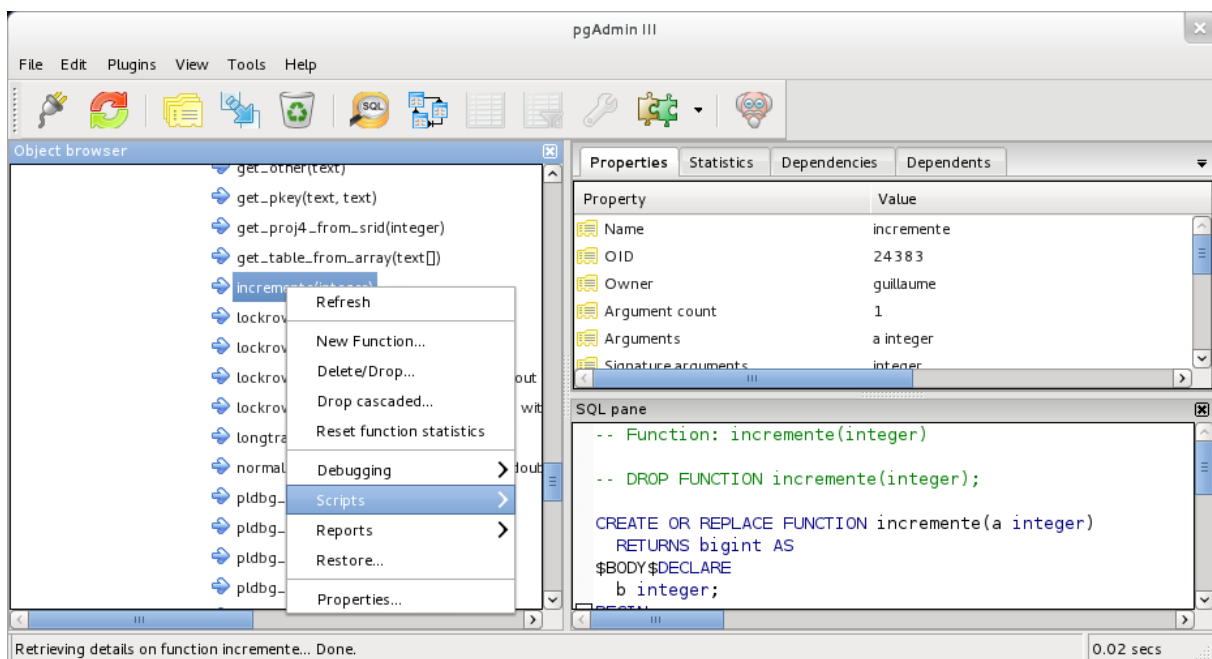


FIGURE 4/ .1 – Accéder au débogage d'une fonction

La fenêtre du debugger :

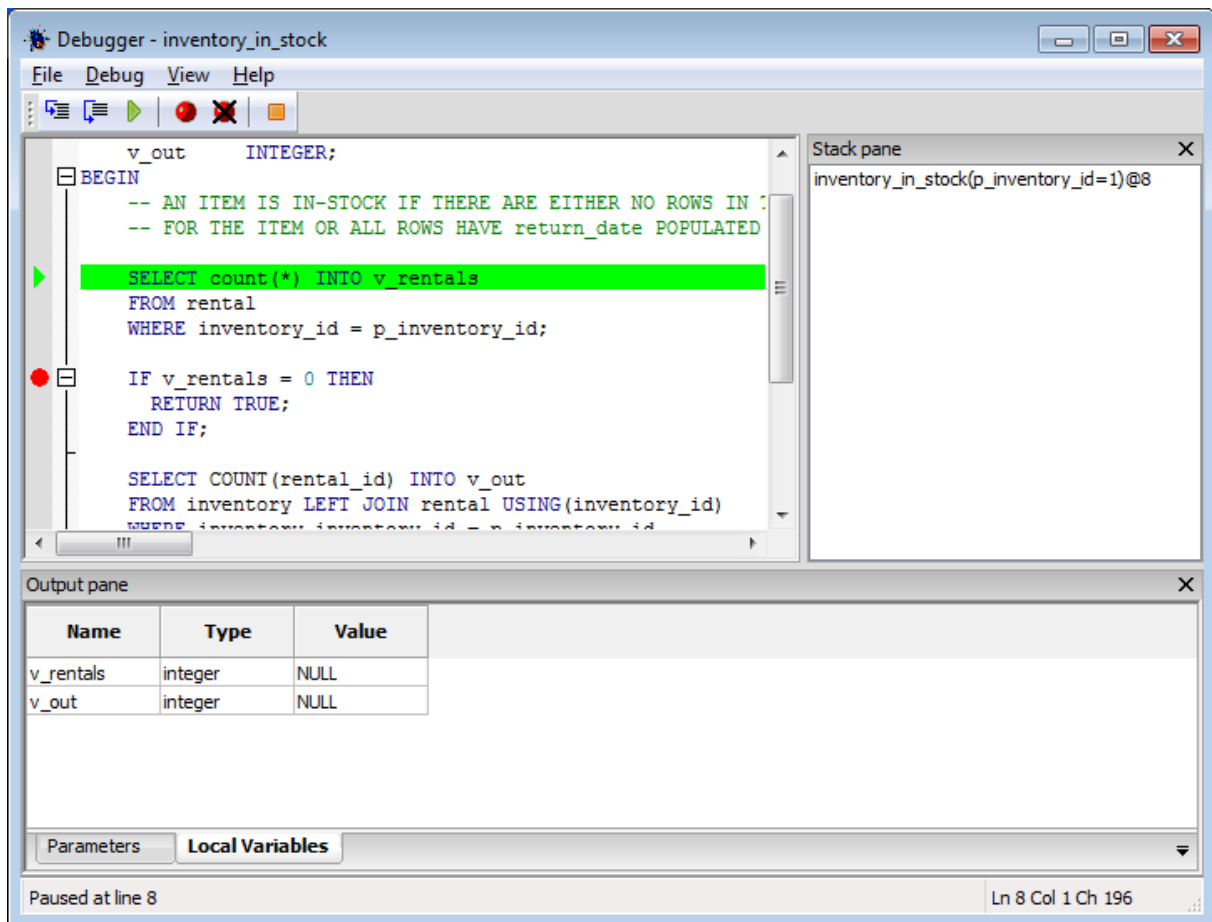


FIGURE 4/ .2 – Fenêtre du debugger

4.9.6 log_functions



- Créé par Dalibo
- License BSD
- Compilation nécessaire

`log_functions` est un outil créé par Guillaume Lelarge au sein de Dalibo. Il est proposé sous license libre (BSD).

4.9.7 log_functions - Compilation



- Récupérer l'archive sur PGXN.org
- Décompresser l'archive puis : `make USE_PGXS=1 && make USE_PGXS=1 install`

Voici les étapes à réaliser pour compiler log_functions en prenant pour hypothèse que les sources de PostgreSQL sont disponibles dans le répertoire `/home/guillaume/postgresql-9.1.4` et qu'ils ont été préconfigurés avec la commande `./configure` :

- Se placer dans le répertoire contrib des sources de PostgreSQL :

```
$ cd /home/guillaume/postgresql-9.1.4/contrib
```

- Récupérer le dépôt git de log_functions :

```
$ git://github.com/gleu/log_functions.git
```

```
Cloning into 'log_functions'...
remote: Counting objects: 24, done.
remote: Compressing objects: 100% (15/15), done.
remote: Total 24 (delta 8), reused 24 (delta 8)
Receiving objects: 100% (24/24), 11.71 KiB, done.
Resolving deltas: 100% (8/8), done.
```

- Se placer dans le nouveau répertoire `log_functions` :

```
$ cd log_functions
```

- Compiler log_functions :

```
$ make
```

- Installer log_functions :

```
$ make install
```

L'installation copie le fichier `log_functions.o` dans le répertoire des bibliothèques partagées de PostgreSQL.

Si la version de PostgreSQL est supérieure ou égale à la 9.2, alors l'installation est plus simple et les sources de PostgreSQL ne sont plus nécessaires.

Téléchargement de log_functions :

```
wget http://api.pgx.org/dist/log_functions/1.0.0/log_functions-1.0.0.zip
```

puis décompression et installation de l'extension :

```
unzip log_functions-1.0.0.zip
cd log_functions-1.0.0/
make USE_PGXS=1 && make USE_PGXS=1 install
```

L'installation copie aussi le fichier `log_functions.so` dans le répertoire des bibliothèques partagées de PostgreSQL.

4.9.8 log_functions - Activation



- Permanente
 - `shared_preload_libraries = 'log_functions'`
- Redémarrage de PostgreSQL
- Au cas par cas
 - `LOAD 'log_functions'`

Le module `log_functions` est activable de deux façons.

La première consiste à demander à PostgreSQL de le charger au démarrage. Pour cela, il faut configurer la variable `shared_preload_libraries`, puis redémarrer PostgreSQL pour que le changement soit pris en compte.

La deuxième manière de l'activer est de l'activer seulement au moment où son utilisation s'avère nécessaire. Il faut utiliser pour cela la commande `LOAD` en précisant le module à charger.

La première méthode a un coût en terme de performances car le module s'exécute à chaque exécution d'une procédure stockée écrite en PL/pgSQL. La deuxième méthode rend l'utilisation du profiler un peu plus complexe. Le choix est donc laissé à l'administrateur.

4.9.9 log_functions - Configuration



- 5 paramètres en tout
- À configurer
 - dans `Postgresql.conf`
 - ou avec `SET`

Les informations de profilage récupérées par `log_functions` sont envoyées dans les traces de PostgreSQL. Comme cela va générer plus d'écriture, et donc plus de lenteurs, il est possible de configurer chaque trace.

La configuration se fait soit dans le fichier `postgresql.conf` soit avec l'instruction `SET`.

Voici la liste des paramètres et leur utilité :

- `log_functions.log_declare`, à mettre à true pour tracer le moment où PL/pgSQL exécute la partie `DECLARE` d'une procédure stockée;
- `log_functions.log_function_begin`, à mettre à true pour tracer le moment où PL/pgSQL exécute la partie `BEGIN` d'une procédure stockée;
- `log_functions.log_function_end`, à mettre à true pour tracer le moment où PL/pgSQL exécute la partie `END` d'une procédure stockée;

- `log_functions.log_statement_begin`, à mettre à true pour tracer le moment où PL/pgSQL commence l'exécution d'une instruction dans une procédure stockée;
- `log_functions.log_statement_end`, à mettre à true pour tracer le moment où PL/pgSQL termine l'exécution d'une instruction dans une procédure stockée.

Par défaut, seuls `log_statement_begin` et `log_statement_end` sont à false pour éviter la génération de traces trop importantes.

4.9.10 log_functions - Utilisation



- Exécuter des procédures stockées en PL/pgSQL
- Lire les journaux applicatifs
- `grep` très utile

Voici un exemple d'utilisation de cet outil :

```
b2# SELECT incremente(4);
incremente
-----
          5
(1 row)

b2# LOAD 'log_functions';
LOAD
b2# SET client_min_messages TO log;
LOG: duration: 0.136 ms statement: set client_min_messages to log;
SET
b2# SELECT incremente(4);
LOG: log_functions, DECLARE, incremente
LOG: log_functions, BEGIN, incremente
CONTEXT: PL/pgSQL function "incremente" during function entry
LOG: valeur de b : 5
LOG: log_functions, END, incremente
CONTEXT: PL/pgSQL function "incremente" during function exit
LOG: duration: 118.332 ms statement: select incremente(4);
incremente
-----
          5
(1 row)
```

4.10 CONCLUSION



- PL/pgSQL est un langage puissant
- Seul inconvénient
 - sa lenteur par rapport à d'autres PL comme PL/perl ou C
 - PL/perl est très efficace pour les traitements de chaîne notamment
- Permet néanmoins de traiter la plupart des cas, de façon simple et efficace

4.10.1 Pour aller plus loin



- Documentation officielle
 - « Chapitre 40. PL/pgSQL - Langage de procédures SQL »

Quelques liens utiles dans la documentation de PostgreSQL :

- Chapitre 40. PL/pgSQL - Langage de procédures SQL ⁶
- Annexe A. Codes d'erreurs de PostgreSQL ⁷

4.10.2 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/plpgsql.html>

⁷<https://docs.postgresql.fr/current/errcodes-appendix.html>

4.11 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/p2_solutions.

4.11.1 Exceptions

Ré-écrire la fonction suivante pour intercepter une division par zéro (utiliser l'exception `DIVISION_BY_ZERO`), afficher un message et renvoyer `Nan`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division (arg1 integer, arg2 integer)
RETURNS float
AS $BODY$
BEGIN
    RETURN arg1::float / arg2::float;
END
$BODY$ LANGUAGE plpgsql;
```

4.11.2 Triggers

Créer la table suivante :

```
CREATE TABLE stock (
    article_id integer PRIMARY KEY,
    dateheure timestampz DEFAULT now(),
    stock integer NOT NULL DEFAULT 0 );
```

Créer une table `log_stock` comme ci-dessous pour tracer toutes les modifications du champ `nombre` dans `stock`, avec l'ancienne et la nouvelle valeur, l'article, l'année, le moment, et qui a fait la modification (variable `session_user`). Créer un trigger `AFTER` par ligne, et sa fonction associée pour tracer cela. Insérer quelques lignes, les mettre à jour, en supprimer une.

```
CREATE TABLE log_stock (
    id int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
    utilisateur text,
    dateheure timestampz,
    article_id integer,
    ancien_stock integer,
    nouveau_stock integer);
```

Dans un autre trigger `BEFORE DELETE` par ligne, interdire la suppression des lignes dans `stock`. Afficher un message d'erreur dans les logs dans ce cas.

Tenter d'interdire l'exécution d'un `TRUNCATE` avec un trigger `BEFORE TRUNCATE` (Il faudra un `RAISE EXCEPTION`).

Quelle alternative y a-t-il pour interdire `DELETE` ou `TRUNCATE` sur cette table? Tester avec un nouvel utilisateur nommé **pierre**.

Supprimer le trigger `BEFORE DELETE` pour le remplacer par un autre plus complet qui :

- interdit les `DELETE` comme précédemment;
- affiche un message `NOTICE` quand le stock est ou devient inférieur ou égal à 5 (à moins qu'il ne remonte);
- affiche un message `WARNING` quand il est ou tombe à 0;
- remplace une valeur négative ou NULL par un 0.
Tester et vérifier dans `log_stock`.

Insérer des lignes et comparer les performances de la requête suivante avant et après la suppression de tous les triggers :

```
INSERT INTO stock (article_id, stock)
SELECT i, 10 FROM generate_series (5000, 15000) i ;
```

Réécrire le trigger de trace en utilisant des tables de transition (il va falloir trois triggers et une fonction qui distingue les trois cas `UPSERT` / `INSERT` / `DELETE`).

En profiter pour ajouter des `RAISE NOTICE` qui affichent les valeurs des fonctions `current_user`, `session_user`, `system_user` (sur PostgreSQL 15 ou plus).

Créer un rôle **adminlog**.

Lui donner la propriété et les droits exclusifs sur `log_stock`.

Modifier les droits de la fonction de trace de `stock` pour qu'elle fonctionne encore.

4.11.3 Curseur

Écrire une fonction `checkadmin` qui utilise un curseur pour parcourir la table `pg_stat_user_tables`, et affiche un `RAISE LOG` dans les traces si `last_autovacuum` et `last_vacuum` sont tous deux vides.

Afficher le numéro de la ligne dans le curseur (tri par nom de table).

Sortir après le troisième avertissement, sinon retourner le nombre de lignes lues.

4.12 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

4.12.1 Exceptions

Ré-écrire la fonction suivante pour intercepter une division par zéro (utiliser l'exception `DIVISION_BY_ZERO`), afficher un message et renvoyer `Nan`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division (arg1 integer, arg2 integer)
RETURNS float
AS $BODY$
BEGIN
    RETURN arg1::float / arg2::float;
END
$BODY$ LANGUAGE plpgsql;
```

Effectivement :

```
SELECT division (1,5);
```

```
division
-----
      0.2
```

```
SELECT division (5,0);
```

```
ERROR:  division by zero
CONTEXT:  PL/pgSQL function division(integer,integer) line 3 at RETURN
```

La division par zéro peut s'intercepter ainsi :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION division (arg1 integer, arg2 integer)
RETURNS float AS
$BODY$
BEGIN
    RETURN arg1::float/arg2::float;
    EXCEPTION WHEN DIVISION_BY_ZERO THEN
        RAISE LOG '[%] %', SQLSTATE, SQLERRM;
        RETURN 'NaN';
END
$BODY$ LANGUAGE plpgsql ;
```

Requêtage :

```
SELECT division (5,0);
```

```
division
-----
      NaN
```

Mais le message d'erreur ne s'affiche que dans les traces (`postgresql.log`), à moins de changer ce paramètre dans la session :

```
SET client_min_messages TO log; -- le défaut est 'notice'
SELECT division(1,5), division (5,0);
```

```
LOG: [22012] division by zero
      division | division
-----+-----
          0.2 |      NaN
```

Une autre possibilité est d'utiliser `RAISE NOTICE` au lieu de `RAISE LOG`. Auquel cas le message apparaîtra dans la session et non dans les traces du serveur.

4.12.2 Triggers

Créer la table suivante :

```
CREATE TABLE stock (
  article_id integer PRIMARY KEY,
  dateheure timestampz DEFAULT now(),
  stock integer NOT NULL DEFAULT 0 );
```

Créer une table `log_stock` comme ci-dessous pour tracer toutes les modifications du champ `nombre` dans `stock`, avec l'ancienne et la nouvelle valeur, l'article, l'année, le moment, et qui a fait la modification (variable `session_user`). Créer un trigger `AFTER` par ligne, et sa fonction associée pour tracer cela. Insérer quelques lignes, les mettre à jour, en supprimer une.

```
CREATE TABLE log_stock (
  id int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
  utilisateur text,
  dateheure timestampz,
  article_id integer,
  ancien_stock integer,
  nouveau_stock integer);
```

La colonne `id` n'est pas totalement nécessaire, mais il est préférable de poser des clés primaires sur toutes les tables.

La fonction trigger :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION stock_trace()
  RETURNS TRIGGER AS
$BODY$
  DECLARE
    v_articleid integer;
    v_ancien_stock integer;
    v_nouveau_stock integer;
    v_atracer boolean := false;
  BEGIN
    --
    -- Ce code est volontairement verbeux pour pointer
    -- des différents cas où des variables peuvent être NULL.
    -- On pourrait économiser la plupart des variables.
    --
    IF TG_OP = 'INSERT' THEN
      -- cas de l'insertion
      v_atracer := true;
      v_articleid := NEW.article_id;
```

```

v_ancien_stock := NULL;
v_nouveau_stock := NEW.stock;
ELSEIF TG_OP = 'UPDATE' THEN
    -- Ce test pour vérifier que le contenu de stock a bien changé
    v_atracer := OLD.stock != NEW.stock;
    v_articleid := NEW.article_id;
    v_ancien_stock := OLD.stock;
    v_nouveau_stock := NEW.stock;
ELSEIF TG_OP = 'DELETE' THEN
    -- cas de la suppression
    v_atracer := true;
    v_articleid := OLD.article_id;
    v_ancien_stock := OLD.stock;
    v_nouveau_stock := NULL;
END IF;

-- pour débogage éventuel
-- RAISE NOTICE '% : % %->% %',
--     TG_OP, v_articleid, v_ancien_stock, v_nouveau_stock, v_atracer ;

IF v_atracer THEN
    INSERT INTO log_stock
        (utilisateur, dateheure, article_id,
         ancien_stock, nouveau_stock)
    VALUES
        (session_user, now(), v_articleid,
         v_ancien_stock, v_nouveau_stock);
END IF;
RETURN NEW ;
END $BODY$
LANGUAGE plpgsql ;

```

Le trigger :

```

CREATE TRIGGER stock_trace
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE
ON stock FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE stock_trace();

```

Test :

\d stock

Table « public.stock »				
Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	Par défaut
article_id	integer		not null	
dateheure	timestamp with time zone			now()
stock	integer		not null	0

Index :

"stock_pkey" PRIMARY KEY, btree (article_id)

Triggers :

stock_trace AFTER INSERT OR DELETE OR UPDATE ON stock FOR EACH ROW EXECUTE

↪ FUNCTION stock_trace()

-- Alimentation et vérification du contenu

```

INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (33, 10), (42, 6), (99, 20) ;

```



```
UPDATE stock SET stock = 9
WHERE article_id = 33 ;
```

```
UPDATE stock SET stock = 7
WHERE article_id = 42 ;
UPDATE stock SET stock = 7 -- répétition
WHERE article_id = 42 ;
```

```
DELETE FROM stock
WHERE article_id = 99 ;
```

```
TABLE stock ;
```

article_id	dateheure	stock
33	2025-02-07 18:19:31.57928+01	9
42	2025-02-07 18:19:31.57928+01	7

La table de trace contient alors ce qui suit. Noter que l'`UPDATE` inutile n'est pas tracé (on pourrait en décider autrement).

```
SELECT
utilisateur, dateheure::date, article_id, ancien_stock, nouveau_stock
FROM log_stock ;
```

utilisateur	dateheure	article_id	ancien_stock	nouveau_stock
postgres	2025-02-07	33		10
postgres	2025-02-07	42		6
postgres	2025-02-07	99		20
postgres	2025-02-07	33	10	9
postgres	2025-02-07	42	6	7
postgres	2025-02-07	99	20	

Dans un autre trigger `BEFORE DELETE` par ligne, interdire la suppression des lignes dans `stock`. Afficher un message d'erreur dans les logs dans ce cas.

On pourrait continuer à utiliser le trigger `AFTER`, mais, sur le principe, il vaut mieux interdire une modification plutôt que de l'annuler.

La fonction trigger :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION interdit_suppression ()
RETURNS TRIGGER AS $BODY$
BEGIN
    RAISE WARNING '% : article % - Suppression de ligne de stock interdite',
        TG_OP, OLD.article_id ;
    RETURN NULL ; -- annulation de l'ordre mais pas de la transaction
END $BODY$ LANGUAGE plpgsql ;
```

Le trigger :

```
CREATE TRIGGER stock_interdit_delete
BEFORE DELETE
ON stock FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE interdit_suppression();
```

Dans la transaction suivante, le `DELETE` est annulé mais la transaction se poursuit et l'`INSERT` a bien lieu :

BEGIN ;

```
DELETE FROM stock
WHERE article_id = 33 ;

INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (100, 1000) ;

COMMIT ;
```

TABLE stock ;

...
WARNING: DELETE : article 33 - Suppression de ligne de stock interdite

article_id	dateheure	stock
33	2025-02-07 18:19:31.57928+01	9
42	2025-02-07 18:19:31.57928+01	7
100	2025-02-07 18:19:31.584649+01	1000



Si l'on préfère une erreur franche avec annulation de la transaction en cours, il faut un `RAISE EXCEPTION` (et non `RAISE WARNING`), qui donnera lieu à un message `ERROR` (et non `WARNING`). La transaction sera interrompue.

Tenter d'interdire l'exécution d'un `TRUNCATE` avec un trigger `BEFORE TRUNCATE` (Il faudra un `RAISE EXCEPTION`).

Effectivement, le trigger `BEFORE DELETE` ne protège pas d'un `TRUNCATE` :

```
BEGIN ;
  TRUNCATE TABLE stock ;
  TABLE stock;
ROLLBACK ;

article_id | dateheure | stock
-----+-----+-----
(0 ligne)
```

Cependant, un trigger sur `TRUNCATE` est un trigger par ordre (`FOR EACH STATEMENT`). On ne peut annuler son fonctionnement avec un simple `RETURN NULL`. Il faut un `RAISE EXCEPTION`, et malheureusement, cela implique d'interrompre la transaction.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION interdit_truncate()
RETURNS TRIGGER AS $$
BEGIN
  RAISE EXCEPTION '% : Suppression de ligne de stock interdite', TG_OP ;
  RETURN NULL ;
```

```

END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

CREATE TRIGGER stock_interdit_truncate
BEFORE TRUNCATE
ON stock FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE interdit_truncate();

TRUNCATE stock ;

TABLE stock ;

```

ERROR: TRUNCATE : Suppression de ligne de stock interdite
 CONTEXTE : PL/pgSQL function interdit_truncate() line 3 at RAISE

```

TABLE stock ;

 article_id |          dateheure          | stock
-----+-----+-----
        33 | 2025-02-07 18:19:31.57928+01 |     9
        42 | 2025-02-07 18:19:31.57928+01 |     7
       100 | 2025-02-07 18:19:31.584649+01 |    1000

```

Avec tous ces triggers, la définition de la table devient lourde :

```
\d stock
```

Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	Par défaut
article_id	integer		not null	
dateheure	timestamp with time zone			now()
stock	integer		not null	0

Index :

"stock_pkey" PRIMARY KEY, btree (article_id)

Triggers :

```

stock_trace AFTER INSERT OR DELETE OR UPDATE ON stock FOR EACH ROW EXECUTE
↪ FUNCTION stock_trace()
stock_interdit_delete BEFORE DELETE ON stock FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION
↪ interdit_suppression()
stock_interdit_truncate BEFORE TRUNCATE ON stock FOR EACH STATEMENT EXECUTE
↪ FUNCTION interdit_truncate()

```

Quelle alternative y a-t-il pour interdire `DELETE` ou `TRUNCATE` sur cette table? Tester avec un nouvel utilisateur nommé **pierre**.

- Il ne faut pas oublier que les droits peuvent interdire aux utilisateurs (sauf le superutilisateur) d'effectuer ces ordres. Cela évite d'avoir à gérer des triggers, et la gestion des droits peut être plus fine :

```
-- Exécuter en tant que superutilisateur
```

```
REVOKE TRUNCATE, DELETE ON TABLE stock FROM public;
```

```
CREATE ROLE pierre LOGIN ;
```

```
GRANT ALL ON TABLE stock TO pierre ;
```

```
SET ROLE pierre ;
```

```
UPDATE stock SET stock=998
WHERE article_id = 100 ;
```

```
DELETE FROM stock WHERE article_id = 100;
```

```
TRUNCATE TABLE stock ;
```

```
NOTICE: UPDATE : 100 1000->1000 t
ERROR: permission denied for table log_stock
```

- Une vue masquant la table est une autre alternative pour interdire `TRUNCATE` (un `TRUNCATE` sur une vue ne fonctionne pas).

```
SET ROLE postgres ;
CREATE VIEW v_stock AS SELECT * FROM stock ;
GRANT ALL ON v_stock TO pierre ;
SET ROLE pierre ;
TRUNCATE v_stock ;
```

```
ERROR: "v_stock" is not a table
```

Supprimer le trigger `BEFORE DELETE` pour le remplacer par un autre plus complet qui :

- interdit les `DELETE` comme précédemment;
 - affiche un message `NOTICE` quand le stock est ou devient inférieur ou égal à 5 (à moins qu'il ne remonte);
 - affiche un message `WARNING` quand il est ou tombe à 0;
 - remplace une valeur négative ou NULL par un 0.
- Tester et vérifier dans `log_stock`.

À la suppression du trigger `BEFORE DELETE`, ne pas oublier de supprimer la fonction associée :

```
-- en tant que superutilisateur
DROP TRIGGER stock_interdit_delete ON stock ;
DROP FUNCTION interdit_suppression ;

CREATE OR REPLACE FUNCTION verifications_stock ()
RETURNS TRIGGER AS $BODY$
BEGIN
    IF TG_OP = 'DELETE' THEN
        RAISE WARNING
            '% : article % - Suppression de ligne de stock interdite',
            TG_OP, OLD.article_id ;
        RETURN NULL ;
    ELSEIF TG_OP IN ('UPDATE','INSERT') THEN
        IF NEW.stock BETWEEN 1 AND 5 AND NEW.stock < OLD.stock THEN
            RAISE NOTICE 'article % - Valeur % faible !',
                OLD.article_id, NEW.stock ;
        ELSEIF coalesce(NEW.stock,0) <= 0 THEN
            RAISE WARNING 'article % - Plus de stock !', OLD.article_id ;
            NEW.stock = 0;
        END IF ;
        RETURN NEW ;
    END IF ;
END IF ;
```

```

    END IF ;
END $BODY$ LANGUAGE plpgsql ;

CREATE TRIGGER stock_verifications
BEFORE DELETE OR INSERT OR UPDATE
ON stock FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE verifications_stock();

```

Test:

```

INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (1789, 3) ;
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- stock : 1
WHERE article_id = 1789 ;
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- stock : 0
WHERE article_id = 1789 ;
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- idem
WHERE article_id = 1789 ;
UPDATE stock SET stock = stock + 20 -- stock 20
WHERE article_id = 1789 ;
UPDATE stock SET stock = NULL
WHERE article_id = 1789 ;

```

```

INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (1789, 3) ;
INSERT 0 1
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- stock : 1
WHERE article_id = 1789 ;
NOTICE:  article 1789 - Valeur 1 faible !
UPDATE 1
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- stock : 0
WHERE article_id = 1789 ;
WARNING:  article 1789 - Plus de stock !
UPDATE 1
UPDATE stock SET stock = stock - 2 -- idem
WHERE article_id = 1789 ;
WARNING:  article 1789 - Plus de stock !
UPDATE 1
UPDATE stock SET stock = stock + 20 -- stock 20
WHERE article_id = 1789 ;
UPDATE 1
UPDATE stock SET stock = NULL
WHERE article_id = 1789 ;
WARNING:  article 1789 - Plus de stock !
UPDATE 1

```

Noter que le `SET stock = NULL` ne provoque pas d'erreur sur la contrainte `NOT NULL` de la colonne `stock`. La vérification se fait après l'ordre SQL et le trigger `BEFORE`.

La trace reflète bien les valeurs modifiées :

```

SELECT
utilisateur, dateheure::date, article_id, ancien_stock, nouveau_stock
FROM log_stock WHERE article_id = 1789 ;

```

```

utilisateur | dateheure | article_id | ancien_stock | nouveau_stock
-----+-----+-----+-----+-----

```

postgres	2025-02-07	1789		3
postgres	2025-02-07	1789	3	1
postgres	2025-02-07	1789	1	0
postgres	2025-02-07	1789	0	20
postgres	2025-02-07	1789	20	0

Insérer des lignes et comparer les performances de la requête suivante avant et après la suppression de tous les triggers :

```
INSERT INTO stock (article_id, stock)
SELECT i, 10 FROM generate_series (5000, 15000) i ;
```

```
BEGIN ;
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF, VERBOSE)
```

```
UPDATE stock SET stock = 9
```

```
WHERE article_id BETWEEN 5000 and 15000 ;
```

```
ROLLBACK ;
```

```
DROP TRIGGER stock_verifications ON stock ;
```

```
DROP TRIGGER stock_interdit_truncate ON stock ;
```

```
DROP TRIGGER stock_trace ON stock ;
```

```
BEGIN ;
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF, VERBOSE)
```

```
UPDATE stock SET stock = 9
```

```
WHERE article_id BETWEEN 5000 and 15000 ;
```

```
ROLLBACK ;
```

Ce test est un peu rapide, mais il doit montrer un rapport de temps d'exécution de 1 à 3 ou 1 à 4, bien sûr en défaveur des triggers. La trace est l'opération la plus lourde (il faut `EXPLAIN (VERBOSE)` pour l'afficher) :

```
...
Trigger stock_trace: time=45.730 calls=10001
Trigger stock_verifications: time=6.725 calls=10001
Execution Time: 79.630 ms
```

Sans les triggers, sur la même machine :

```
...
Execution Time: 25.583 ms
```

Réécrire le trigger de trace en utilisant des tables de transition (il va falloir trois triggers et une fonction qui distingue les trois cas `UPSERT` / `INSERT` / `DELETE`).

En profiter pour ajouter des `RAISE NOTICE` qui affichent les valeurs des fonctions `current_user`, `session_user`, `system_user` (sur PostgreSQL 15 ou plus).

La première difficulté est que les tables correspondant à `NEW` et `OLD` ne sont pas définies dans tous les cas. La seconde est qu'il est délicat (et lourd) de rapprocher les valeurs des deux tableaux `NEW` et `OLD` si les deux sont remplis, on se contente donc ici d'ajouter deux lignes séparées pour l'`UPDATE`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION stock_trace2()
RETURNS TRIGGER AS $BODY$
DECLARE
    nb int DEFAULT 0 ;
BEGIN
    IF TG_OP IN ('UPDATE','DELETE') THEN
        INSERT INTO log_stock
            (utilisateur, dateheure, article_id,
            ancien_stock, nouveau_stock)
        SELECT
            session_user, now(), oldstock.article_id,
            oldstock.stock, NULL
        FROM oldstock ;
        -- pour débogage
        RAISE NOTICE 'Trigger de trace pour % (utilisateur %/%%/%)',
            TG_OP, current_user, session_user, system_user ;
    END IF ;
    IF TG_OP IN ('UPDATE','INSERT') THEN
        INSERT INTO log_stock
            (utilisateur, dateheure, article_id,
            ancien_stock, nouveau_stock)
        SELECT
            session_user, now(), newstock.article_id,
            NULL, newstock.stock
        FROM newstock ;
        -- pour débogage
        RAISE NOTICE 'Trigger de trace pour % (utilisateur %/%%/%)',
            TG_OP, current_user, session_user, system_user ;
    END IF ;
RETURN NEW ;
END $BODY$ LANGUAGE plpgsql ;
```

Les triggers :

```
CREATE TRIGGER stock_trace_ins
AFTER INSERT ON stock
REFERENCING NEW TABLE AS newstock
FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE stock_trace2();

CREATE TRIGGER stock_trace_del
AFTER DELETE ON stock
REFERENCING OLD TABLE AS oldstock
FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE stock_trace2();

-- seul trigger à gérer REFERENCING OLD et NEW
CREATE TRIGGER stock_trace_upd
AFTER UPDATE ON stock
REFERENCING
    OLD TABLE AS oldstock
    NEW TABLE AS newstock
FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE stock_trace2();
```

Test basique :

```
TRUNCATE TABLE log_stock ;
```

```

INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (1000, 3) ;
UPDATE stock SET stock = 5
WHERE article_id = 1000 ;
DELETE FROM stock
WHERE article_id = 1000 ;

SELECT dateheure::time, article_id, ancien_stock, nouveau_stock
FROM log_stock
WHERE article_id = 1000 ;

```

dateheure	article_id	ancien_stock	nouveau_stock
23:23:33.325255	1000		3
23:23:33.326288	1000	3	
23:23:33.326288	1000		5
23:23:33.327044	1000	5	

```

BEGIN ;

EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF, VERBOSE)
UPDATE stock SET stock = 9
WHERE article_id BETWEEN 5000 and 15000 ;

COMMIT ;

```

Le trigger n'est appelé qu'une seule fois par opération, le gain est donc sensible. Cette simple requête reste tout de même deux fois plus lente avec le trigger.

```

Trigger stock_trace_upd: time=24.596 calls=1
Execution Time: 53.306 ms

```

```

-- Test avec un article
SELECT dateheure::time, article_id, ancien_stock, nouveau_stock
FROM log_stock
WHERE article_id = 9999 ;

```

dateheure	article_id	ancien_stock	nouveau_stock
23:26:41.040846	9999	10	
23:26:41.040846	9999		9

Créer un rôle **adminlog**.

Lui donner la propriété et les droits exclusifs sur `log_stock`.

Modifier les droits de la fonction de trace de `stock` pour qu'elle fonctionne encore.

Pour des raisons de sécurité, il est logique que l'utilisateur applicatif ne puisse pas modifier la table de trace `log_stock`.

```

-- En tant que superutilisateur
CREATE ROLE adminlog ;
ALTER TABLE log_stock OWNER TO adminlog ;
REVOKE ALL ON TABLE log_stock FROM public ;

SET ROLE pierre ;

```



```
\d
```

Schéma	Nom	Type	Propriétaire
public	log_stock	table	adminlog
public	log_stock_id_seq	séquence	adminlog
public	stock	table	postgres

```
...
```

```
\d
```

Schéma	Nom	Type	Propriétaire
public	log_stock	table	adminlog
public	log_stock_id_seq	séquence	adminlog
public	stock	table	postgres

```
...
```

Suite au changement de droits, une modification de la table échoue :

```
INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (20000, 10) ;
```

```
ERROR: permission denied for table log_stock
CONTEXTE : SQL statement "INSERT INTO log_stock
```

```
...
```

```
PL/pgSQL function stock_trace2() line 17 at SQL statement
```

La fonction `stock_trace2` est `SECURITY INVOKER` (elle utilise les droits de l'utilisateur), c'est le défaut. On peut lui permettre de tourner avec les droits plus étendus de son propriétaire (`SECURITY DEFINER`). Il faut donc la donner à **adminlog**, puis donner les droits d'exécution aux utilisateurs.

```
SET ROLE postgres ;
ALTER FUNCTION stock_trace2() OWNER TO adminlog ;
ALTER FUNCTION stock_trace2() SECURITY DEFINER ;
```

```
SET ROLE pierre ;
INSERT INTO stock (article_id, stock)
VALUES (20000, 10) ;
```

```
NOTICE: Trigger de trace pour INSERT (utilisateur adminlog/postgres/peer:dalibo)
```

Noter que le trigger insère la ligne en tant que **adminlog** (`current_user`) et non **pierre** ou **postgres** (l'appelant, `session_user`). C'est à savoir si l'on trace l'utilisateur.

4.12.3 Curseur

Écrire une fonction `checkadmin` qui utilise un curseur pour parcourir la table `pg_stat_user_tables`, et affiche un `RAISE LOG` dans les traces si `last_autovacuum` et `last_vacuum` sont tous deux vides.

Afficher le numéro de la ligne dans le curseur (tri par nom de table).

Sortir après le troisième avertissement, sinon retourner le nombre de lignes lues.

-- Tables d'exemples

```
CREATE TABLE demo1 AS SELECT 1 AS t ;
CREATE TABLE demo2 AS SELECT 1 AS t ;
CREATE TABLE demo3 AS SELECT 1 AS t ;
CREATE TABLE demo4 AS SELECT 1 AS t ;
```

— Première implémentation possible :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION checkadmin()
  RETURNS int AS
$BODY$
  DECLARE
    c_curseur refcursor;
    r_resultat pg_stat_user_tables%ROWTYPE;
    v_index integer := 0 ;
    v_nb_avis integer := 0 ;
  BEGIN
    OPEN c_curseur FOR
      SELECT * FROM pg_stat_user_tables
      ORDER BY relname ;
    LOOP
      FETCH c_curseur INTO r_resultat;
      IF NOT FOUND THEN
        EXIT;
      END IF;
      -- debogage
      RAISE NOTICE 'Table % (%)',
        r_resultat.relname, v_index ;
      v_index := v_index + 1;
      IF r_resultat.last_autovacuum IS NULL
      AND r_resultat.last_vacuum IS NULL
      THEN
        v_nb_avis := v_nb_avis + 1 ;
        RAISE LOG 'Autovacuum jamais passé sur table % (ligne %)',
          r_resultat.relname, v_index ;
        IF v_nb_avis >= 3 THEN
          EXIT ;
        END IF ;
      END IF ;
    END LOOP;
    CLOSE c_curseur ;
    RETURN v_index;
END $BODY$ LANGUAGE plpgsql ;

-- Affichage dans la session du contenu des traces
SET client_min_messages TO log;
-- Test
SELECT checkadmin() ;
```

```
NOTICE: Table demo1 (0)
LOG: Autovacuum jamais passé sur table demo1 (ligne 1)
NOTICE: Table demo2 (1)
LOG: Autovacuum jamais passé sur table demo2 (ligne 2)
NOTICE: Table demo3 (2)
LOG: Autovacuum jamais passé sur table demo3 (ligne 3)
```

```
checkadmin
```

```
-----  
3
```

— Seconde implémentation possible, un peu plus courte :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION checkadmin()  
RETURNS int AS  
$BODY$  
DECLARE  
    r_resultat record ;  
    v_index integer := 0 ;  
    v_nb_avis integer := 0 ;  
BEGIN  
    FOR r_resultat IN (  
        SELECT relname, last_autovacuum, last_vacuum  
        FROM pg_stat_user_tables ORDER BY relname )  
    LOOP  
        -- debogage  
        RAISE NOTICE 'Table % (%)',  
            r_resultat.relname, v_index ;  
        v_index := v_index + 1 ;  
        IF coalesce(r_resultat.last_autovacuum,  
            r_resultat.last_vacuum) IS NULL  
        THEN  
            v_nb_avis := v_nb_avis + 1 ;  
            RAISE LOG 'Autovacuum jamais passé sur table % (ligne %)',  
                r_resultat.relname, v_index ;  
            EXIT WHEN v_nb_avis >= 3 ;  
        END IF ;  
    END LOOP ;  
    RETURN v_index ;  
END $BODY$ LANGUAGE plpgsql ;  
  
SELECT checkadmin() ;  
  
VACUUM ;  
  
SELECT checkadmin() ;  
  
NOTICE: Table demo1 (0)  
NOTICE: Table demo2 (1)  
NOTICE: Table demo3 (2)  
NOTICE: Table demo4 (3)  
NOTICE: Table log_stock (4)  
NOTICE: Table stock (5)  
checkadmin
```

```
-----  
6
```


5/ Extensions PostgreSQL pour l'utilisateur



5.1 QU'EST-CE QU'UNE EXTENSION ?



- Pour ajouter :
 - types de données
 - méthodes d'indexation
 - fonctions et opérateurs
 - tables, vues...
- Tous sujets, tous publics
- Intégrées (« contribs ») ou projets externes

Les extensions sont un gros point fort de PostgreSQL. Elles permettent de rajouter des fonctionnalités, aussi bien pour les utilisateurs que pour les administrateurs, sur tous les sujets : fonctions utilitaires, types supplémentaires, outils d'administration avancés, voire applications quasi-complètes. Certaines sont intégrées par le projet, mais n'importe qui peut en proposer et en intégrer une.

5.2 ADMINISTRATION DES EXTENSIONS



Techniquement :

- « packages » pour PostgreSQL, en C, SQL, PL/pgSQL...
- Langages : SQL, PL/pgSQL, C (!)...
- Ensemble d'objets livrés ensemble
- contrib <> extension

Une extension est un objet du catalogue, englobant d'autres objets. On peut la comparer à un paquetage Linux.

Une extension peut provenir d'un projet séparé de PostgreSQL (PostGIS, par exemple, ou le *Foreign Data Wrapper* Oracle).

Les extensions les plus simples peuvent se limiter à quelques objets en SQL, certaines sont en PL/pgSQL, beaucoup sont en C. Dans ce dernier cas, il faut être conscient que la stabilité du serveur est encore plus en jeu !

5.2.1 Installation des extensions



- Packagées ou à compiler
- Par base :
 - `CREATE EXTENSION ... CASCADE`
 - `ALTER EXTENSION UPDATE`
 - `DROP EXTENSION`
 - `\dx`
- Listées dans `pg_available_extensions`

Au niveau du système d'exploitation, une extension nécessite des objets (binaires, scripts...) dans l'arborescence de PostgreSQL. De nombreuses extensions sont déjà fournies sous forme de paquets dans les distributions courantes ou par le PGDG, ou encore l'outil PGXN. Dans certains cas, il faudra aller sur le site du projet et l'installer soi-même, ce qui peut nécessiter une compilation.

L'extension doit être ensuite déclarée dans chaque base où elle est jugée nécessaire avec `CREATE EXTENSION nom_extension`. Les scripts fournis avec l'extension vont alors créer les objets nécessaires (vues, procédures, tables...). En cas de désinstallation avec `DROP EXTENSION`, ils seront supprimés. Une extension peut avoir besoin d'autres extensions : l'option `CASCADE` permet de les installer automatiquement.

Le mécanisme couvre aussi la mise à jour des extensions : `ALTER EXTENSION UPDATE` permet de mettre à jour une extension dans PostgreSQL suite à la mise à jour de ses binaires. Cela peut être nécessaire si elle contient des tables à mettre à jour, par exemple. Les versions des extensions

disponibles sur le système et celles installées dans la base en cours sont visibles dans la vue `pg_available_extensions`.

Les extensions peuvent être exportées et importées par `pg_dump`/`pg_restore`. Un export par `pg_dump` contient un `CREATE EXTENSION nom_extension`, ce qui permettra de recréer d'éventuelles tables, et le *contenu* de ces tables. Une mise à jour de version majeure, par exemple, permettra donc de migrer les extensions dans leur dernière version installée sur le serveur (changement de prototypes de fonctions, nouvelles vues, etc.).

Sous `psql`, les extensions présentes dans la base sont visibles avec `\dx` :

```
# \dx
```

Liste des extensions installées			
Nom	Version	Schéma	Description
amcheck	1.2	public	functions for verifying relation integrity
file_fdw	1.0	public	foreign-data wrapper for flat file access
hstore	1.6	public	data type for storing sets of (key,
↳ value) pairs			
pageinspect	1.9	public	inspect the contents of database pages
↳ at...			
pg_buffercache	1.3	public	examine the shared buffer cache
pg_prewarm	1.2	public	prewarm relation data
pg_rational	0.0.1	public	bigint fractions
pg_stat_statements	1.10	public	track execution statistics of all SQL
↳ statements...			
plpgsql	1.0	pg_catalog	PL/pgSQL procedural language
plpython3u	1.0	pg_catalog	PL/Python3U untrusted procedural language
postgres_fdw	1.0	public	foreign-data wrapper for remote
↳ PostgreSQL servers			
unaccent	1.1	public	text search dictionary that removes
↳ accents			

5.3 CONTRIBS - FONCTIONNALITÉS



- Livrées avec le code source de PostgreSQL
- Habituellement packagées (`postgresql-*-contrib`)
- De qualité garantie car maintenues par le projet
- Optionnelles, désactivées par défaut
- Ou en cours de stabilisation
- Documentées : <https://docs.postgresql.fr/current/contrib.html>

Une « contrib » est habituellement une extension, sauf quelques exceptions qui ne créent pas d'objets de catalogue (`auto_explain` par exemple). Elles sont fournies directement dans l'arborescence de PostgreSQL, et suivent donc strictement son rythme de révision. Leur compatibilité est ainsi garantie. Les distributions les proposent parfois dans des paquets séparés (`postgresql-contrib-9.6`, `postgresql14-contrib` ...), dont l'installation est fortement conseillée.

Il s'agit soit de fonctionnalités qui n'intéressent pas tout le monde (`hstore`, `uuid`, `pg_trgm`, `pgstattuple` ...), ou en cours de stabilisation (comme l'autovacuum avant PostgreSQL 8.1), ou à l'inverse de dépréciation (`xml2`).

La documentation des contribs est dans le chapitre F des annexes¹, et est donc fréquemment oubliée par les nouveaux utilisateurs.

¹<https://docs.postgresql.fr/current/contrib.html>

5.4 QUELQUES EXTENSIONS



...plus ou moins connues

5.4.1 pgcrypto



Module contrib de chiffrement :

- Nombreuses fonctions pour chiffrer et déchiffrer des données
- Gros inconvénient : oubliez les index sur les données chiffrées !
- N'oubliez pas de chiffrer la connexion (SSL)
- Permet d'avoir une seule méthode de chiffrement pour tout ce qui accède à la base

Fourni avec PostgreSQL, vous permet de chiffrer vos données² :

- directement;
- avec une clé PGP (gérée par exemple avec GnuPG), ce qui est préférable;
- selon divers algorithmes courants;
- différemment selon chaque ligne/champ.

Voici un exemple de code :

```
CREATE EXTENSION pgcrypto;
UPDATE utilisateurs SET mdp = crypt('mon nouveau mot de passe', gen_salt('md5'));
INSERT INTO table_secrete (encrypted)
VALUES (pgp_sym_encrypt('mon secret', 'motdepasse'));
```

L'appel à `gen_salt` permet de rajouter une partie aléatoire à la chaîne à chiffrer, ce qui évite que la même chaîne chiffrée deux fois retourne le même résultat. Cela limite donc les attaques par dictionnaire.

La base effectuant le (dé)chiffrement, cela évite certains allers-retours. Il est préférable que la clé de déchiffrement ne soit pas *dans* l'instance, et soit connue et fournie par l'applicatif. La communication avec cet applicatif doit être sécurisée par SSL pour que les clés et données ne transitent pas en clair.

Un gros inconvénient des données chiffrées dans la table est l'impossibilité complète de les indexer, même avec un index fonctionnel : les données déchiffrées seraient en clair dans cet index ! Une recherche implique donc de parcourir et déchiffrer chaque ligne...

Pour aller plus loin : https://dali.bo/kb_pgcrypto

²<https://docs.postgresql.fr/current/pgcrypto.html>

5.4.2 hstore : stockage clé/valeur



- Contrib
- Type `hstore`
- Stockage clé-valeur
- Plus simple que JSON

```
INSERT INTO demo_hstore (meta) VALUES ('river=>t');
SELECT * FROM demo_hstore WHERE meta@>'river=>t';
```

`hstore` fournit un type très simple pour stocker des clés/valeur :

```
CREATE EXTENSION hstore ;
```

```
CREATE TABLE demo_hstore(id serial, meta hstore);
INSERT INTO demo_hstore (meta) VALUES ('river=>t');
INSERT INTO demo_hstore (meta) VALUES ('road=>t,secondary=>t');
INSERT INTO demo_hstore (meta) VALUES ('road=>t,primary=>t');
CREATE INDEX idxhstore ON demo_hstore USING gist (meta);
```

```
SELECT * FROM demo_hstore WHERE meta@>'river=>t';
```

```
id |      meta
---+-----
15 | "river"=>"t"
```

Cette extension a rendu, et rend encore, bien des services. Cependant le type JSON (avec le type binaire `jsonb`) est généralement préféré.

5.4.3 PostgreSQL Anonymizer



- Extension externe (Dalibo)
- Masquage statique et dynamique
- Export anonyme (`pg_dump_anon`)
- Les règles de masquage sont écrites en SQL
- Autodétection de colonnes identifiantes
- Plus simple et plus sûr qu'un ETL

Postgresql Anonymizer³ est une extension pour masquer ou remplacer les données personnelles⁴ dans une base PostgreSQL. Elle est développée par Damien Clochard de Dalibo.

Le projet fonctionne selon une **approche déclarative**, c'est à dire que les règles de masquage⁵ sont

³<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/>

⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Personally_identifiable_information

⁵https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/declare_masking_rules/

déclarées directement dans le modèle de données avec des ordres DDL.

Une fois que les règles de masquage sont définies, on peut accéder aux données masquées de 3 façons différentes :

- export anonyme⁶ : extraire les données masquées dans un fichier SQL ;
- masquage statique⁷ : supprimer une fois pour toutes les données personnelles ;
- masquage dynamique⁸ : cacher les données personnelles seulement pour les utilisateurs masqués.

Par ailleurs, l'extension fournit toute une gamme de fonctions de masquage⁹ : randomisation, génération de données factices, destruction partielle, brassage, ajout de bruit, etc. On peut également écrire ses propres fonctions de masquage !

Au-delà du masquage, il est également possible d'utiliser une autre approche appelée généralisation¹⁰ qui est bien adaptée pour les statistiques et l'analyse de données.

Enfin, l'extension offre un panel de fonctions de détection¹¹ qui tentent de deviner quelles colonnes doivent être anonymisées.

Un module de formation lui est consacré¹².

Exemple :

```
==# SELECT * FROM people;
```

id	firstname	lastname	phone
T1	Sarah	Conor	0609110911

Étape 1 : activer le masquage dynamique

```
==# CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS anon CASCADE;
==# SELECT anon.start_dynamic_masking();
```

Étape 2 : déclarer un utilisateur masqué

```
==# CREATE ROLE skynet LOGIN;
==# SECURITY LABEL FOR anon ON ROLE skynet IS 'MASKED';
```

Étape 3 : déclarer les règles de masquage

```
==# SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN people.lastname
-- IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.fake_last_name()';

==# SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN people.phone
-- IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.partial(phone,2,$$*****$$,2)';
```

Étape 4 : se connecter avec l'utilisateur masqué

⁶https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/anonymous_dumps/

⁷https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/static_masking/

⁸https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/dynamic_masking/

⁹https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions/

¹⁰<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/generalization/>

¹¹<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/detection/>

¹²https://dali.bo/y5_html

```
=# \c - skynet
=# SELECT * FROM people;
```

id	firstname	lastname	phone
T1	Sarah	Stranahan	06*****11

5.4.4 PostGIS



- Projet indépendant, GPL, <https://postgis.net/>
- Module spatial pour PostgreSQL
 - Extension pour types géométriques/géographiques & outils
 - La référence des bases de données spatiales
 - « quelles sont les routes qui coupent le Rhône ? »
 - « quelles sont les villes adjacentes à Toulouse ? »
 - « quels sont les restaurants situés à moins de 3 km de la Nationale 12 ? »

PostGIS ajoute le support d'objets géographiques à PostgreSQL. C'est un projet totalement indépendant développé par la société Refrations Research sous licence GPL, soutenu par une communauté active, utilisée par des spécialistes du domaine géospatial (IGN, BRGM, AirBNB, Mappy, Openstreet-map, Agence de l'eau...), mais qui peut convenir pour des projets plus modestes.

Techniquement, c'est une extension transformant PostgreSQL en serveur de données spatiales, qui sera utilisé par un Système d'Information Géographique (SIG), tout comme le SDE de la société ESRI ou bien l'extension Oracle Spatial. PostGIS se conforme aux directives du consortium OpenGIS et a été certifié par cet organisme comme tel, ce qui est la garantie du respect des standards par PostGIS.

PostGIS permet d'écrire des requêtes de ce type :

```
SELECT restaurants.geom, restaurants.name FROM restaurants
```

```
WHERE EXISTS (SELECT 1 FROM routes
              WHERE ST_DWithin(restaurants.geom, routes.geom, 3000)
              AND route.name = 'Nationale 12')
```

PostGIS fournit les fonctions d'indexation qui permettent d'accéder rapidement aux objets géométriques, au moyen d'index GiST. La requête ci-dessus n'a évidemment pas besoin de parcourir tous les restaurants à la recherche de ceux correspondant aux critères de recherche.

La liste des fonctionnalités comprend le support des coordonnées géodésiques; des projections et reprojections dans divers systèmes de coordonnées locaux (Lambert93 en France par exemple); des opérateurs d'analyse géométrique (enveloppe convexe, simplification...)

PostGIS est intégré aux principaux serveurs de carte, ETL, et outils de manipulation.

La version 3.0 apporte la gestion du parallélisme, un meilleur support de l'indexation SP-GiST et GiST, ainsi qu'un meilleur support du type GeoJSON.

5.4.5 Mais encore...



- **uuid-oss** : gérer des UUID
- **unaccent** : supprime des accents
- **citex** : recherche insensible à la casse

5.4.6 Autres extensions connues



- Compatibilité :
 - orafce
- Extensions propriétaires évitant un *fork* :
 - Citus (*sharding*)
 - TimescaleDB (*time series*)
 - être sûr que PostgreSQL a atteint ses limites!

Les extensions permettent de diffuser des bibliothèques de fonction pour la compatibilité avec du code d'autres produits : orafce est un exemple bien connu.

Pour éviter de maintenir un *fork* complet de PostgreSQL, certains éditeurs offrent leur produit sous forme d'extension, souvent avec une version communautaire intégrant les principales fonctionnalités. Par exemple :

- Citus permet du *sharding*;
- TimescaleDB gère les séries temporelles.

Face à des extensions extérieures, on gardera à l'esprit qu'il s'agit d'un produit supplémentaire à maîtriser et administrer, et l'on cherchera d'abord à tirer le maximum du PostgreSQL officiel.

5.5 EXTENSIONS POUR DE NOUVEAUX LANGAGES



- PL/pgSQL par défaut
- Ajouter des langages :
 - PL/python
 - PL/perl
 - PL/lua
 - PL/sh
 - PL/R
 - PL/Java
 - etc.

SQL et PL/pgSQL ne sont pas les seuls langages utilisables au niveau d'un serveur PostgreSQL. PL/pgSQL est installé par défaut en tant qu'extension. Il est possible de rajouter les langages python, perl, R, etc. et de coder des fonctions dans ces langages. Ces langages ne sont pas fournis par l'installation standard de PostgreSQL. Une installation via les paquets du système d'exploitation est sans doute le plus simple.

5.6 ACCÈS DISTANTS



Accès à des bases distantes

- Contribs :
 - dblink (ancien)
 - les *foreign data wrappers* : postgresql_fdw, mysql_fdw...
- Sharding :
 - PL/Proxy
 - Citus

Les accès distants à d'autres bases de données sont généralement disponibles par des extensions. L'extension dblink permet d'accéder à une autre instance PostgreSQL mais elle est ancienne, et l'on préférera le *foreign data wrapper* postgresql_fdw, disponible dans les contribs. D'autres FDW sont des projets extérieurs : ora_fdw, mysql_fdw, etc.

Une solution de *sharding* n'est pas encore intégrée à PostgreSQL mais des outils existent : PL/Proxy fournit des fonctions pour répartir des accès mais implique de refondre le code. Citus est une extension plus récente et plus transparente.

5.7 CONTRIBS ORIENTÉS DBA



Accès à des informations ou des fonctions de bas niveau :

- **pg_prewarm** : sauvegarde & restauration de l'état du cache de la base
- **pg_buffercache** : état du cache
- **pgstattuple** (fragmentation des tables et index), **pg_freespacemap** (blocs libres), **pg_visibility** (*visibility map*)
- **pageinspect** : inspection du contenu d'une page
- **pgrowlocks** : informations détaillées sur les enregistrements verrouillés
- **pg_stat_statement** (requêtes normalisées), **auto_explain** (plans)
- **amcheck** : validation des index
- ... et de nombreux projets externes

Tous ces modules permettent de manipuler une facette de PostgreSQL à laquelle on n'a normalement pas accès. Leur utilisation est parfois très spécialisée et pointue.

En plus des contribs listés ci-dessus, de nombreux projets externes existent : toastinfo, pg_stat_kcache, pg_qualstats, PoWa, pg_wait_sampling, hypopg...

Pour plus de détails, consulter les modules X2¹³ et X3¹⁴.

¹³https://dali.bo/x2_html

¹⁴https://dali.bo/x3_html

5.8 PGXN



PostgreSQL eXtension Network :

- <https://pgxn.org/>
- nombreuses extensions
- volontariat
- aucune garantie de qualité
- tests soigneux requis
- Et optionnellement client en python pour automatisation de déploiement
- Ancêtre : pgFoundry
- Beaucoup de projets sont aussi sur github

Le site PGXN fournit une vitrine à de nombreux projets gravitant autour de PostgreSQL.

PGXN a de nombreux avantages, dont celui de demander aux projets participants de respecter un certain cahier des charges permettant l'installation automatisée des modules hébergés. Ceci peut par exemple être réalisé avec le client `pgxn` fourni :

```
> pgxn search --dist fdw
multicdr_fdw 1.2.2
  MultiCDR *FDW* ===== Foreign Data Wrapper for representing
  CDR files stream as an external SQL table. CDR files from a directory
  can be read into a table with a specified field-to-column...

redis_fdw 1.0.0
  Redis *FDW* for PostgreSQL 9.1+ ===== This
  PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*) for the
  Redis key/value database: http://redis.io/ This code is...

jdbc_fdw 1.0.0
  Also,since the JVM being used in jdbc *fdw* is created only once for the
  entire psql session,therefore,the first query issued that uses jdbc
  +fdw* shall set the value of maximum heap size of the JVM(if...

mysql_fdw 2.1.2
  ... This PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*)
  for [MySQL][1]. Please note that this version of mysql_fdw only works
  with PostgreSQL Version 9.3 and greater, for previous version...

www_fdw 0.1.8
  ... library contains a PostgreSQL extension, a Foreign Data Wrapper
  (*FDW*) handler of PostgreSQL which provides easy way for interacting
  with different web-services.

mongo_fdw 2.0.0
  MongoDB *FDW* for PostgreSQL 9.2 ===== This
  PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*) for
  MongoDB.

firebird_fdw 0.1.0
  ... -
```

http://www.postgresql.org/docs/current/interactive/postgres-*fdw*.html *
Other FDWs - https://wiki.postgresql.org/wiki/*Fdw* -
http://pgxn.org/tag/*fdw*/

json_fdw 1.0.0

... This PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*) for JSON files. The extension doesn't require any data to be loaded into the database, and supports analytic queries against array...

postgres_fdw 1.0.0

This port provides a read-only Postgres *FDW* to PostgreSQL servers in the 9.2 series. It is a port of the official postgres_fdw contrib module available in PostgreSQL version 9.3 and later.

osm_fdw 3.0.0

... "Openstreetmap pbf foreign data wrapper") (*FDW*) for reading [Openstreetmap PBF] (http://wiki.openstreetmap.org/wiki/PBF_Format "Openstreetmap PBF") file format (*.osm.pbf) ## Requirements *...

odbc_fdw 0.1.0

ODBC *FDW* (beta) for PostgreSQL 9.1+
===== This PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*) for remote databases using Open Database Connectivity(ODBC)...

couchdb_fdw 0.1.0

CouchDB *FDW* (beta) for PostgreSQL 9.1+
===== This PostgreSQL extension implements a Foreign Data Wrapper (*FDW*) for the CouchDB document-oriented database...

treasuredata_fdw 1.2.14

INSERT INTO statement This *FDW* supports `INSERT INTO` statement. With `atomic\_import` is `false`, the *FDW* imports INSERTed rows as follows.

twitter_fdw 1.1.1

Installation ----- \$ make && make install \$ psql -c "CREATE EXTENSION twitter_fdw" db The CREATE EXTENSION statement creates not only *FDW* handlers but also Data Wrapper, Foreign Server, User...

ldap_fdw 0.1.1

... is an initial working on a PostgreSQL's Foreign Data Wrapper (*FDW*) to query LDAP servers. By all means use it, but do so entirely at your own risk! You have been warned! Do you like to use it in...

git_fdw 1.0.2

PostgreSQL Git Foreign Data Wrapper [![Build Status](https://travis-ci.org/franckverrot/git_fdw.svg?branch=master)](https://travis-ci.org/franckverrot/git_fdw) git_fdw is a Git Foreign Data...

oracle_fdw 2.0.0

Foreign Data Wrapper for Oracle =====
oracle_fdw is a PostgreSQL extension that provides a Foreign Data Wrapper for easy and efficient access to Oracle databases, including...

foreign_table_exposer 1.0.0

```
# foreign_table_exposer This PostgreSQL extension exposes foreign tables
like a normal table with rewriting Query tree. Some BI tools can't
detect foreign tables since they don't consider them when...

cstore_fdw 1.6.0
cstore_fdw ===== [![Build Status](https://travis-
ci.org/citusdata/cstore_fdw.svg?branch=master)][status] [![Coverage](htt
p://img.shields.io/coveralls/citusdata/cstore_fdw/master.svg)][coverage]
...

multicorn 1.3.5
[![PGXN version](https://badge.fury.io/pg/multicorn.svg)](https://badge.
fury.io/pg/multicorn) [![Build
Status](https://jenkins.dalibo.info/buildStatus/public/Multicorn)](())
Multicorn =====...

tds_fdw 1.0.7
# TDS Foreign data wrapper * **Author:** Geoff Montee * **Name:**
tds_fdw * **File:** tds_fdw/README.md ## About This is a [PostgreSQL
foreign data...

pmpp 1.2.3
... Having foreign server definitions and user mappings makes for
cleaner function invocations.

file_textarray_fdw 1.0.1
### File Text Array Foreign Data Wrapper for PostgreSQL This *FDW* is
similar to the provided file_fdw, except that instead of the foreign
table having named fields to match the fields in the data...

floatfile 1.3.0
Also I'd need to compare the performance of this vs an *FDW*. If I do
switch to an *FDW*, I'll probably use [Andrew Dunstan's
`file_text_array_fdw`](https://github.com/adunstan/file_text_array_fdw)
as a...

pg_pathman 1.4.13
... event handling; * Non-blocking concurrent table partitioning; *
+FDW* support (foreign partitions); * Various GUC toggles and
configurable settings.
```

Pour peu que le Instant Client d'Oracle soit installé, on peut par exemple lancer :

```
> pgxn install oracle_fdw
INFO: best version: oracle_fdw 1.1.0
INFO: saving /tmp/tmpihaor2is/oracle_fdw-1.1.0.zip
INFO: unpacking: /tmp/tmpihaor2is/oracle_fdw-1.1.0.zip
INFO: building extension
gcc -O3 -O0 -Wall -Wmissing-prototypes -Wpointer-arith [...]
[...]
INFO: installing extension
/usr/bin/mkdir -p '/opt/postgres/lib'
/usr/bin/mkdir -p '/opt/postgres/share/extension'
/usr/bin/mkdir -p '/opt/postgres/share/extension'
/usr/bin/mkdir -p '/opt/postgres/share/doc/extension'
/usr/bin/install -c -m 755 oracle_fdw.so '/opt/postgres/lib/oracle_fdw.so'
/usr/bin/install -c -m 644 oracle_fdw.control '/opt/postgres/share/extension/'
```

```
/usr/bin/install -c -m 644 oracle_fdw--1.1.sql\oracle_fdw--1.0--1.1.sql  
    '/opt/postgres/share/extension/'  
/usr/bin/install -c -m 644 README.oracle_fdw \  
    '/opt/postgres/share/doc/extension/'
```



Attention : le fait qu'un projet soit hébergé sur PGXN n'est absolument pas une validation de la part du projet PostgreSQL. De nombreux projets hébergés sur PGXN sont encore en phase de développement, voire abandonnés. Il faut avoir le même recul que pour n'importe quel autre brique libre.

5.9 CRÉER SON EXTENSION



- Pas si compliqué
- Peut-être juste quelques fonctions SQL
- Référence : documentation, *Empaqueter des objets dans une extension*¹⁵
- Exemples SQL et C : blog Dalibo¹⁶

Il n'est pas très compliqué de créer sa propre extension pour diffuser aisément des outils. Elle peut se limiter à des fonctions en SQL ou PL/pgSQL. Le versionnement des extensions et la facilité de mise à jour peuvent être extrêmement utiles.

Deux exemples de création de fonctions en SQL ou C sont disponibles sur le blog Dalibo¹⁷. Un autre billet de blog présente une extension utilisable pour l'archivage¹⁸.

La référence reste évidemment la documentation de PostgreSQL, chapitre *Empaqueter des objets dans une extension*¹⁹.

¹⁷<https://blog.dalibo.com/2023/06/08/hackingpg1.html>

¹⁸<https://blog.dalibo.com/2023/07/28/hackingpg2.html>

¹⁹<https://docs.postgresql.fr/current/extend-extensions.html>

5.10 CONCLUSION



- Un nombre toujours plus important d'extension pour étendre les possibilités de PostgreSQL
- Un site central pour les extensions : PGXN.org
- Rajoutez les vôtres!

Cette possibilité d'étendre les fonctionnalités de PostgreSQL est vraiment un atout majeur du projet PostgreSQL. Cela permet de tester des fonctionnalités sans avoir à toucher au moteur de PostgreSQL et risquer des états instables.

Une fois l'extension mature, elle peut être intégrée directement dans le code de PostgreSQL si elle est considérée utile au moteur.

N'hésitez pas à créer vos propres extensions et à les diffuser!

5.10.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment!

5.11 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/x1_solutions.

5.11.1 Masquage statique de données avec PostgreSQL Anonymizer



But : Découverte de l'extension PostgreSQL Anonymizer et du masquage statique

Installer l'extension PostgreSQL Anonymizer en suivant la procédure décrite sur la page Installation^a de la documentation.

^a<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/INSTALL/>

Créer une table `customer` :

```
CREATE TABLE customer (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  firstname TEXT,
  lastname TEXT,
  phone TEXT,
  birth DATE,
  postcode TEXT
);
```

Ajouter des individus dans la table :

```
INSERT INTO customer
VALUES
(107, 'Sarah', 'Conor', '060-911-0911', '1965-10-10', '90016'),
(258, 'Luke', 'Skywalker', NULL, '1951-09-25', '90120'),
(341, 'Don', 'Draper', '347-515-3423', '1926-06-01', '04520')
;
```

Lire la documentation sur comment déclarer une règle de masquage^a et placer une règle pour générer un faux nom de famille sur la colonne `lastname`. \ Déclarer une règle de masquage statique sur la colonne `lastname` et l'appliquer. \ Vérifier le contenu de la table.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/latest/declare_masking_rules/

Réappliquer le masquage statique^a. Qu'observez-vous ?

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/static_masking/

5.11.2 Masquage dynamique de données avec PostgreSQL Anonymizer



But : Mettre en place un masquage dynamique avec PostgreSQL Anonymizer

Parcourir la liste des fonctions de masquage^a et écrire une règle pour cacher partiellement le numéro de téléphone. \ Activer le masquage dynamique. \ Appliquer le masquage dynamique uniquement sur la colonne `phone` pour un nouvel utilisateur nommé **soustraitant**.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions/

5.12 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

5.12.1 Masquage statique de données avec PostgreSQL Anonymizer

Installer l'extension PostgreSQL Anonymizer en suivant la procédure décrite sur la page [Installation^a](https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/INSTALL/) de la documentation.

^a<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/INSTALL/>

Sur Rocky Linux ou autre dérivé Red Hat, depuis les dépôts du PGDG :

```
sudo dnf install postgresql_anonymizer_14
```

Au besoin, remplacer 14 par la version de l'instance PostgreSQL.

La base de travail ici se nomme **sensible**. Se connecter à l'instance pour initialiser l'extension :

```
ALTER DATABASE sensible SET session_preload_libraries = 'anon' ;
```

Après reconnexion à la base **sensible** :

```
CREATE EXTENSION anon CASCADE ;
```

```
SELECT anon.init(); -- ne pas oublier !
```

Créer une table `customer` :

```
CREATE TABLE customer (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    firstname TEXT,
    lastname TEXT,
    phone TEXT,
    birth DATE,
    postcode TEXT
);
```

Ajouter des individus dans la table :

```
INSERT INTO customer
VALUES
(107, 'Sarah', 'Conor', '060-911-0911', '1965-10-10', '90016'),
(258, 'Luke', 'Skywalker', NULL, '1951-09-25', '90120'),
(341, 'Don', 'Draper', '347-515-3423', '1926-06-01', '04520')
;
```

```
SELECT * FROM customer ;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
107	Sarah	Conor	060-911-0911	1965-10-10	90016
258	Luke	Skywalker		1951-09-25	90120
341	Don	Draper	347-515-3423	1926-06-01	04520

Lire la documentation sur comment déclarer une règle de masquage^a et placer une règle pour générer un faux nom de famille sur la colonne `lastname`. \ Déclarer une règle de masquage statique sur la colonne `lastname` et l'appliquer. \ Vérifier le contenu de la table.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/latest/declare_masking_rules/

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.lastname
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.fake_last_name()' ;
```

Si on consulte la table avec :

```
SELECT * FROM customer ;
```

les données ne sont pas encore masquées car la règle n'est pas appliquée. L'application se fait avec :

```
SELECT anon.anonymize_table('customer') ;
```

```
SELECT * FROM customer;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
107	Sarah	Waelchi	060-911-0911	1965-10-10	90016
258	Luke	Lemke		1951-09-25	90120
341	Don	Shanahan	347-515-3423	1926-06-01	04520

NB : les données de la table ont ici bien été modifiées sur le disque.

Réappliquer le masquage statique^a. Qu'observez-vous ?

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/static_masking/

Si l'on relance l'anonymisation plusieurs fois, les données factices vont changer car la fonction `fake_last_name()` renvoie des valeurs différentes à chaque appel.

```
SELECT anon.anonymize_table('customer');
```

```
SELECT * FROM customer;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
107	Sarah	Smith	060-911-0911	1965-10-10	90016
258	Luke	Sanford		1951-09-25	90120
341	Don	Goldner	347-515-3423	1926-06-01	04520

5.12.2 Masquage dynamique de données avec PostgreSQL Anonymizer

Parcourir la liste des fonctions de masquage^a et écrire une règle pour cacher partiellement le numéro de téléphone. \ Activer le masquage dynamique. \ Appliquer le masquage dynamique uniquement sur la colonne `phone` pour un nouvel utilisateur nommé **soustraitant**.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions/

```

SELECT anon.start_dynamic_masking();

SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.phone
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.partial(phone,2,$$X-XXX-XX$$,2)';

SELECT anon.anonymize_column('customer','phone');

SELECT * FROM customer ;

```

Les numéros de téléphone apparaissent encore car ils ne sont pas masqués à l'utilisateur en cours. Il faut le déclarer pour les utilisateurs concernés :

```

CREATE ROLE soustraitant LOGIN ;
\password soustraitant

GRANT SELECT ON customer TO soustraitant ;
SECURITY LABEL FOR anon ON ROLE soustraitant IS 'MASKED';

```

Ce nouvel utilisateur verra à chaque fois des noms différents (masquage dynamique), et des numéros de téléphone partiellement masqués :

```

\c sensible soustraitant
SELECT * FROM customer ;

```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
107	Sarah	Kovacek	06X-XXX-XX11	1965-10-10	90016
258	Luke	Effertz	ø	1951-09-25	90120
341	Don	Turcotte	34X-XXX-XX23	1926-06-01	04520

Pour consulter la configuration de masquage en place, utiliser une des vues fournies dans le schéma

anon :

```

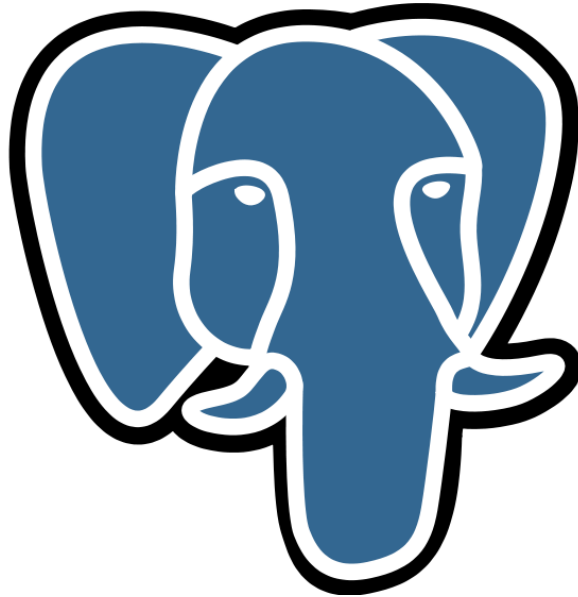
=# SELECT * FROM anon.pg_masks \gx

-[ RECORD 1 ]-----+-----
attrelid            | 41853
attnum              | 3
relnamespace        | public
relname             | customer
attname             | lastname
format_type         | text
col_description     | MASKED WITH FUNCTION anon.fake_last_name()
masking_function     | anon.fake_last_name()
masking_value       |
priority            | 100
masking_filter       | anon.fake_last_name()
trusted_schema      | t
-[ RECORD 2 ]-----+-----
attrelid            | 41853
attnum              | 4
relnamespace        | public
relname             | customer
attname             | phone
format_type         | text
col_description     | MASKED WITH FUNCTION anon.partial(phone,2,$$X-XXX-XX$$,2)
masking_function     | anon.partial(phone,2,$$X-XXX-XX$$,2)

```

masking_value		
priority		100
masking_filter		anon.partial(phone,2,\$\$X-XXX-XX\$\$,2)
trusted_schema		t

6/ Partitionnement sous PostgreSQL



6.1 PRINCIPE & INTÉRÊTS DU PARTITIONNEMENT



- Principes et intérêts
- Historique
- Les différents types
 - applicatif
 - par héritage (historique)
 - déclaratif (à favoriser)

Le partitionnement est une technique consistant à scinder des grosses tables en plusieurs « partitions », d'abord pour des raisons de place et de maintenance. Dans l'idéal, la table partitionnée reste utilisable en tant que table unique, de manière plus ou moins transparente.

Un partitionnement entièrement géré par le moteur n'existe réellement que depuis la version 10 de PostgreSQL.

Jusqu'à la version 9.6, PostgreSQL ne connaissait que le partitionnement « par héritage », nettement moins flexible et performant. Bien sûr, il existe encore beaucoup d'applications qui « partitionnent » les données elles-mêmes, sans utiliser les mécanismes du moteur.

6.1.1 Pourquoi partitionner ?



- Faciliter la maintenance de gros volumes
 - `VACUUM ( FULL )`, réindexation, déplacements, sauvegarde logique...
- Gain en performance
 - parcours complet sur de plus petites tables
 - statistiques par partition plus précises
 - purge par partitions entières
 - `pg_dump` parallélisable
 - tablespaces différents (données froides/chaudes)
- Attention à la maintenance sur le code

Maintenir de très grosses tables peut devenir fastidieux, voire impossible. Ce genre de problème peut survenir :

- `VACUUM FULL` trop longs voire impossibles à cause d'un espace disque insuffisant;
- *autovacuum* pas assez réactif sur les grosses tables;
- index trop gros et réindexations interminables;
- `pg_dump` ne sait pas paralléliser la sauvegarde d'une table volumineuse;
- purge de grandes quantités de données très longue;
- statistiques plus assez fines (et augmenter l'échantillonnage ne suffit pas forcément);

- dilution des lignes actives dans la table au détriment du *hit ratio* et des I/O;
- mauvaise corrélation de lignes récupérées ensembles;
- impossibilité de séparer données actives et inactives au niveau physique (*tablespaces*).

Certains outils existent pour mitiger ces problèmes (index partiels, index BRIN, autovacuum plus agressif...) mais ne sont pas des solutions définitives.

Le partitionnement consiste à scinder une table en plusieurs sous-tables (partitions) elles-mêmes manipulables en tant que tables à part entière.

Maintenance

La maintenance s'effectue sur les partitions plutôt que sur l'ensemble complet des données. En particulier, un `VACUUM FULL` ou une réindexation peuvent s'effectuer partition par partition, ce qui permet de limiter les interruptions en production, et lisser la charge.

`pg_dump` peut sauvegarder les différentes partitions d'une même table en parallèle.

Le partitionnement est aussi un préalable au déplacement d'une partie des données dans un autre *tablespace* pour des raisons de place, ou pour déporter les parties les moins utilisées de la table vers des disques plus lents et moins chers. Cependant, il faut mettre en balance le coût de migration du modèle existant avec l'économie réalisée sur les disques.

Parcours complet de partitions

Certaines requêtes (notamment décisionnelles) ramènent tant de lignes, ou ont des critères si complexes, qu'un parcours complet de la table est souvent privilégié par l'optimiseur.

Un partitionnement, souvent par date, permet de ne parcourir qu'une ou quelques partitions au lieu de l'ensemble des données. C'est le rôle de l'optimiseur de choisir la partition (*partition pruning*), par exemple celle de l'année en cours, ou des mois sélectionnés.

Suppression des partitions

La suppression de données parmi un gros volume peut poser des problèmes d'accès concurrents ou de performance, par exemple dans le cas de purges. En configurant judicieusement les partitions, on peut résoudre cette problématique en supprimant une partition (ici en partitionnement déclaratif) :

```
DROP TABLE nompartition ;
```

ou en la *détachant* :

```
ALTER TABLE table_partitionnee DETACH PARTITION nompartition ;
```

pour l'archiver (et la réattacher au besoin) ou la supprimer ultérieurement.

D'autres optimisations sont décrites dans ce billet de blog d'Adrien Nayrat¹ : statistiques plus précises au niveau d'une partition, réduction plus simple de la fragmentation des index, jointure par rapprochement des partitions...

La principale difficulté d'un système de partitionnement consiste à partitionner avec un impact minimal sur la maintenance du code par rapport à une table classique.

¹<https://blog.anayrat.info/2021/09/01/cas-dusages-du-partitionnement-natif-dans-postgresql/>

6.2 PARTITIONNEMENT APPLICATIF



...ou la réinvention de la roue

6.2.1 Partitionnement applicatif



- Gestion au niveau applicatif, table par table
- Complexité pour le développeur
- Intégrité des données ?

L'application peut gérer le partitionnement elle-même, par exemple en créant des tables numérotées par mois, année... Le moteur de PostgreSQL ne voit que des tables classiques et ne peut assurer l'intégrité entre ces données.

Sur le principe, c'est très simple. Mais le développeur doit réinventer la roue :

- choix de la table dans chaque requête;
- cohérence des schémas de données entre chaque table/partition;
- gestion des index sur chacune... La lecture des données qui concerne plusieurs tables peut devenir délicate.

Ce modèle extrêmement fréquent est bien sûr à éviter, Ce modèle est bien sûr à éviter, mais on le rencontre encore fréquemment.

6.3 PARTITIONNEMENT PAR HÉRITAGE



Historique, ou pour un cas très spécifique

6.3.1 Partitionnement par héritage



```
CREATE TABLE mammiferes (pattes int) INHERITS (animaux) ;
CREATE TABLE primates (debout boolean) INHERITS (mammiferes) ;
```

- Table mère :
 - définie normalement, peut contenir des lignes
- Tables filles :
 - héritent des propriétés de la table mère
 - ...mais pas des contraintes, index et droits
 - colonnes supplémentaires possibles
 - Insertion applicative ou par trigger (lent!)

Cette technique était assez utilisée, faute de mieux, pour partitionner avant PostgreSQL 10. Des applications l'utilisant peuvent encore se rencontrer.

Principe du partitionnement par héritage :

PostgreSQL permet de créer des tables qui héritent les unes des autres. L'héritage d'une table mère transmet les propriétés suivantes à la table fille :

- les colonnes, avec le type et les valeurs par défaut;
- les contraintes `CHECK`.

Les tables filles peuvent ajouter leurs propres colonnes. Par exemple :

```
CREATE TABLE animaux (nom text PRIMARY KEY);
INSERT INTO animaux VALUES ('Éponge');
INSERT INTO animaux VALUES ('Ver de terre');

CREATE TABLE cephalopodes (nb_tentacules integer) INHERITS (animaux);
INSERT INTO cephalopodes VALUES ('Poulpe', 8);

CREATE TABLE vertebres (nb_membres integer) INHERITS (animaux);

CREATE TABLE tetrapodes () INHERITS (vertebres);
ALTER TABLE ONLY tetrapodes ALTER COLUMN nb_membres SET DEFAULT 4 ;

CREATE TABLE poissons (eau_douce boolean) INHERITS (tetrapodes);
INSERT INTO poissons (nom, eau_douce) VALUES ('Requin', false);
INSERT INTO poissons (nom, nb_membres, eau_douce) VALUES ('Anguille', 0, false);
```

La table `poissons` possède les champs des tables dont elle hérite :

\d+ poissons

Table "public.poissons"					
Column	Type	Collation	Nullable	Default	...
nom	text		not null		...
nb_membres	integer			4	...
eau_douce	boolean				...

Inherits: tetrapodes
Access method: heap

On peut créer toute une hiérarchie avec des branches parallèles, chacune avec ses colonnes propres :

```
CREATE TABLE reptiles (venimeux boolean) INHERITS (tetrapodes);
INSERT INTO reptiles VALUES ('Crocodile', 4, false);
INSERT INTO reptiles VALUES ('Cobra', 0, true);

CREATE TABLE mammiferes () INHERITS (tetrapodes);

CREATE TABLE cetartiodactyles (
    cornes boolean,
    bosse boolean
) INHERITS (mammiferes);
INSERT INTO cetartiodactyles VALUES ('Girafe', 4, true, false);
INSERT INTO cetartiodactyles VALUES ('Chameau', 4, false, true);

CREATE TABLE primates (debout boolean) INHERITS (mammiferes);
INSERT INTO primates (nom, debout) VALUES ('Chimpanzé', false);
INSERT INTO primates (nom, debout) VALUES ('Homme', true);
```

\d+ primates

Table "public.primates"					
Column	Type	Collation	Nullable	Default	...
nom	text		not null		...
nb_membres	integer			4	...
debout	boolean				...

Inherits: mammiferes
Access method: heap

On remarquera que la clé primaire manque. En effet, l'héritage ne transmet pas :

- les contraintes d'unicité et référentielles;
- les index;
- les droits.

Chaque table possède ses propres lignes :

```
SELECT * FROM poissons ;
```

nom	nb_membres	eau_douce
Requin	4	f
Anguille	0	f

Par défaut une table affiche aussi le contenu de ses tables filles et les colonnes communes :

```
SELECT * FROM animaux ORDER BY 1 ;
```

nom

Anguille
Chameau
Chimpanzé
Cobra
Crocodile
Éponge
Girafe
Homme
Poulpe
Requin
Ver de terre

```
SELECT * FROM tetrapodes ORDER BY 1 ;
```

nom	nb_membres
-----+-----	
Anguille	0
Chameau	4
Chimpanzé	4
Cobra	0
Crocodile	4
Girafe	4
Homme	4
Requin	4

```
EXPLAIN SELECT * FROM tetrapodes ORDER BY 1 ;
```

QUERY PLAN

Sort (cost=420.67..433.12 rows=4982 width=36)
Sort Key: tetrapodes.nom
-> Append (cost=0.00..114.71 rows=4982 width=36)
-> Seq Scan on tetrapodes (cost=0.00..0.00 rows=1 width=36)
-> Seq Scan on poissons (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)
-> Seq Scan on reptiles (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)
-> Seq Scan on mammiferes (cost=0.00..0.00 rows=1 width=36)
-> Seq Scan on cetartiodactyles (cost=0.00..22.30 rows=1230 width=36)
-> Seq Scan on primates (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)

Pour ne consulter que le contenu de la table sans ses filles :

```
SELECT * FROM ONLY animaux ;
```

nom

Éponge
Ver de terre

Limites et problèmes :

En conséquence, on a bien affaire à des tables indépendantes. Rien n'empêche d'avoir des doublons entre la table mère et la table fille. Cela empêche aussi bien sûr la mise en place de clé étrangère,

puisque une clé étrangère s'appuie sur une contrainte d'unicité de la table référencée. Lors d'une insertion, voire d'une mise à jour, le choix de la table cible se fait par l'application ou un trigger sur la table mère.

Il faut être vigilant à bien recréer les contraintes et index manquants ainsi qu'à attribuer les droits sur les objets de manière adéquate. L'une des erreurs les plus fréquentes est d'oublier de créer les contraintes, index et droits qui n'ont pas été transmis.

Ce type de partitionnement est un héritage des débuts de PostgreSQL, à l'époque de la mode des « bases de donnée objet ». Dans la pratique, dans les versions antérieures à la version 10, l'héritage était utilisé pour mettre en place le partitionnement. La maintenance des index, des contraintes et la nécessité d'un trigger pour aiguiller les insertions vers la bonne table fille, ne facilitaient pas la maintenance. Les performances en écritures étaient bien en-deçà des tables classiques ou du partitionnement déclaratif apparu ensuite.

Table partitionnée en détournant le partitionnement par héritage :

```
CREATE TABLE t3 (c1 integer, c2 text);
CREATE TABLE t3_1 (CHECK (c1 BETWEEN 0 AND 999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_2 (CHECK (c1 BETWEEN 1000000 AND 1999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_3 (CHECK (c1 BETWEEN 2000000 AND 2999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_4 (CHECK (c1 BETWEEN 3000000 AND 3999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_5 (CHECK (c1 BETWEEN 4000000 AND 4999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_6 (CHECK (c1 BETWEEN 5000000 AND 5999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_7 (CHECK (c1 BETWEEN 6000000 AND 6999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_8 (CHECK (c1 BETWEEN 7000000 AND 7999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_9 (CHECK (c1 BETWEEN 8000000 AND 8999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_0 (CHECK (c1 BETWEEN 9000000 AND 9999999)) INHERITS (t3);
```

-- Fonction et trigger de répartition pour les insertions :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION insert_into() RETURNS TRIGGER
LANGUAGE plpgsql
AS $FUNC$
BEGIN
    IF NEW.c1 BETWEEN 0 AND 999999 THEN
        INSERT INTO t3_1 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 1000000 AND 1999999 THEN
        INSERT INTO t3_2 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 2000000 AND 2999999 THEN
        INSERT INTO t3_3 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 3000000 AND 3999999 THEN
        INSERT INTO t3_4 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 4000000 AND 4999999 THEN
        INSERT INTO t3_5 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 5000000 AND 5999999 THEN
        INSERT INTO t3_6 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 6000000 AND 6999999 THEN
        INSERT INTO t3_7 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 7000000 AND 7999999 THEN
        INSERT INTO t3_8 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 8000000 AND 8999999 THEN
        INSERT INTO t3_9 VALUES (NEW.*);
    ELSIF NEW.c1 BETWEEN 9000000 AND 9999999 THEN
        INSERT INTO t3_0 VALUES (NEW.*);
    END IF;
END IF;
```

```
RETURN NULL;  
END;  
$FUNC$;
```

```
CREATE TRIGGER tr_insert_t3  
BEFORE INSERT ON t3 FOR EACH ROW  
EXECUTE PROCEDURE insert_into();
```

Noter qu'il reste encore à gérer les mises à jour de lignes... À cause de ce trigger, le temps d'insertion peut être allègrement multiplié par huit ou dix par rapport à une insertion dans une table normale ou dans une table avec le partitionnement déclaratif moderne.

La même table en partitionnement déclaratif par liste est :

```
CREATE TABLE t2 (c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);  
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM ( 0) TO ( 1000000);  
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1000000) TO ( 2000000);  
CREATE TABLE t2_3 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (2000000) TO ( 3000000);  
CREATE TABLE t2_4 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (3000000) TO ( 4000000);  
CREATE TABLE t2_5 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (4000000) TO ( 5000000);  
CREATE TABLE t2_6 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (5000000) TO ( 6000000);  
CREATE TABLE t2_7 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (6000000) TO ( 7000000);  
CREATE TABLE t2_8 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (7000000) TO ( 8000000);  
CREATE TABLE t2_9 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (8000000) TO ( 9000000);  
CREATE TABLE t2_0 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (9000000) TO (10000000);
```



Si le partitionnement par héritage fonctionne toujours sur les versions récentes de PostgreSQL, il est déconseillé pour les nouveaux développements.

6.4 PARTITIONNEMENT DÉCLARATIF

6.4.1 Partitionnement déclaratif



- Mise en place et administration simplifiées, intégrées au moteur
- Gestion automatique des lectures et écritures
 - et rapide
- Partitions
 - attacher/détacher une partition
 - contrainte implicite de partitionnement
 - expression possible pour la clé de partitionnement
 - sous-partitions possibles
 - partition par défaut

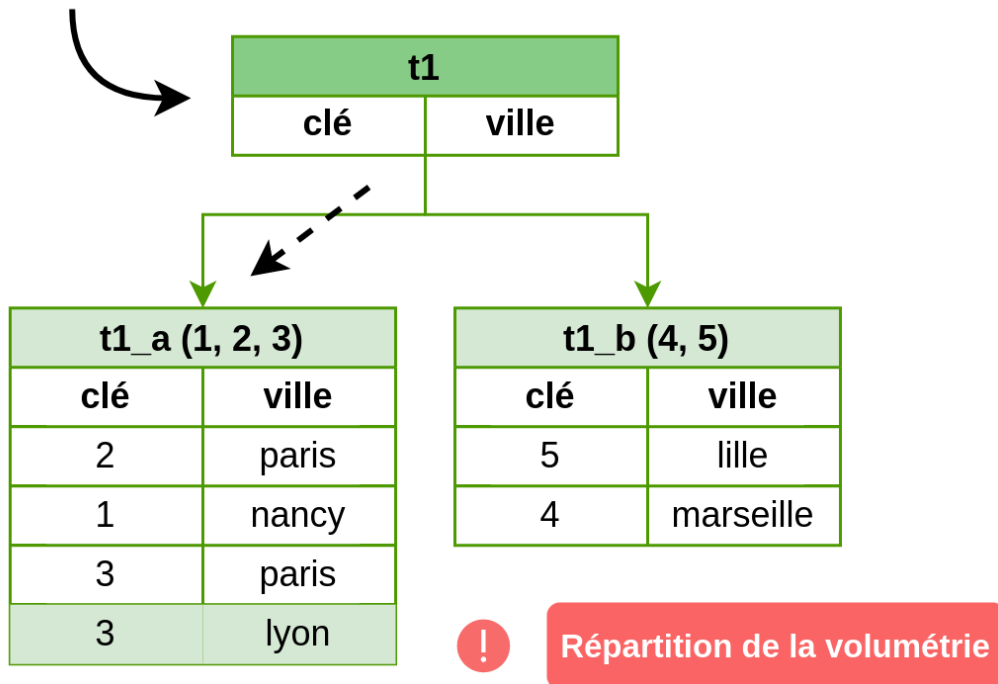
Le partitionnement déclaratif est le système à privilégier de nos jours. Apparue en version 10, il a été grandement amélioré dans les versions 11 à 13, en fonctionnalités comme en performances. Des améliorations continuent à arriver à chaque version : préférez les versions récentes de PostgreSQL. Son but est de permettre une mise en place et une administration simples des tables partitionnées. Des clauses spécialisées ont été ajoutées aux ordres SQL, comme `CREATE TABLE` et `ALTER TABLE`, pour attacher (`ATTACH PARTITION`) et détacher des partitions (`DETACH PARTITION`).

Grosse simplification par rapport à l'ancien partitionnement par héritage : il n'est pas nécessaire d'ajouter des *triggers* pour gérer les insertions et mises à jour. Le routage est géré de façon automatique en fonction de la définition des partitions, au besoin vers une partition par défaut, et sans pénalité notable en performances.

Contrairement au partitionnement par héritage, la table partitionnée ne contient pas elle-même de ligne, ce n'est qu'une coquille vide.

6.4.2 Partitionnement par liste

INSERT INTO t1 VALUES (3, 'lyon');



6.4.3 Partitionnement par liste : implémentation



- Liste de valeurs par partition
- statut, client, pays, année ou mois...
- Clé de partitionnement forcément mono-colonne
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1) ;

CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
...
```

Il est possible de partitionner une table par valeurs. Ce type de partitionnement fonctionne uniquement avec une clé de partitionnement mono-colonne (on verra qu'il est possible de sous-partitionner). Il faut que le nombre de valeurs soit assez faible pour être listé explicitement. Le partitionnement par liste est adapté par exemple au partitionnement par :

- type d'un objet;

- client final (si peu de clients);
- géographie : pays, entité commerciale, entrepôt...;
- statut d'un objet, pour isoler les données froides dans leur partition;
- année ou mois (ne pas oublier de créer régulièrement de nouvelles partitions) pour faciliter les purges.

Voici un exemple de création d'une table partitionnée par liste et de ses partitions :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1);
```

```
CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
```

```
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
```

Les noms des partitions sont à définir par l'utilisateur, il n'y a pas d'automatisme ni de convention particulière.

Lors de l'insertion, les données sont correctement redirigées vers leur partition, comme le montre cette requête :

```
INSERT INTO t1 VALUES (1);
INSERT INTO t1 VALUES (2);
INSERT INTO t1 VALUES (5);
SELECT tableoid::regclass, * FROM t1;
```

tableoid	c1	c2
t1_a	1	
t1_a	2	
t1_b	5	

Il est aussi possible d'interroger directement une partition (ici `t1_a` et non `t1`) :

```
SELECT * FROM t1_a ;
```

c1	c2
1	
2	

Si aucune partition correspondant à la clé insérée n'est trouvée et qu'aucune partition par défaut n'est déclarée, une erreur se produit.

```
INSERT INTO t1 VALUES (0);
```

```
ERROR: no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL: Partition key of the failing row contains (c1) = (0).
```

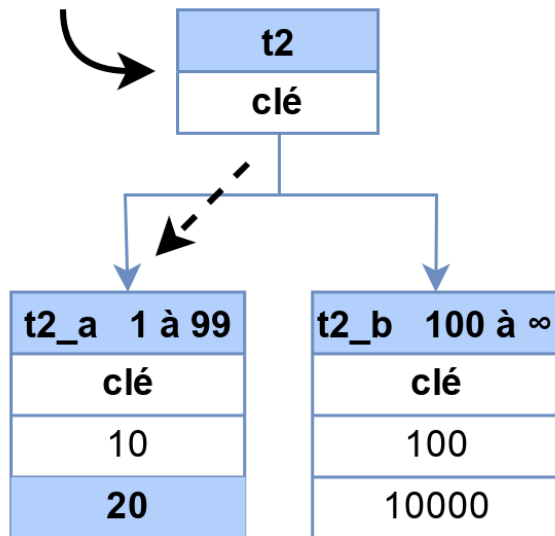
```
INSERT INTO t1 VALUES (6);
```

```
ERROR: no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL: Partition key of the failing row contains (c1) = (6).
```

Si la clé de partitionnement d'une ligne est modifiée par un `UPDATE`, la ligne change automatiquement de partition (sauf en version 10, où ce n'est pas implémenté, et l'on obtient une erreur).

6.4.4 Partitionnement par intervalle

INSERT INTO t2 VALUES (20);



Répartition de la volumétrie

6.4.5 Partitionnement par intervalle : implémentation



- Clé de partitionnement mono- ou multicolonne
- dates, id...
- Bornes :
 - supérieure exclue
 - MINVALUE / MAXVALUE pour infinis
- Syntaxe :

```

CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);

CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1) TO (100);
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (100) TO (MAXVALUE);
...

```

Le partitionnement par intervalle est très courant quand il y a de nombreuses valeurs différentes de la clé de partitionnement, ou qu'elle doit être multicolonne, par exemple :

- selon une tranche de dates, notamment pour faciliter des purges;

— selon des plages d'identifiants d'objets : client final, produit...

Voici un exemple de création de la table partitionnée et de deux partitions :

```
CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1) to (100);
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (100) TO (MAXVALUE);
```

Le `MAXVALUE` indique la valeur maximale du type de données : `t2_2` acceptera donc tous les entiers supérieurs ou égaux à 100.



Noter que les bornes supérieures des partitions sont **exclues** ! La valeur 100 ira donc dans la seconde partition.

Lors de l'insertion, les données sont redirigées vers leur partition, s'il y en a une :

```
INSERT INTO t2 VALUES (0);
```

```
ERROR: no PARTITION OF relation "t2" found for row
DETAIL: Partition key of the failing row contains (c1) = (0).
```

```
INSERT INTO t2 VALUES (10, 'dix');
```

```
INSERT INTO t2 VALUES (100, 'cent');
INSERT INTO t2 VALUES (10000, 'dix mille');
SELECT * FROM t2 ;
```

c1	c2
10	dix
100	cent
10000	dix mille

(3 lignes)

```
SELECT * FROM t2_2 ;
```

c1	c2
100	cent
10000	dix mille

(2 lignes)

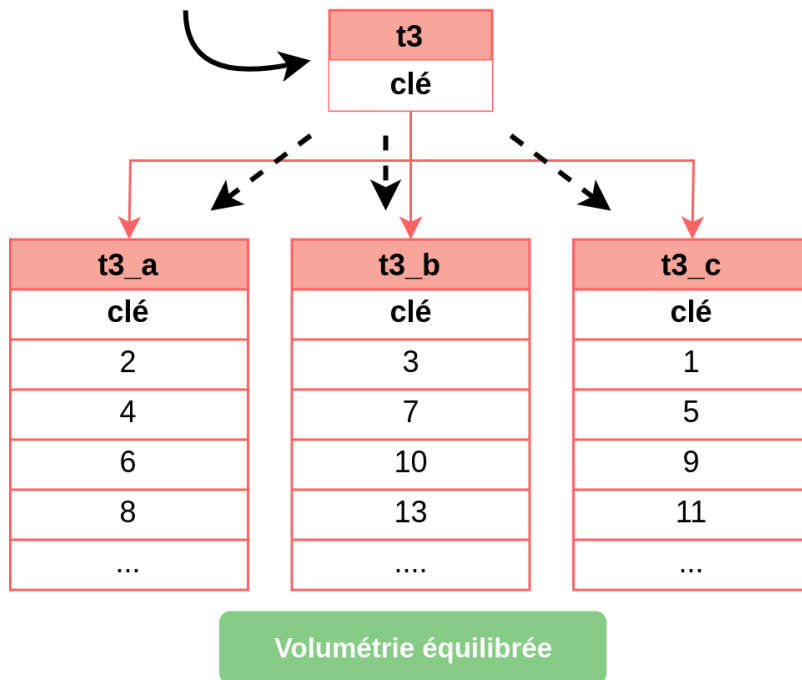
La colonne système `tableoid` permet de connaître la partition d'où provient une ligne :

```
SELECT ctid, tableoid::regclass, * FROM t2 ;
```

ctid	tableoid	c1	c2
(0,1)	t2_1	10	dix
(0,1)	t2_2	100	cent
(0,2)	t2_2	10000	dix mille

6.4.6 Partitionnement par hachage

INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 100) ;



6.4.7 Partitionnement par hachage : principe



Pour une répartition uniforme des données :

- Hachage de valeurs par partition
- indiquer un modulo et un reste
- Clé de partitionnement mono- ou multicolonne
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t3(c1 integer, c2 text) PARTITION BY HASH (c1);
```

```
CREATE TABLE t3_a PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 0);
```

```
CREATE TABLE t3_b PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 1);
```

```
CREATE TABLE t3_c PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 2);
```

Si la clé de partitionnement n'est pas évidente et que le besoin est surtout de répartir la volumétrie en partitions de tailles équivalentes, le partitionnement par hachage est adapté. Voici comment partitionner par hachage une table en trois partitions :

```
CREATE TABLE t3(c1 integer, c2 text) PARTITION BY HASH (c1);
```

```
CREATE TABLE t3_1 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 0);
CREATE TABLE t3_2 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 1);
CREATE TABLE t3_3 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 2);
```

Une grosse insertion de données répartira les données de manière équitable entre les différentes partitions :

```
INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 1000000);
```

```
SELECT relname, count(*) FROM t3
JOIN pg_class ON t3.tableoid=pg_class.oid
GROUP BY 1;
```

relname	count
t3_1	333263
t3_2	333497
t3_3	333240

6.4.8 Clé de partitionnement multicolonne



- Clé sur plusieurs colonnes :
 - si partitionnement par intervalle ou hash (pas par liste)
 - et si 1er champ toujours présent
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text, c3 date)
PARTITION BY RANGE (c1, c3) ;

CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1
FOR VALUES FROM (1, '2017-08-10') TO (100, '2017-08-11') ;
...
```

Avec le partitionnement par intervalle, il est possible de créer les partitions en utilisant plusieurs colonnes. On profitera de l'exemple ci-dessous pour montrer l'utilisation conjointe de tablespaces différents. Commençons par créer les tablespaces :

```
CREATE TABLESPACE ts0 LOCATION '/tablespaces/ts0';
CREATE TABLESPACE ts1 LOCATION '/tablespaces/ts1';
CREATE TABLESPACE ts2 LOCATION '/tablespaces/ts2';
CREATE TABLESPACE ts3 LOCATION '/tablespaces/ts3';
```

Créons maintenant la table partitionnée et deux partitions :

```
CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text, c3 date not null)
PARTITION BY RANGE (c1, c3);
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2
FOR VALUES FROM (1, '2017-08-10') TO (100, '2017-08-11')
TABLESPACE ts1;
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2
```

```
FOR VALUES FROM (100, '2017-08-11') TO (200, '2017-08-12')
TABLESPACE ts2;
```

La borne supérieure étant exclue, la valeur (100, '2017-08-11') fera donc partie de la seconde partition. Si les valeurs sont bien comprises dans les bornes, tout va bien :

```
INSERT INTO t2 VALUES (1, 'test', '2017-08-10');
INSERT INTO t2 VALUES (150, 'test2', '2017-08-11');
```

Mais si la valeur pour c1 est trop petite :

```
INSERT INTO t2 VALUES (0, 'test', '2017-08-10');
```

```
ERROR: no partition of relation "t2" found for row
DÉTAIL : Partition key of the failing row contains (c1, c3) = (0, 2017-08-10).
```

De même, si la valeur pour c3 (colonne de type date) est antérieure :

```
INSERT INTO t2 VALUES (1, 'test', '2017-08-09');
```

```
ERROR: no partition of relation "t2" found for row
DÉTAIL : Partition key of the failing row contains (c1, c3) = (1, 2017-08-09).
```

Les valeurs spéciales MINVALUE et MAXVALUE permettent de ne pas indiquer de valeur de seuil limite. Les partitions t2_0 et t2_3 pourront par exemple être déclarées comme suit et permettront d'insérer les lignes qui étaient ci-dessus en erreur.

```
CREATE TABLE t2_0 PARTITION OF t2
FOR VALUES FROM (MINVALUE, MINVALUE) TO (1, '2017-08-10')
TABLESPACE ts0;
```

```
CREATE TABLE t2_3 PARTITION OF t2
FOR VALUES FROM (200, '2017-08-12') TO (MAXVALUE, MAXVALUE)
TABLESPACE ts3;
```

Enfin, on peut consulter la table pg_class afin de vérifier la présence des différentes partitions :

```
ANALYZE t2;
SELECT relname, relispartition, relkind, reltuples
FROM pg_class WHERE relname LIKE 't2%';
```

relname	relispartition	relkind	reltuples
t2	f	p	0
t2_0	t	r	2
t2_1	t	r	1
t2_2	t	r	1
t2_3	t	r	0

Performances :

Si le premier champ de la clé de partitionnement n'est pas fourni, il semble que l'optimiseur ne sache pas cibler correctement les partitions. Il balayera toutes les partitions. Ce peut être gênant si ce premier champ n'est pas systématiquement présent dans les requêtes.

Le sous-partitionnement est une alternative à étudier, également plus souple.

Il faut faire attention à ce que le nombre de combinaisons possibles ne mène pas à trop de partitions.

6.4.9 Sous-partitionnement



S'il y a deux chemins d'accès privilégiés :

```
CREATE TABLE objets (id int, statut int, annee int, t text)
PARTITION BY LIST (statut) ;
```

```
CREATE TABLE objets_123
PARTITION OF objets FOR VALUES IN (1, 2, 3)
PARTITION BY LIST (annee) ;
```

```
CREATE TABLE objets_123_2023
PARTITION OF objets_123 FOR VALUES IN (2023) ;
CREATE TABLE objets_123_2024
PARTITION OF objets_123 FOR VALUES IN (2024) ;
```

```
CREATE TABLE objets_45
PARTITION OF objets FOR VALUES IN (4,5) ;
```

— Plus souple que le partitionnement multicolonne

Principe :

Les partitions sont des tables à part entière, qui peuvent donc être elles-mêmes partitionnées. Ce peut être utile si les requêtes alternent entre deux schémas d'accès.

Exemple :

L'exemple ci-dessus crée deux partitions selon `statut` (`objets_123` et `objets_45`). La première partition est elle-même sous-partitionnée par année (`objets_123_2023` et `objets_123_2024`). Cela permet par exemple, de faciliter la purge des données ou d'accélérer le temps de traitement si l'on requête sur une année entière. Il n'a pas été jugé nécessaire de sous-partitionner la seconde partition `objets_45` (par exemple parce qu'elle est petite).

\dt objets*

Liste des relations			
Schéma	Nom	Type	Propriétaire
public	objets	table partitionnée	postgres
public	objets_123	table partitionnée	postgres
public	objets_123_2023	table	postgres
public	objets_123_2024	table	postgres
public	objets_45	table	postgres

Il n'est pas obligatoire de sous-partitionner avec la même technique (liste, intervalle, hachage...) que le partitionnement de plus haut niveau.

Il n'y a pas besoin de fournir la première clé de partitionnement pour que les sous-partitions soient directement accessibles :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE annee = 2023 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append
-> Seq Scan on objets_123_2023 objets_1
    Filter: (annee = 2023)
-> Seq Scan on objets_45 objets_2
    Filter: (annee = 2023)
```

Fournir uniquement la première clé de partitionnement entraînera le parcours de toutes les sous-partitions concernées :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE statut = 3 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append
-> Seq Scan on objets_123_2023 objets_1
    Filter: (statut = 3)
-> Seq Scan on objets_123_2024 objets_2
    Filter: (statut = 3)
```

Bien sûr, l'idéal est de fournir les deux clés de partitionnement pour n'accéder qu'à une partition :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE statut = 3 AND annee = 2024 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Seq Scan on objets_123_2024 objets
    Filter: ((statut = 3) AND (annee = 2024))
```

Cette fonctionnalité peut être ponctuellement utile, mais il ne faut pas en abuser en raison de la complexité supplémentaire. Toutes les clés de partitionnement devront se retrouver dans les clés primaires techniques des tables. Le nombre de partitions peut devenir très important.

Comparaison avec le partitionnement multicolonne :

Le partitionnement multicolonne est conceptuellement plus simple. Pour un même besoin, le nombre de partitions est identique. Mais le sous-partitionnement est plus souple :

- mélange possible des types de partitionnement (par exemple un partitionnement par liste sous-partitionné par intervalle de dates) ;
- type de sous-partitionnement différent possible selon les partitions.

6.4.10 Partition par défaut



- Pour le partitionnement par liste ou par intervalle
- Toutes les données n'allant pas dans les partitions définies iront dans la partition par défaut

```
CREATE TABLE t2_autres PARTITION OF t2 DEFAULT ;
```

- La conserver petite

Ajouter une partition par défaut permet de ne plus avoir d'erreur au cas où une partition n'est pas définie. Par exemple :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1);
CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
```

```
INSERT INTO t1 VALUES (0);
```

```
ERROR: no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL: Partition key of the failing row contains (c1) = (0).
```

```
INSERT INTO t1 VALUES (6);
```

```
ERROR: no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL: Partition key of the failing row contains (c1) = (6).
```

```
-- partition par défaut
CREATE TABLE t1_default PARTITION OF t1 DEFAULT ;
-- on réessaie l'insertion
INSERT INTO t1 VALUES (0);
INSERT INTO t1 VALUES (6);
```

```
SELECT tableoid::regclass, * FROM t1;
```

tableoid	c1	c2
t1_a	1	
t1_a	2	
t1_b	5	
t1_default	0	
t1_default	6	

Comme la partition par défaut risque d'être parcourue intégralement à chaque ajout d'une nouvelle partition, il vaut mieux la garder de petite taille.

Un partitionnement par hachage ne peut posséder de table par défaut puisque les données sont forcément aiguillées vers une partition ou une autre.

6.4.11 Attacher une partition



ALTER TABLE ... ATTACH PARTITION ... FOR VALUES ... ;

- La table doit préexister
- Vérification du respect de la contrainte par les données existantes
 - parcours complet de la table : lent!
 - ...sauf si contrainte `CHECK` identique déjà ajoutée
- Si la partition par défaut a des données qui iraient dans cette partition :
 - erreur à l'ajout de la nouvelle partition
 - détacher la partition par défaut
 - ajouter la nouvelle partition
 - déplacer les données de l'ancienne partition par défaut
 - ré-attacher la partition par défaut

Ajouter une table comme partition d'une table partitionnée est possible mais cela nécessite de vérifier que la contrainte de partitionnement est valide pour toute la table attachée, et que la partition par défaut ne contient pas de données qui devraient figurer dans cette nouvelle partition. Cela résulte en un parcours complet de la table attachée, et de la partition par défaut si elle existe, ce qui sera d'autant plus lent qu'elles sont volumineuses.

Ce peut être très coûteux en disque, mais le plus gros problème est la durée du verrou sur la table partitionnée, pendant toute cette opération. Il est donc conseillé d'ajouter une contrainte `CHECK` adéquate **avant** l'`ATTACH` : la durée du verrou sera raccourcie d'autant. Pour que cette contrainte soit prise en compte, il faut faire attention aux bornes exactes en partitionnement par intervalle, et préciser `IS NOT NULL` si le champ n'est pas `NOT NULL`.

Si des lignes pour cette nouvelle partition figurent déjà dans la partition par défaut, des opérations supplémentaires sont à réaliser pour les déplacer. Ce n'est pas automatique.

Exemple :

```
\set ECHO all
\set timing off
```

```
DROP TABLE IF EXISTS t1 ;
```

```
-- Une table partitionnée avec partition par défaut
```

```
CREATE TABLE t1 (c1 integer, filler char (10))
PARTITION BY LIST (c1);
```

```
CREATE TABLE t1_123 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_45 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
CREATE TABLE t1_default PARTITION OF t1 DEFAULT ;
```

```
-- Données d'origine
```

```
INSERT INTO t1 SELECT 1+mod(i,5) FROM generate_series (1,5000000) i;
```

```
-- Les données sont bien dans les partitions t1_123 et t1_45
SELECT tableoid::regclass, c1, count(*) FROM t1
GROUP BY 1,2 ORDER BY c1 ;

-- Création d'une table pour les valeurs 6 à attacher
CREATE TABLE t1_6 (LIKE t1 INCLUDING ALL) ;
INSERT INTO t1_6 SELECT 6 FROM generate_series (1,1000000);

\dt+ t1*

\timing on
-- on attache la table : elle est scannée, ce qui est long
ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_6 FOR VALUES IN (6) ;
-- noter la nouvelle contrainte sur la table
\d+ t1_6
-- on la détache, la contrainte a disparu
ALTER TABLE t1 DETACH PARTITION t1_6 ;
\d+ t1_6

-- on remet manuellement la même contrainte que ci-dessus
-- (ce qui reste long mais ne pose pas de verrou sur t1)
ALTER TABLE t1_6 ADD CONSTRAINT t1_6_ck CHECK (c1 IS NOT NULL AND c1 = 6) ;
\d+ t1_6
-- l'ATTACH est cette fois presque instantané
ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_6 FOR VALUES IN (6) ;

\timing off

-- On insère par erreur des valeurs 7 sans avoir fait la partition
-- (et sans avoir le droit de les enlever de t1 ensuite)
INSERT INTO t1 SELECT 7 FROM generate_series (1,100);
-- Plus tard, créer la partition pour les valeurs 7 échoue avec l'erreur
-- "constraint for default partition "t1_default" would be violated"
CREATE TABLE t1_7 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (7);

-- Pour corriger cela, au sein d'une transaction,
-- on transfère les données de la partition par défaut
-- vers une nouvelle table qui est ensuite attachée
CREATE TABLE t1_7 (LIKE t1 INCLUDING ALL) ;
ALTER TABLE t1_7 ADD CONSTRAINT t1_7_ck CHECK (c1 IS NOT NULL AND c1 = 7) ;
BEGIN ;
    INSERT INTO t1_7
    SELECT * FROM t1_default WHERE c1=7 ;
    DELETE FROM t1_default WHERE c1=7 ;
    ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_7 FOR VALUES IN (7) ;
COMMIT ;
```

6.4.12 Détacher une partition



ALTER TABLE ... DETACH PARTITION ...

- Simple et rapide
- Mais nécessite un verrou exclusif
- option `CONCURRENTLY` (v14+)

Détacher une partition est beaucoup plus rapide qu'en attacher une. En effet, il n'est pas nécessaire de procéder à des vérifications sur les données des partitions.

Cependant, il reste nécessaire d'acquies un verrou exclusif sur la table partitionnée, ce qui peut prendre du temps si des transactions sont en cours d'exécution. L'option `CONCURRENTLY` (à partir de PostgreSQL 14) mitige le problème malgré quelques restrictions², notamment : pas d'utilisation dans une transaction, incompatibilité avec la présence d'une partition par défaut, et nécessité d'une commande `FINALIZE` si l'ordre a échoué ou été interrompu.

La partition détachée devient alors une table tout à fait classique. Elle perd la contrainte de partitionnement, mais elle conserve les autres contraintes, les index, etc. hérités de la table partitionnée originale, ou directement posés sur la table quand elle était une partition, voire posés avant que la table soit attachée comme partition à la table partitionnée.

6.4.13 Changer la définition d'une partition



- Si pas de conflit entre partitions :

```
BEGIN ;
  ALTER TABLE ... DETACH PARTITION ... CONCURRENTLY ;
  ALTER TABLE ... ATTACH PARTITION ... FOR <nouveau critère> ;
END ;
```

- Sinon : déplacement de données manuel

Modifier la définition d'une partition n'est pas directement prévu. S'il s'agit d'élargir une partition (liste ou intervalle), sans avoir à gérer un recouvrement avec une autre partition, il est possible de détacher la partition, puis de la réattacher avec sa nouvelle définition, le tout au sein d'une partition. La re-vérification des données prendra cependant du temps. L'astuce du `CHECK` redondant avec la contrainte de partitionnement, posé avant le `DETACH`, fonctionne là aussi et réduit la durée du verrou.

²<https://docs.postgresql.fr/current/sql-altertable.html#SQL-ALERTABLE-DETACH-PARTITION>

S'il faut couper une partition en deux (*split*), ou fusionner des partitions (*merge*), il faudra migrer les données manuellement, si possible dans une seule transaction. (La fonctionnalité était prévue pour PostgreSQL 17 mais a été retirée peu avant la sortie.)

6.4.14 Supprimer une partition



```
DROP TABLE nom_partition ;
```

Une partition étant une table, supprimer la table revient à supprimer la partition, en détruisant bien sûr les données qu'elle contient. Il n'y a pas besoin de détacher la table auparavant. L'opération est simple et rapide, mais demande un verrou exclusif.

Il est fréquent de partitionner par date pour profiter de cette facilité dans la purge des vieilles données. La durée en est énormément réduite, ainsi que les écritures de journaux puisqu'il n'y a plus de

```
DELETE .
```

6.4.15 Fonctions de gestion et vues système



```
-- Sous psql : \dP
-- pg_partition_tree ('logs') : liste entière des partitions
-- pg_partition_root ('logs_2019') : racine d'une partition
-- pg_partition_ancestors ('logs_201901') : parents d'une partition
```

Voici le jeu de tests pour l'exemple qui suivra. Il illustre également l'utilisation de sous-partitions (ici sur la même clé, mais cela n'a rien d'obligatoire).

```
-- Table partitionnée
CREATE TABLE logs (dreception timestampz, contenu text) PARTITION BY
↳ RANGE(dreception);
-- Partition 2018, elle-même partitionnée
CREATE TABLE logs_2018 PARTITION OF logs FOR VALUES FROM ('2018-01-01') TO
↳ ('2019-01-01')
PARTITION BY range(dreception);
-- Sous-partitions 2018
CREATE TABLE logs_201801 PARTITION OF logs_2018 FOR VALUES FROM ('2018-01-01') TO
↳ ('2018-02-01');
CREATE TABLE logs_201802 PARTITION OF logs_2018 FOR VALUES FROM ('2018-02-01') TO
↳ ('2018-03-01');
...
-- Idem en 2019
CREATE TABLE logs_2019 PARTITION OF logs FOR VALUES FROM ('2019-01-01') TO
↳ ('2020-01-01')
```

```

PARTITION BY range(dreception);
CREATE TABLE logs_201901 PARTITION OF logs_2019 FOR VALUES FROM ('2019-01-01') TO
↪ ('2019-02-01');
...

```

Et voici le test des différentes fonctions :

```
SELECT pg_partition_root('logs_2019');
```

```

pg_partition_root
-----
logs

```

```
SELECT pg_partition_root('logs_201901');
```

```

pg_partition_root
-----
logs

```

```
SELECT pg_partition_ancestors('logs_2018');
```

```

pg_partition_ancestors
-----
logs_2018
logs

```

```
SELECT pg_partition_ancestors('logs_201901');
```

```

pg_partition_ancestors
-----
logs_201901
logs_2019
logs

```

```
SELECT * FROM pg_partition_tree('logs');
```

relid	parentrelid	isleaf	level
logs		f	0
logs_2018	logs	f	1
logs_2019	logs	f	1
logs_201801	logs_2018	t	2
logs_201802	logs_2018	t	2
logs_201901	logs_2019	t	2

Noter les propriétés de « feuille » (*leaf*) et le niveau de profondeur dans le partitionnement.

Sous psql, `\d` affichera toutes les tables, partitions comprises, ce qui peut vite encombrer l'affichage.

`\dP` affiche uniquement les tables et index partitionnés :

```
=# \dP
```

Liste des relations partitionnées				
Schéma	Nom	Propriétaire	Type	Table
public	logs	postgres	table partitionnée	
public	t2	postgres	index partitionné	bigtable

La table système `pg_partitioned_table`³ permet des requêtes plus complexes. Le champ `pg_class.relpartbound`⁴ contient les définitions des clés de partitionnement.



Pour masquer les partitions dans certains outils, il peut être intéressant de déclarer les partitions dans un schéma différent de la table principale.

Dans un cadre « multitenant » avec de nombreux schémas, et des partitions de même noms chacune dans son schéma, positionner `search_path` permet de sélectionner implicitement la partition, facilitant la vie au développeur ou permettant de « mentir » à l'application.

6.4.16 Clé primaire et clé de partitionnement



La clé primaire doit contenir toutes les colonnes de la clé de partitionnement.

- Idem pour une contrainte unique
- Idem pour les clés étrangères vers la table partitionnée
- Pas un problème si on partitionne selon la clé
- Plus gênant si partitionnement par date, statut...
- Relâcher l'intégrité ? Séparer en deux tables ? UUID v7 ?

6.4.16.1 Clé de partitionnement incluse dans la clé primaire

Le partitionnement impose une contrainte importante sur la modélisation : **la clé de partitionnement doit impérativement faire partie de la clé primaire** (et des contraintes uniques).

En effet, PostgreSQL ne maintient pas d'index global couvrant toutes les partitions. Chaque index est lié à une seule partition. PostgreSQL ne peut donc garantir l'unicité d'un champ qu'au sein de chaque partition.

Dans beaucoup de cas cela ne posera pas de problème, notamment si on partitionne justement sur tout ou partie de cette clé primaire. Par exemple, avec une table partitionnée par hachage ou plage de valeurs de sa clé primaire, il n'y aura aucun impact. L'unicité reste garantie par le partitionnement et les index de chaque partition.

```
CREATE TABLE factures
(
  id bigint PRIMARY KEY,
  d timestampz,
  id_client int NOT NULL,
  montant_c int NOT NULL DEFAULT 0)
PARTITION BY HASH (id);
```

```
\d factures
Table partitionnée « public.factures »
```

³<https://www.postgresql.org/docs/current/catalog-pg-partitioned-table.html>

⁴<https://www.postgresql.org/docs/current/catalog-pg-class.html>

Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	...
id	bigint		not null	
d	timestamp with time zone			
id_client	integer		not null	
montant_c	integer		not null	0

Clé de partition : HASH (id)
Index :
"factures_pkey" PRIMARY KEY, btree (id)

6.4.16.2 Conséquences du changement de clé primaire

Dans d'autres cas, c'est plus gênant. Si l'on partitionne par année, on remplace une clé primaire `id` par la clé (`id`, `annee`) : rien n'interdit plus à deux lignes de même `id` d'exister dans deux partitions par année différentes.

Le risque d'un doublon reste limité si la « vraie » clé primaire `id` est un identifiant géré par la base à l'insertion (`serial` ou `IDENTITY`). Mais avec des identifiants générés côté applicatif, il y a un risque d'introduire un doublon. Le problème est indépendant du type de l'identifiant (entier, UUID...).

Il peut être décidé d'accepter le risque. Rajouter des clés uniques sur l'identifiant dans chaque partition peut au moins garantir son unicité au sein de chaque partition.

Partitionner a aussi un impact sur les clés étrangères pointant vers la table partitionnée : elles doivent aussi contenir les deux colonnes (`id`, `annee`). C'est un peu plus fastidieux (surtout en cas de migration d'un existant important), et peut être le signe que la table concernée doit être partitionnée aussi.

6.4.16.3 Contournement avec une table supplémentaire

Une solution assez complexe est de créer une autre table non partitionnée avec la clé primaire réelle, et une contrainte de clé étrangère de la table partitionnée vers cette table.

Conceptuellement, cela revient à ne pas partitionner une grosse table, mais à en « sortir » la plupart des champs utilisés dans une autre table partitionnée portant une contrainte.

Il n'y aura pas forcément besoin d'utiliser une jointure supplémentaire dans les requêtes. Il faut estimer aussi la taille de la table non partitionnée portant juste les identifiants.

Exemple :

```
-- On voudrait partitionner ainsi par date, mais le moteur refuse
CREATE TABLE factures_p
    (id bigint PRIMARY KEY,
     d timestampz,
     id_client int NOT NULL,
     montant_c int NOT NULL DEFAULT 0)
PARTITION BY RANGE (d);
```

```
ERROR: unique constraint on partitioned table must include all partitioning columns
DÉTAIL : PRIMARY KEY constraint on table "factures_p" lacks column "d" which is part
↳ of the partition key.
```

```
-- On se rabat sur une clé primaire incluant la date,
-- ce qui n'est pas idéal pour la manipulation
CREATE TABLE factures_p
    (id bigint NOT NULL,
     d timestampz NOT NULL,
     id_client int,
     montant_c int,
     PRIMARY KEY (id, d)
    )
PARTITION BY RANGE (d);

CREATE TABLE factures_p_202310 PARTITION OF factures_p
    FOR VALUES FROM ('2023-10-01') TO ('2023-11-01');
CREATE TABLE factures_p_202311 PARTITION OF factures_p
    FOR VALUES FROM ('2023-11-01') TO ('2023-12-01');
CREATE TABLE factures_p_futur PARTITION OF factures_p
    FOR VALUES FROM ('2023-12-01') TO (MAXVALUE) ;
-- Ces contraintes sécurisent partiellement les clés primaires
-- au sein de chaque partition
ALTER TABLE factures_p_202310 ADD CONSTRAINT factures_p_202310_uq UNIQUE (id);
ALTER TABLE factures_p_202311 ADD CONSTRAINT factures_p_202311_uq UNIQUE (id);
-- Ajout de quelques lignes de 1 à 5 sur les deux partitions
INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
    SELECT i, '2023-10-26'::timestampz+i*interval '2 days', 42
    FROM generate_series (1,5) i;

BEGIN ;
-- Ce doublon est accepté car les deux valeurs 3 ne sont pas dans la même partition
INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
    SELECT 3, '2023-11-01'::timestampz-interval '1s', 42 ;
-- Vérification que 3 est en double
SELECT tableoid::regclass, id, d FROM factures_p ORDER BY id ;
ROLLBACK ;

-- Cette table porte la « vraie » clé
-- et garantit l'unicité dans toutes les partitions
CREATE TABLE factures_ref (id bigint NOT NULL PRIMARY KEY,
    d timestampz NOT NULL,
    UNIQUE (id,d) -- nécessaire pour la contrainte
    ) ;
INSERT INTO factures_ref SELECT id,d FROM factures_p ;

-- Contrainte depuis la table partitionnée
ALTER TABLE factures_p ADD CONSTRAINT factures_p_id_fk
FOREIGN KEY (id, d) REFERENCES factures_ref (id,d) ;

-- Par la suite, il faut insérer chaque nouvelle valeur de `id`
-- dans les deux tables
-- Ce doublon est à présent correctement rejeté :
WITH ins AS (
    INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
    SELECT 3, '2023-11-01'::timestampz-interval '1s', 42
    RETURNING id,d )
INSERT INTO factures_ref
SELECT id, d FROM ins ;

ERROR:  duplicate key value violates unique constraint "factures_ref_pkey"
```

DÉTAIL : Key (id)=(3) already exists.

À la suppression, il ne faut pas oublier de supprimer des lignes dans les deux tables, dans le bon ordre :

```
DELETE FROM factures_p WHERE id = 2 ;
DELETE FROM factures_ref WHERE id = 2 ;
```

(Une alternative serait de passer par un `ON DELETE CASCADE` sur `factures_ref`.)

Si l'on tient à être totalement propre pour garantir la cohérence des `id` entre les deux tables, une contrainte dans l'autre sens est possible. Par contre, toute suppression ou insertion impose de lever la contrainte dans la transaction.

```
ALTER TABLE factures_ref ADD CONSTRAINT factures_ref_id_d_fkey
FOREIGN KEY (id,d) REFERENCES factures_p (id,d) DEFERRABLE ;

BEGIN ;
SET CONSTRAINTS ALL DEFERRED ; -- uniquement contraintes deferrables
DELETE FROM factures_p WHERE id = 1 ;
DELETE FROM factures_ref WHERE id = 1 ;
INSERT INTO factures_ref (id, d)
VALUES (6, '2023-11-02'::timestampz) ;
INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
VALUES (6, '2023-11-02'::timestampz, 99) ;
COMMIT ;
```

Si l'on ne veut pas d'une contrainte *deferrable* ni d'un `ON DELETE CASCADE`, il y a aussi la possibilité d'insérer ou supprimer dans les deux tables à la fois en une seule transaction :

```
ALTER TABLE factures_ref ALTER CONSTRAINT factures_ref_id_d_fkey
NOT DEFERRABLE ;

WITH ref AS (DELETE FROM factures_ref
              WHERE id = 6
              RETURNING id)
DELETE FROM factures_p p USING ref
WHERE p.id = ref.id ;

WITH iq AS (
  INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
  SELECT 7, now(), 100
  RETURNING id, d
)
INSERT INTO factures_ref (id, d)
SELECT iq.id, iq.d
FROM iq ;
```

Enfin, une table des lignes de facture peut être déclarée ainsi avec la clé étrangère sur `id` :

```
CREATE TABLE lignes_facture (
  lid int PRIMARY KEY,
  fid int NOT NULL REFERENCES factures_ref (id),
  montant_c int NOT NULL DEFAULT 0
);
```

au lieu de cette version qui doit intégrer la clé de partitionnement complète dans sa clé étrangère :

```
CREATE TABLE lignes_facture (  
  lid int PRIMARY KEY,  
  fid int NOT NULL,  
  fd timestampz NOT NULL,  
  montant_c int NOT NULL DEFAULT 0,  
  FOREIGN KEY (fid,fd) REFERENCES factures_p (id, d)  
);
```

6.4.16.4 Astuce des clés primaires significantes

Pour éviter de créer de nouvelles colonnes, une astuce est de remplacer la clé primaire par une chaîne servant au partitionnement, finissant par l'identifiant réel. Cela donnerait par exemple des valeurs de clé comme `FR000000001234` pour un partitionnement par pays, ou `2025061200001234` pour un partitionnement par date. Générer des partitions par plage de valeurs de l'identifiant est alors assez simple. Cela ne fonctionne pas si la clé de partitionnement doit évoluer (partitionnement par statut), ce ne serait plus une clé primaire.

Mais cette technique est fragile, car elle réclame un peu de développement pour générer les clés. Conceptuellement, des clés significantes sont à éviter, même si cela se retrouve encore dans de vieilles applications. De plus, des identifiants sous forme de chaînes de caractères deviennent souvent trop gros, avec un impact sur les performances, surtout s'il y a des jointures. Et il faut réécrire les clés étrangères vers les tables partitionnées.

6.4.16.5 Astuce des UUID v7

Pour le cas particulier, très fréquent, d'un partitionnement par date, une astuce nettement plus propre consiste à utiliser des UUID en version 7 comme identifiant de ligne.

Non seulement les UUID v7 évitent les gros soucis des UUID des versions précédentes liés au cache, mais ils contiennent leur date de génération (attention au fuseau horaire). Il est donc possible de partitionner selon des valeurs d'UUID correspondant à des dates précises. La table partitionnée conserve une clé primaire monocolonne, même s'il faut la réécrire. Dans une requête, pour réduire un accès à une partition, il faut réutiliser la fonction de conversion d'une date vers un UUID, ou d'une tranche de dates vers une tranches d'UUID, ce qui alourdit le code.

Un exemple détaillé est présenté dans un billet de Florent Jardin⁵, inspiré entre autres notamment par ce billet de blog de Daniel Vérité⁶.

PostgreSQL 18 devrait contenir les fonctions nécessaires pour créer des UUID, y compris pour une date précise, mais ces fonctions peuvent être installées sur les versions précédentes.

Sur les UUID et leur manipulation, voir https://dali.bo/s9_html#uuid

⁵<https://fljd.in/2025/06/17/le-partitionnement-par-uuid-v7/>

⁶<https://postgresql.verite.pro/blog/2024/07/15/uuid-v7-pure-sql.html>

6.4.17 Indexation



- Propagation automatique
- Index supplémentaires par partition possibles
- Clés étrangères entre tables partitionnées

Les index sont propagés de la table mère aux partitions : tout index créé sur la table partitionnée sera automatiquement créé sur les partitions existantes. Toute nouvelle partition disposera des index de la table partitionnée. La suppression d'un index se fait sur la table partitionnée et concernera toutes les partitions. Il n'est pas possible de supprimer un tel index d'une seule partition.

Gérer des index manuellement sur certaines partitions est possible. Par exemple, on peut n'avoir besoin de certains index que sur les partitions de données récentes, et ne pas les créer sur des partitions de données d'archives.

Une clé primaire ou unique peut exister sur une table partitionnée (mais elle devra contenir toutes les colonnes de la clé de partitionnement); ainsi qu'une clé étrangère d'une table partitionnée vers une table normale.

Depuis PostgreSQL 12, il est possible de créer une clé étrangère vers une table partitionnée de la même manière qu'entre deux tables normales. Par exemple, si les tables `ventes` et `lignes_ventes` sont toutes deux partitionnées :

```
ALTER TABLE lignes_ventes
ADD CONSTRAINT lignes_ventes_ventes_fk
FOREIGN KEY (vente_id) REFERENCES ventes (vente_id) ;
```

Noter que les versions 10 et 11 possèdent des limites sur ces fonctionnalités, que l'on peut souvent contourner en créant index et contraintes manuellement sur chaque partition.

6.4.18 Planification & performances



- Mettre la clé dans la requête autant que possible
- ou : cibler les partitions directement
- Temps de planification
 - nombre de tables, d'index, leurs statistiques...
 - max ~ 100 partitions
- À activer?
 - `enable_partitionwise_aggregate`
 - `enable_partitionwise_join`

Cibler la partition par la clé :

Si la clé de partitionnement n'est pas fournie, l'exécution concernera toutes les partitions, qu'elles soient accédées par *Seq Scan* ou *Index Scan*.



Autant que possible, le développeur doit fournir la clé de partitionnement dans chaque requête, et le plan ciblera directement la bonne partition.

Comme avec les index, il faut vérifier que la clé est bien claire pour PostgreSQL. Si ce n'est pas le cas toutes les partitions seront lues :

```
EXPLAIN SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid + 0 = 123 LIMIT 1 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit (cost=0.00..6.29 rows=1 width=97)
-> Append (cost=0.00..314250.00 rows=50000 width=97)
    -> Seq Scan on pgbench_accounts_1 (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
        Filter: ((aid + 0) = 123)
    -> Seq Scan on pgbench_accounts_2 (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
        Filter: ((aid + 0) = 123)
    ...
    ...
        Filter: ((aid + 0) = 123)
    -> Seq Scan on pgbench_accounts_99 (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
        Filter: ((aid + 0) = 123)
    -> Seq Scan on pgbench_accounts_100 (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
        Filter: ((aid + 0) = 123)
```

alors que si PostgreSQL reconnaît la clé de partitionnement :

```
EXPLAIN SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit (cost=0.29..8.31 rows=1 width=97)
-> Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1
    ↪ pgbench_accounts (cost=0.29..8.31 rows=1 width=97)
        Index Cond: (aid = 123)
```

Partition pruning :

Dans le cas où la clé de partitionnement dépend du résultat d'un calcul, d'une sous-requête ou d'une jointure, PostgreSQL prévoit un plan concernant toutes les partitions, mais élaguera à l'exécution les appels aux partitions non concernées. Ci-dessous, seule `pgbench_accounts_8` est interrogé (et ce peut être une autre partition si l'on répète la requête) :

```
EXPLAIN (ANALYZE,COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = (SELECT (random()*1000000)::int) ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append (actual time=23.083..23.101 rows=1 loops=1)
  InitPlan 1 (returns $0)
    -> Result (actual time=0.001..0.002 rows=1 loops=1)
```

```

-> Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_2_pkey on pgbench_accounts_2 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_3_pkey on pgbench_accounts_3 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_4_pkey on pgbench_accounts_4 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_5_pkey on pgbench_accounts_5 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_6_pkey on pgbench_accounts_6 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_7_pkey on pgbench_accounts_7 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_8_pkey on pgbench_accounts_8 (actual
↪ time=23.077..23.080 rows=1 loops=1)
    Index Cond: (aid = $0)
-> Index Scan using pgbench_accounts_9_pkey on pgbench_accounts_9 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
...
...
-> Index Scan using pgbench_accounts_100_pkey on pgbench_accounts_100 (never
↪ executed)
    Index Cond: (aid = $0)
Planning Time: 1.118 ms
Execution Time: 23.341 ms

```

Temps de planification :

Une limitation sérieuse du partitionnement tient au temps de planification qui augmente très vite avec le nombre de partitions, même petites. En effet, chaque partition ajoute ses statistiques et souvent plusieurs index aux tables système. Par exemple, dans le cas le plus défavorable d'une session qui démarre :

```

-- Base pgbench de taille 100, non partitionnée
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;

```

QUERY PLAN

```

-----
Limit (actual time=0.021..0.022 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=4
  -> Index Scan using pgbench_accounts_pkey on pgbench_accounts (actual
↪ time=0.021..0.021 rows=1 loops=1)
      Index Cond: (aid = 123)
      Buffers: shared hit=4
Planning:
  Buffers: shared hit=70
Planning Time: 0.358 ms

```

Execution Time: 0.063 ms

```
-- Base pgbench de taille 100, partitionnée en 100 partitions
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit (actual time=0.015..0.016 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=3
  -> Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1
     ↳ pgbench_accounts (actual time=0.015..0.015 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (aid = 123)
        Buffers: shared hit=3
Planning:
  Buffers: shared hit=423
Planning Time: 1.030 ms
Execution Time: 0.061 ms
```

La section `Planning` indique le nombre de blocs qu'une session qui démarre doit mettre en cache, liés notamment aux tables systèmes et statistiques (ce phénomène est encore une raison d'éviter des sessions trop courtes). Dans cet exemple, sur la base partitionnée, il y a presque six fois plus de ces blocs, et on triple le temps de planification, qui reste raisonnable.



En général, on considère qu'il ne faut pas dépasser 100 partitions si l'on ne veut pas pénaliser les transactions courtes. Les dernières versions de PostgreSQL sont cependant meilleures sur ce point.

Ce problème de planification est moins gênant pour les requêtes longues (analytiques).

Pour contourner cette limite, il est possible d'utiliser directement les partitions, s'il est facile pour le développeur (ou le générateur de code...) de trouver leur nom, en plus de toujours fournir la clé. Interroger directement une partition est en effet aussi rapide à planifier qu'interroger une table monolithique :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts_1 WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Limit (actual time=0.006..0.007 rows=1 loops=1)
  Buffers: shared hit=3
  -> Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1 (actual
     ↳ time=0.006..0.006 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (aid = 123)
        Buffers: shared hit=3
Planning Time: 0.046 ms
Execution Time: 0.016 ms
```

Utiliser directement les partitions est particulièrement économe si leur nombre est grand, mais on perd alors le côté « transparent » du partitionnement, et on augmente la complexité du code applicatif.

Paramètres « partitionwise » :

Dans des cas plus complexes, notamment en cas de jointure entre tables partitionnées, le temps de planification peut exploser. Par exemple, pour la requête suivante où la table partitionnée est jointe à elle-même, le plan sur la table non partitionnée, cache de session chaud, renvoie :

```
EXPLAIN (BUFFERS, COSTS OFF, SUMMARY ON) SELECT *
FROM pgbench_accounts a INNER JOIN pgbench_accounts b USING (aid)
WHERE a.bid = 55 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Gather
  Workers Planned: 4
  -> Nested Loop
    -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts a
        Filter: (bid = 55)
    -> Index Scan using pgbench_accounts_pkey on pgbench_accounts b
        Index Cond: (aid = a.aid)
Planning:
  Buffers: shared hit=16
Planning Time: 0.168 ms
```

Avec cent partitions, le temps de planification est ici multiplié par 50 :

```
Gather
  Workers Planned: 4
  -> Parallel Hash Join
    Hash Cond: (b.aid = a.aid)
    -> Parallel Append
      -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_1 b_1
      -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_2 b_2
      ...
      -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_99 b_99
      -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 b_100
    -> Parallel Hash
      -> Parallel Append
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_1 a_1
            Filter: (bid = 55)
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_2 a_2
            Filter: (bid = 55)
        ...
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_99 a_99
            Filter: (bid = 55)
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 a_100
            Filter: (bid = 55)
Planning Time: 5.513 ms
```

Ce plan est perfectible : il récupère tout `pgbench_accounts` et le joint à toute la table. Il serait plus intelligent de travailler partition par partition puisque la clé de jointure est celle de partitionnement. Pour que PostgreSQL cherche à faire ce genre de chose, un paramètre doit être activé :

```
SET enable_partitionwise_join TO on ;
```

Les jointures se font alors entre partitions :

```
Gather
```

```

Workers Planned: 4
-> Parallel Append
    -> Parallel Hash Join
        Hash Cond: (a_55.aid = b_55.aid)
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_55 a_55
            Filter: (bid = 55)
        -> Parallel Hash
            -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_55 b_55
...
    -> Nested Loop
        -> Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 a_100
            Filter: (bid = 55)
        -> Index Scan using pgbench_accounts_100_pkey on pgbench_accounts_100
            ↪ b_100
                Index Cond: (aid = a_100.aid)
Planning:
  Buffers: shared hit=1200
Planning Time: 12.449 ms

```

Le temps d'exécution passe de 1,2 à 0,2 s, ce qui justifie les quelques millisecondes perdues en plus en planification.

Un autre paramètre est à activer si des agrégations sur plusieurs partitions sont à faire :

SET enable_partitionwise_aggregate **TO on** ;

enable_partitionwise_aggregate et enable_partitionwise_join sont désactivés par défaut à cause de leur coût en planification sur les petites requêtes, mais les activer est souvent rentable. Avec SET, cela peut se décider requête par requête.

6.4.19 Opérations de maintenance



- Changement de tablespace
- autovacuum/analyze
 - sur les partitions comme sur toute table
- VACUUM, VACUUM FULL, ANALYZE
 - sur table mère : redescendent sur les partitions
- REINDEX
 - avant v14 : uniquement par partition
- ANALYZE
 - prévoir aussi sur la table mère (manuellement...)

Les opérations de maintenance profitent grandement du fait de pouvoir scinder les opérations en autant d'étapes qu'il y a de partitions. Des données « froides » peuvent être déplacées dans un autre tablespace sur des disques moins chers, partition par partition, ce qui est impossible avec une table monolithique :

ALTER TABLE pgbench_accounts_8 **SET TABLESPACE** hdd ;

L'autovacuum et l'autoanalyse fonctionnent normalement et indépendamment sur chaque partition, comme sur les tables classiques. Ainsi ils peuvent se déclencher plus souvent sur les partitions actives. Par rapport à une grosse table monolithique, il y a moins souvent besoin de régler l'autovacuum.

Les ordres `ANALYZE` et `VACUUM` peuvent être effectués sur une partition, mais aussi sur la table partitionnée, auquel cas l'ordre redescendra en cascade sur les partitions (l'option `VERBOSE` permet de le vérifier). Les statistiques seront calculées par partition, donc plus précises.

Reconstruire une table partitionnée avec `VACUUM FULL` se fera généralement partition par partition. Le partitionnement permet ainsi de résoudre les cas où le verrou sur une table monolithique serait trop long, ou l'espace disque total serait insuffisant.

Noter cependant ces spécificités sur les tables partitionnées :

REINDEX :

À partir de PostgreSQL 14, un `REINDEX` sur la table partitionnée réindexe toutes les partitions automatiquement. Dans les versions précédentes, il faut réindexer partition par partition.

ANALYZE :

L'autovacuum ne crée pas spontanément de statistiques sur les données pour la table partitionnée dans son ensemble, mais uniquement partition par partition. Pour obtenir des statistiques sur toute la table partitionnée, il faut exécuter manuellement :

```
ANALYZE table_partitionnée ;
```

6.4.20 Sauvegardes



Sauvegarde physique : peu de différence

Avec `pg_dump` :

- `--jobs` : efficace
- `--load-via-partition-root`
- exclusion de partitions (v16+) :
 - `--table-and-children`
 - `--exclude-table-and-children`
 - `--exclude-table-data-and-children`

Grâce au partitionnement, un export par `pg_dump --jobs` devient efficace puisque plusieurs partitions peuvent être sauvegardées en parallèle.

La parallélisation peut être aussi un peu meilleure avec un outil de sauvegarde physique (comme pg-BackRest ou Barman), qui parallélise les copies de fichiers, mais les grosses tables non partitionnées étaient de toute façon déjà découpées en fichier de 1 Go.

`pg_dump` a des options pour gérer l'export des tables partitionnées :

`--load-via-partition-root` permet de générer des ordres `COPY` ciblant la table mère et non la partition. Ce peut être pratique pour restaurer les données dans une base où la table est partitionnée séparément.

À partir de PostgreSQL 16, n'exporter qu'une table partitionnée se fait avec `--table-and-children` (et non `--table/-t` qui ne concernerait que la table mère). Exclure des tables partitionnées se fait avec `--exclude-table-and-children` (et non `--exclude-table/-T`). Pour exclure uniquement les données d'une table partitionnée en gardant sa structure, on utilisera `--exclude-table-data-and-children`. Ces trois options acceptent un motif (par exemple : `pgbench_accounts_*`) et peuvent être répétées dans la commande.

6.4.21 Limitations du partitionnement déclaratif et versions



- Pas de création automatique des partitions
 - ni fusion/scission facile
- Planification : 100 partitions max conseillé
- Pas d'héritage multiple, schéma fixe
 - sauf ajout d'index/contraintes sur chaque partition
- Partitions distantes : sans propagation d'index
- Clé de partitionnement calculée : pas vraiment possible
- (≤ 16) `IDENTITY` : uniquement sur la table partitionnée
- PostgreSQL récent toujours conseillé

Certaines de ces limites ont été évoquées plus haut.

Limitations générales :

Une table partitionnée ne peut être convertie en table classique, ni vice-versa. (Par contre, une table classique peut être attachée comme partition, ou une partition détachée).

Les partitions ont forcément le même schéma de données que leur partition mère et héritent des contraintes et index de celle-ci. Il est interdit d'ajouter ou de retrancher de champs. L'ajout d'index ou de contraintes supplémentaires directement sur une partition est par contre possible.

Les clés de partition ne doivent évidemment pas se recouvrir.

Les contraintes ne peuvent s'exercer qu'au sein d'une même partition : les clés d'unicité doivent donc inclure toute la clé de partitionnement. Les contraintes d'exclusion ne peuvent vérifier toutes les partitions.

Il n'y a pas de notion d'héritage multiple.

Limitations liées à la création des partitions :

La création des partitions n'est pas automatisée : il faut les créer par avance manuellement ou par script planifié, ou un outil externe comme `pg_partman` ou `pg_cron`. Éventuellement prévoir une partition par défaut pour les cas qui ont pu être oubliés.

Changer les limites d'une partition n'est pas directement prévu. Il faut détacher la partition et réattacher la partition.

Il n'est pas possible de fusionner ou scinder des partitions. Il faudra déplacer les données manuellement.

Limitation sur les champs `IDENTITY` :

Jusque PostgreSQL 16 inclus, un champ `GENERATED ALWAYS/BY DEFAULT AS IDENTITY` est utilisable uniquement en insérant dans la table partitionnée, pas en insérant dans la partition. Sinon PostgreSQL se plaint que le champ est `NULL`. PostgreSQL 17 lève la limite.

Cependant les valeurs d'un champ `IDENTITY` continuent d'être générées par la séquence indépendamment des partitions, les unes à la suite des autres. Si ce champ fait partie de la clé de partitionnement, il y aura une erreur si la valeur générée ne respecte pas la contrainte de partitionnement.

Limitations sur les clés calculées :

Il serait parfois pratique de partitionner suivant un champ calculé, par exemple par année quand on dispose d'un champ jour. Malheureusement, le moteur a des limites sur ce point⁷ :

- techniquement, une table avec `PARTITION BY LIST ((extract ('year' from jour)))` fonctionne, mais PostgreSQL ne voudra pas créer de clé primaire incluant ce champ ;
- une colonne générée automatiquement (clause `GENERATED ALWAYS AS ... STORED`) ne peut faire partie de la clé de partitionnement ;
- un trigger `BEFORE INSERT` ne peut modifier la partition cible d'une ligne ;
- un trigger `INSTEAD OF` sur une vue utilitaire peut fonctionner, mais complexifie l'interface et, comme tout trigger, pénalise les performances.

Des contournements sont possibles. La clé peut être calculée côté applicatif, même s'il s'agit juste d'appeler une fonction SQL. Le critère de partitionnement est souvent simple : un partitionnement différent peut convenir. Pour reprendre l'exemple du partitionnement par liste par année calculée à partir du jour, un partitionnement par intervalle de date serait tout aussi adapté.

Limitations liées aux performances :

Il faut éviter d'avoir trop de partitions, pour limiter les risques de dérapage du temps de planification. S'il y en a beaucoup, tenter de cibler directement les partitions qui intéressent une requête.

L'ordre `CLUSTER`, pour réécrire une table dans l'ordre d'un index donné, ne fonctionne pour les tables partitionnées qu'à partir de PostgreSQL 15. Il peut toutefois être exécuté manuellement table par table.

Limitations liées aux tables distantes :

Un `TRUNCATE` d'une table distante n'est pas possible avant PostgreSQL 14.

Il est possible d'attacher comme partitions des tables distantes, généralement déclarées avec `postgres_fdw`, mais la propagation d'index ne fonctionnera pas sur ces tables. Il faudra les créer manuellement sur les instances distantes.

⁷<https://docs.postgresql.fr/current/ddl-partitioning.html#DDL-PARTITIONING-INHERITANCE-CAVEATS>

Limitations liées aux triggers :

À partir de la version 13, les triggers `BEFORE UPDATE ... FOR EACH ROW` sont possibles, mais il ne permettent toujours pas de modifier la partition de destination.

Limitations des versions non supportées :

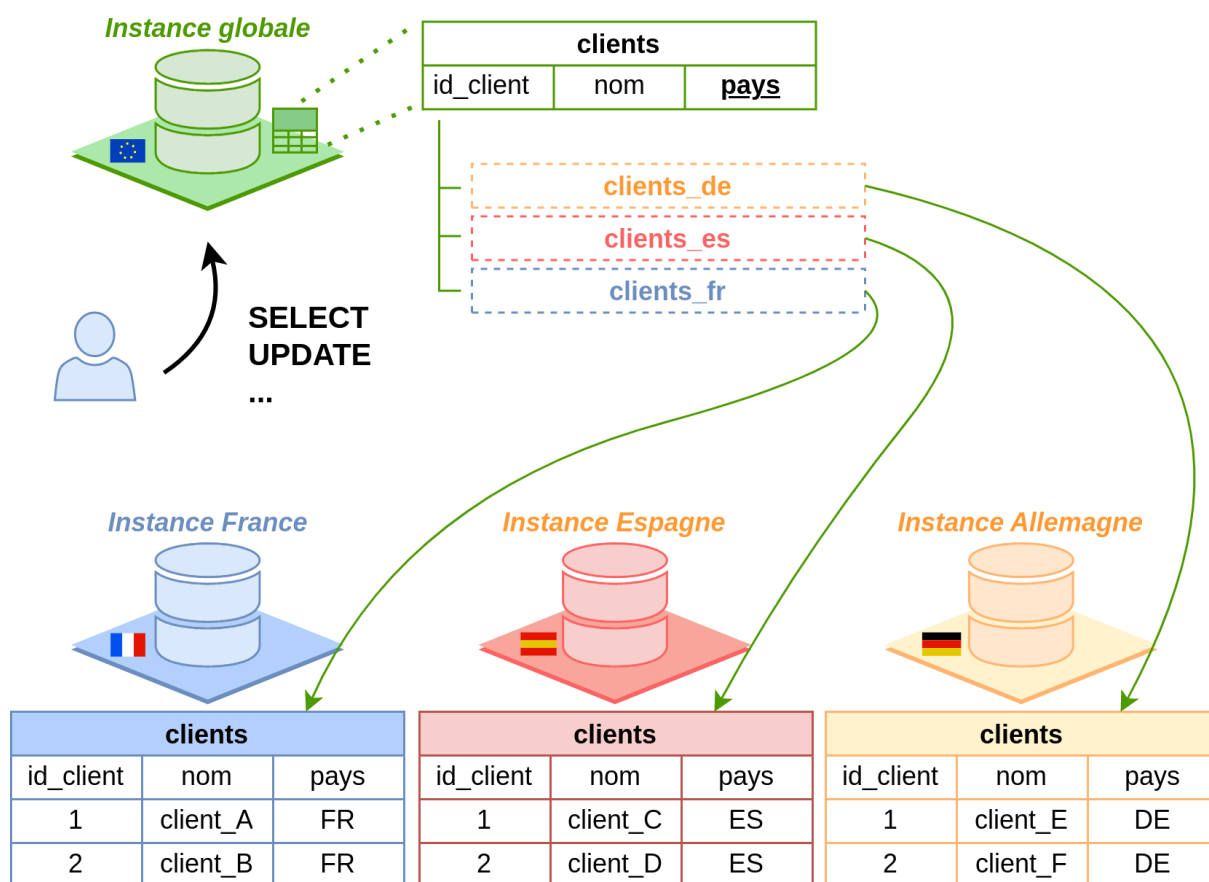
Ces versions peuvent encore se rencontrer.

- Les partitions par défaut n'existent pas en version 10.
- Les index, les clés primaires et les clés étrangères sont très limitées avant la version 12.
- Les triggers ont beaucoup plus de limitations avant la version 13.
- En version 10, un `UPDATE` ne peut modifier la clé de partitionnement, il faut faire un `DELETE` et un `INSERT` à la place, et une partition distante n'est accessible qu'en lecture via la table mère.



Beaucoup de ces limitations dépendent des versions de PostgreSQL. Heureusement, elles concernent surtout des versions de PostgreSQL qui ne sont plus supportées, et qui ne devraient plus être utilisées. Une version récente reste de toute manière préférable.

6.5 TABLES DISTANTES & SHARDING



- Tables distantes comme partitions : sharding
- (v14+) Interrogation simultanée asynchrone

Il est possible d'attacher comme partitions des tables distantes (situées sur d'autres serveurs), généralement déclarées avec le *Foreign Data Wrapper* `postgres_fdw`.

NB : Dans le reste de ce chapitre, nous nommerons **table étrangère** (*foreign table* dans la documentation officielle) l'objet qui sert d'interface pour accéder, depuis l'instance locale, à la **table distante** (*remote table*), qui contient réellement les données.

Par exemple, si trois instances en France, Allemagne et Espagne possèdent chacune des tables `clients` et `commandes` ne contenant que les données de leur pays, on peut créer une autre instance utilisant des tables étrangères pour accéder aux trois tables, chaque table étrangère étant une partition d'une table partitionnée de cette instance européenne.

Pour les instances nationales, cette instance européenne n'est qu'un client comme un autre, qui envoie des requêtes, et ouvre parfois des curseurs (fonctionnement normal de `postgres_fdw`). Si le

pays est précisé dans une requête, la bonne partition est ciblée, et l'instance européenne n'interroge qu'une seule instance nationale.

La maquette suivante donne une idée du fonctionnement :

```
-- Maquette rapide sous psql de sharding
-- avec trois bases demosharding_fr , _de, _es
-- et une base globale pour le requêtage

\set timing off
\set ECHO all
\set ON_ERROR_STOP 1

\connect postgres postgres serveur1
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_fr ;
CREATE DATABASE demosharding_fr ;
ALTER DATABASE demosharding_fr SET log_min_duration_statement TO 0 ;
\connect postgres postgres serveur2
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_de ;
CREATE DATABASE demosharding_de ;
ALTER DATABASE demosharding_de SET log_min_duration_statement TO 0 ;
\connect postgres postgres serveur3
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_es ;
CREATE DATABASE demosharding_es ;
ALTER DATABASE demosharding_es SET log_min_duration_statement TO 0 ;

\connect postgres postgres serveur4
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_global ;
CREATE DATABASE demosharding_global ;
ALTER DATABASE demosharding_global SET log_min_duration_statement TO 0 ;

-- Tables identiques sur chaque serveur
\connect demosharding_fr postgres serveur1

CREATE TABLE clients (id_client int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        nom       text,
                        pays       char (2) DEFAULT 'FR' CHECK (pays = 'FR')
                        ) ;
CREATE TABLE commandes (id_commande bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY
↪ KEY,
                        pays       char (2) DEFAULT 'FR' CHECK (pays = 'FR'),
                        id_client  int REFERENCES clients ,
                        montant    float
                        );

\connect demosharding_de postgres serveur2

CREATE TABLE clients (id_client int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        nom       text,
                        pays       char (2) DEFAULT 'DE' CHECK (pays = 'DE')
                        ) ;
CREATE TABLE commandes (id_commande bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        pays       char (2) DEFAULT 'DE' CHECK (pays = 'DE') ,
                        id_client  int REFERENCES clients,
                        montant    float
                        );
```



```
\connect demosharding_es postgres serveur3

CREATE TABLE clients (id_client int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        nom      text,
                        pays     char (2) DEFAULT 'ES' CHECK (pays = 'ES')
                        );
CREATE TABLE commandes (id_commande bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                          pays      char (2) DEFAULT 'ES' CHECK (pays = 'ES'),
                          id_client int REFERENCES clients ,
                          montant   float
                          );

-- Tables partitionnées globales
\connect demosharding_global postgres serveur4

CREATE TABLE clients (id_client int, nom text, pays char(2))
PARTITION BY LIST (pays);
CREATE TABLE commandes (id_commande bigint, pays char(2),
                          id_client int, montant float)
PARTITION BY LIST (pays);

-- Serveurs distants (adapter les chaines de connexion)
-- NB : l'option async_capable n existe pas avant PostgreSQL 14
CREATE EXTENSION postgres_fdw ;

CREATE SERVER dist_fr
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_fr', port '16001',
        async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE SERVER dist_de
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_de', port '16001',
        async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE SERVER dist_es
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_es', port '16001',
        async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_fr ;
CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_de ;
CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_es ;

-- Les partitions distantes
CREATE FOREIGN TABLE clients_fr PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('FR')
SERVER dist_fr OPTIONS (table_name 'clients') ;
CREATE FOREIGN TABLE clients_de PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('DE')
SERVER dist_de OPTIONS (table_name 'clients') ;
CREATE FOREIGN TABLE clients_es PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('ES')
SERVER dist_es OPTIONS (table_name 'clients') ;

CREATE FOREIGN TABLE commandes_fr PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('FR')
SERVER dist_fr OPTIONS (table_name 'commandes') ;
CREATE FOREIGN TABLE commandes_de PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('DE')
SERVER dist_de OPTIONS (table_name 'commandes') ;
```

```
CREATE FOREIGN TABLE commandes_es PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('ES')  
SERVER dist_es OPTIONS (table_name 'commandes') ;
```

```
-- Alimentations des pays (séparément)
```

```
\connect demosharding_fr postgres serveur1
```

```
WITH ins_clients AS (  
    INSERT INTO clients (nom)  
    SELECT md5 (random()::text) FROM generate_series (1,10) i  
    WHERE random()<0.8  
RETURNING id_client  
) ,  
ins_commandes AS (  
    INSERT INTO commandes (id_client, montant)  
    SELECT c.id_client, random()*j::float  
    FROM ins_clients c CROSS JOIN generate_series (1,100000) j  
    WHERE random()<0.8  
RETURNING *  
)  
SELECT count(*) FROM ins_commandes ;
```

```
\connect demosharding_de postgres serveur2
```

```
\g
```

```
\connect demosharding_es postgres serveur3
```

```
\g
```

```
\connect demosharding_global postgres serveur4
```

```
-- Les ANALYZE redescendent sur les partitions
```

```
ANALYZE (VERBOSE) clients, commandes ;
```

```
-- Pour un plan optimal
```

```
SET enable_partitionwise_join TO on ;
```

```
SET enable_partitionwise_aggregate TO on ;
```

```
-- Requête globale : top 8 des clients
```

```
-- Plan disponible sur https://explain.dalibo.com/plan/27f964651518a65g
```

```
SELECT pays,  
    nom,  
    count(DISTINCT id_commande) AS nb_commandes,  
    avg(montant) AS montant_avg_commande,  
    sum(montant) AS montant_sum  
FROM  
    commandes INNER JOIN clients USING (pays, id_client)  
GROUP BY 1,2  
ORDER BY montant_sum DESC  
LIMIT 8 ;
```

Une nouveauté de PostgreSQL 14 est ici particulièrement intéressante : l'option `async_capable` du serveur étranger (éventuellement de la table) peut être passée à `on` (le défaut est `off`). Les nœuds

Foreign Scan typiques des accès distants sont alors remplacés par des nœuds *Async Foreign Scan* (asynchrones), et le serveur principal interroge alors simultanément les trois serveurs qui lui renvoient les données. Dans cet extrait des traces, les ordres `FETCH` sont entremêlés :

```
...user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 0.384 ms  execute <unnamed>: DECLARE c1 CURSOR FOR
      SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
...user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 0.314 ms  execute <unnamed>: DECLARE c2 CURSOR FOR
      SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
...user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 0.374 ms  execute <unnamed>: DECLARE c3 CURSOR FOR
      SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
...user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 6.081 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
...user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 5.878 ms  statement: FETCH 10000 FROM c2
...user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 6.263 ms  statement: FETCH 10000 FROM c3
...user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 2.418 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
...user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 2.397 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
...user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 2.423 ms  statement: FETCH 10000 FROM c2
...user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=:1
LOG:  duration: 4.381 ms  statement: FETCH 10000 FROM c3
```

Les paramètres `enable_partitionwise_join` et `enable_partitionwise_aggregate` doivent impérativement être activés dans cette configuration. L'optimiseur cherche alors à « pousser » les jointures et les agrégations au niveau du nœud (et à les calculer directement sur les serveurs distants) comme dans le plan suivant (voir la version complète⁸) :

```
-> Append (cost=6105.41..110039.12 rows=21 width=60) (actual time=330.325..594.923
  ↪ rows=21 loops=1)
    -> Async Foreign Scan (cost=6105.41..28384.99 rows=6 width=60) (actual
  ↪ time=2.284..2.286 rows=6 loops=1)
      Output: commandes.pays, clients.nom, (count(DISTINCT
  ↪ commandes.id_commande)), (avg(commandes.montant)), (sum(commandes.montant))
      Relations: Aggregate on ((public.commandes_de commandes) INNER JOIN
  ↪ (public.clients_de clients))
      Remote SQL: SELECT r4.pays, r7.nom, count(DISTINCT r4.id_commande),
  ↪ avg(r4.montant), sum(r4.montant) FROM (public.commandes r4 INNER JOIN
  ↪ public.clients r7 ON (((r4.pays = r7.pays)) AND ((r4.id_client =
  ↪ r7.id_client)))) GROUP BY 1, 2
    -> Async Foreign Scan (cost=6098.84..28353.37 rows=6 width=60) (actual
  ↪ time=2.077..2.078 rows=6 loops=1)
      Output: commandes_1.pays, clients_1.nom, (count(DISTINCT
  ↪ commandes_1.id_commande)), (avg(commandes_1.montant)),
  ↪ (sum(commandes_1.montant))
      Relations: Aggregate on ((public.commandes_es commandes_1) INNER
  ↪ JOIN (public.clients_es clients_1))
```

⁸<https://explain.dalibo.com/plan/27f964651518a65g#raw>

```
Remote SQL: SELECT r5.pays, r8.nom, count(DISTINCT r5.id_commande),
↪ avg(r5.montant), sum(r5.montant) FROM (public.commandes r5 INNER JOIN
↪ public.clients r8 ON (((r5.pays = r8.pays)) AND ((r5.id_client =
↪ r8.id_client)))) GROUP BY 1, 2
↪ -> Async Foreign Scan (cost=9102.09..53300.65 rows=9 width=60) (actual
↪ time=2.189..2.190 rows=9 loops=1)
↪ Output: commandes_2.pays, clients_2.nom, (count(DISTINCT
↪ commandes_2.id_commande)), (avg(commandes_2.montant)),
↪ (sum(commandes_2.montant))
↪ Relations: Aggregate on ((public.commandes_fr commandes_2) INNER
↪ JOIN (public.clients_fr clients_2))
Remote SQL: SELECT r6.pays, r9.nom, count(DISTINCT r6.id_commande),
↪ avg(r6.montant), sum(r6.montant) FROM (public.commandes r6 INNER JOIN
↪ public.clients r9 ON (((r6.pays = r9.pays)) AND ((r6.id_client =
↪ r9.id_client)))) GROUP BY 1, 2
```



Quand on utilise les tables étrangères, il est conseillé d'utiliser `EXPLAIN (VERBOSE)`, pour afficher les requêtes envoyées aux serveurs distants et vérifier que le minimum de volumétrie transite sur le réseau.

Cet exemple est une version un peu primitive de *sharding*, à réserver aux cas où les données sont clairement séparées. L'administration d'une configuration « multimaître » peut devenir compliquée : cohérence des différents schémas et des contraintes sur chaque instance, copie des tables de référence communes, risques de recouvrement des clés primaires entre bases, gestion des indisponibilités, sauvegardes cohérentes...

Noter que l'utilisation de partitions distantes rend impossible notamment la gestion automatique des index, il faut retourner à une manipulation table par table.

6.6 EXTENSIONS & OUTILS



- Extension `pg_partman`
 - automatisation
- Extensions dédiées à un domaine :
 - `timescaledb`
 - `citus`

L'extension `pg_partman`⁹, de Crunchy Data, est un complément aux systèmes de partitionnement de PostgreSQL. Elle est apparue d'abord pour automatiser le partitionnement par héritage. Elle peut être utile avec le partitionnement déclaratif, pour simplifier la maintenance d'un partitionnement sur une échelle temporelle ou de valeurs (par *range*).

PostgresPro proposait un outil nommé `pg_pathman`¹⁰, à présent déprécié en faveur du partitionnement déclaratif intégré à PostgreSQL.

timescaledb est une extension spécialisée dans les séries temporelles. Basée sur le partitionnement par héritage, elle vaut surtout pour sa technique de compression et ses utilitaires. La version communautaire sur Github¹¹ ne comprend pas tout ce qu'offre la version commerciale.

citus¹² est une autre extension commerciale. Le principe est de partitionner agressivement les tables sur plusieurs instances, et d'utiliser simultanément les processeurs, disques de toutes ces instances (*sharding*). Citus gère la distribution des requêtes, mais pas la maintenance des instances PostgreSQL supplémentaires. L'éditeur Citusdata a été racheté par Microsoft, qui le propose à présent dans Azure. En 2022, l'entièreté du code est passée sous licence libre¹³. Le gain de performance peut être impressionnant, mais attention : certaines requêtes se prêtent très mal au *sharding*.

⁹https://github.com/pgpartman/pg_partman

¹⁰https://github.com/postgrespro/pg_pathman

¹¹<https://github.com/timescale/timescaledb>

¹²<https://github.com/citusdata/citus>

¹³<https://www.citusdata.com/blog/2022/06/17/citus-11-goes-fully-open-source/>

6.7 CONCLUSION



- Le partitionnement déclaratif a de gros avantages pour le DBA
- ...mais les développeurs doivent savoir l'utiliser
 - Préférer une version récente de PostgreSQL

Le partitionnement par héritage n'a plus d'utilité pour la plupart des applications.

Le partitionnement déclaratif apparu en version 10 est mûr dans les dernières versions. Il introduit une complexité supplémentaire, que les développeurs doivent maîtriser, mais peut rendre de grands services quand la volumétrie augmente.

6.8 QUIZ



https://dali.bo/v1_quiz

6.9 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/v1_solutions.

6.9.1 Partitionnement



But : Mettre en place le partitionnement déclaratif

Nous travaillons sur la base **cave**. La base **cave** (dump de 2,6 Mo, pour 71 Mo sur le disque au final) peut être téléchargée et restaurée ainsi :

```
curl -kL https://dali.bo/tp_cave -o cave.dump
psql -c "CREATE ROLE caviste LOGIN PASSWORD 'caviste'"
psql -c "CREATE DATABASE cave OWNER caviste"
pg_restore -d cave cave.dump
# NB : une erreur sur un schéma 'public' existant est normale
```

Nous allons partitionner la table `stock` sur l'année.

Pour nous simplifier la vie, nous allons limiter le nombre d'années dans `stock` (cela nous évitera la création de 50 partitions) :

```
-- Création de lignes en 2001-2005
INSERT INTO stock SELECT vin_id, contenant_id, 2001 + annee % 5, sum(nombre)
FROM stock GROUP BY vin_id, contenant_id, 2001 + annee % 5;
-- purge des lignes précédentes
DELETE FROM stock WHERE annee < 2001;
```

Nous n'avons maintenant que des bouteilles des années 2001 à 2005.

- Renommer `stock` en `stock_old`.
- Créer une table partitionnée `stock` vide, sans index pour le moment.
- Créer les partitions de `stock`, avec la contrainte d'année : `stock_2001` à `stock_2005`.
- Insérer tous les enregistrements venant de l'ancienne table `stock`.
- Passer les statistiques pour être sûr des plans à partir de maintenant (nous avons modifié beaucoup d'objets).

- Vérifier la présence d'enregistrements dans `stock_2001` (syntaxe `SELECT ONLY`).
- Vérifier qu'il n'y en a aucun dans `stock`.
- Vérifier qu'une requête sur `stock` sur 2002 ne parcourt qu'une seule partition.
- Remettre en place les index présents dans la table `stock` originale.
- Il se peut que d'autres index ne servent à rien (ils ne seront dans ce cas pas présents dans la correction).
- Quel est le plan pour la récupération du stock des bouteilles du `vin_id` 1725, année 2003?
- Essayer de changer l'année de ce même enregistrement de `stock` (la même que la précédente). Pourquoi cela échoue-t-il?
- Supprimer les enregistrements de 2004 pour `vin_id` = 1725.
- Retenter la mise à jour.
- Pour vider complètement le stock de 2001, supprimer la partition `stock_2001`.
- Tenter d'ajouter au stock une centaine de bouteilles de 2006.
- Pourquoi cela échoue-t-il?
- Créer une partition par défaut pour recevoir de tels enregistrements.
- Retenter l'ajout.
- Tenter de créer la partition pour l'année 2006. Pourquoi cela échoue-t-il?
- Pour créer la partition sur 2006, au sein d'une seule transaction :
 - détacher la partition par défaut;
 - y déplacer les enregistrements mentionnés;
 - ré-attacher la partition par défaut.

6.9.2 Partitionner pendant l'activité



But : Mettre en place le partitionnement déclaratif sur une base en cours d'activité

6.9.2.1 Préparation

Créer une base **pgbench** vierge, de taille 10 ou plus.

NB : Pour le TP, la base sera d'échelle 10 (environ 168 Mo). Des échelles 100 ou 1000 seraient plus réalistes.

Dans une fenêtre en arrière-plan, laisser tourner un processus `pgbench` avec une activité la plus soutenue possible. Il ne doit pas tomber en erreur pendant que les tables vont être partitionnées ! Certaines opérations vont poser des verrous, le but va être de les réduire au maximum.

Pour éviter un « empilement des verrous » et ne pas bloquer trop longtemps les opérations, faire en sorte que la transaction échoue si l'obtention d'un verrou dure plus de 10 s.

6.9.2.2 Partitionnement par *hash*

Pour partitionner la table `pgbench_accounts` par *hash* sur la colonne `aid` sans que le traitement `pgbench` tombe en erreur, préparer un script avec, dans une transaction :

- la création d'une table partitionnée par *hash* en 3 partitions au moins ;
- le transfert des données depuis `pgbench_accounts` ;
- la substitution de la table partitionnée à la table originale.

Tester et exécuter.

Supprimer l'ancienne table `pgbench_accounts_old`.

6.9.2.3 Partitionnement par valeur

`pgbench` doit continuer ses opérations en tâche de fond.

La table `pgbench_history` se remplit avec le temps. Elle doit être partitionnée par date (champ `mtime`). Pour le TP, on fera 2 partitions d'une minute, et une partition par défaut. La table actuelle doit devenir une partition de la nouvelle table partitionnée.

- Écrire un script qui, dans une seule transaction, fait tout cela et substitue la table partitionnée à la table d'origine.

NB : Pour éviter de coder des dates en dur, il est possible, avec `psql`, d'utiliser une variable :

```
SELECT ( now()+ interval '60s') AS date_frontiere \gset
SELECT :date_frontiere::timestampz ;
```

Exécuter le script, attendre que les données s'insèrent dans les nouvelles partitions.

6.9.2.4 Purge

- Continuer de laisser tourner `pgbench` en arrière-plan.
- Détacher et détruire la partition avec les données les plus anciennes.

6.9.2.5 Contraintes entre tables partitionnées

- Ajouter une clé étrangère entre `pgbench_accounts` et `pgbench_history`. Voir les contraintes créées.

Si vous n'avez pas déjà eu un problème à cause du `statement_timeout`, dropper la contrainte et recommencer avec une valeur plus basse. Comment contourner ?

6.9.2.6 Index global

On veut créer un index sur `pgbench_history (aid)`.

Pour ne pas gêner les écritures, il faudra le faire de manière concurrente. Créer l'index de manière concurrente sur chaque partition, puis sur la table partitionnée.

6.10 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

6.10.1 Partitionnement



But : Mettre en place le partitionnement déclaratif

Pour nous simplifier la vie, nous allons limiter le nombre d'années dans `stock` (cela nous évitera la création de 50 partitions).

```
INSERT INTO stock
SELECT vin_id, contenant_id, 2001 + annee % 5, sum(nombre)
FROM stock
GROUP BY vin_id, contenant_id, 2001 + annee % 5 ;
```

```
DELETE FROM stock WHERE annee < 2001 ;
```

Nous n'avons maintenant que des bouteilles des années 2001 à 2005.

- Renommer `stock` en `stock_old`.
- Créer une table partitionnée `stock` vide, sans index pour le moment.

```
ALTER TABLE stock RENAME TO stock_old;
CREATE TABLE stock(LIKE stock_old) PARTITION BY LIST (annee);
```

- Créer les partitions de `stock`, avec la contrainte d'année : `stock_2001` à `stock_2005`.

```
CREATE TABLE stock_2001 PARTITION OF stock FOR VALUES IN (2001) ;
CREATE TABLE stock_2002 PARTITION OF stock FOR VALUES IN (2002) ;
CREATE TABLE stock_2003 PARTITION OF stock FOR VALUES IN (2003) ;
CREATE TABLE stock_2004 PARTITION OF stock FOR VALUES IN (2004) ;
CREATE TABLE stock_2005 PARTITION OF stock FOR VALUES IN (2005) ;
```

- Insérer tous les enregistrements venant de l'ancienne table `stock`.

```
INSERT INTO stock SELECT * FROM stock_old;
```

- Passer les statistiques pour être sûr des plans à partir de maintenant (nous avons modifié beaucoup d'objets).

```
ANALYZE;
```

- Vérifier la présence d'enregistrements dans `stock_2001` (syntaxe `SELECT ONLY`).
- Vérifier qu'il n'y en a aucun dans `stock`.

```
SELECT count(*) FROM stock_2001;
SELECT count(*) FROM ONLY stock;
```

- Vérifier qu'une requête sur `stock` sur 2002 ne parcourt qu'une seule partition.

```
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM stock WHERE annee=2002;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append  (cost=0.00..417.36 rows=18192 width=16) (...)
  -> Seq Scan on stock_2002  (cost=0.00..326.40 rows=18192 width=16) (...)
       Filter: (annee = 2002)
Planning Time: 0.912 ms
Execution Time: 21.518 ms
```

- Remettre en place les index présents dans la table `stock` originale.
- Il se peut que d'autres index ne servent à rien (ils ne seront dans ce cas pas présents dans la correction).

```
CREATE UNIQUE INDEX ON stock (vin_id,contenant_id,annee);
```

Les autres index ne servent à rien sur les partitions : `idx_stock_annee` est évidemment inutile, mais `idx_stock_vin_annee` aussi, puisqu'il est inclus dans l'index unique que nous venons de créer.

- Quel est le plan pour la récupération du stock des bouteilles du `vin_id` 1725, année 2003?

```
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM stock WHERE vin_id=1725 AND annee=2003 ;
```

```
Append  (cost=0.29..4.36 rows=3 width=16) (...)
  -> Index Scan using stock_2003_vin_id_contenant_id_annee_idx on stock_2003 (...)
       Index Cond: ((vin_id = 1725) AND (annee = 2003))
Planning Time: 1.634 ms
Execution Time: 0.166 ms
```

- Essayer de changer l'année de ce même enregistrement de `stock` (la même que la précédente). Pourquoi cela échoue-t-il?

```
UPDATE stock SET annee=2004 WHERE annee=2003 and vin_id=1725 ;
```

```
ERROR: duplicate key value violates unique constraint
↳ "stock_2004_vin_id_contenant_id_annee_idx"
DETAIL: Key (vin_id, contenant_id, annee)=(1725, 1, 2004) already exists.
```

C'est une violation de contrainte unique, qui est une erreur normale : nous avons déjà un enregistrement de stock pour ce vin pour l'année 2004.

- Supprimer les enregistrements de 2004 pour `vin_id` = 1725.
- Retenter la mise à jour.

```
DELETE FROM stock WHERE annee=2004 and vin_id=1725;
```

```
UPDATE stock SET annee=2004 WHERE annee=2003 and vin_id=1725 ;
```

- Pour vider complètement le stock de 2001, supprimer la partition `stock_2001`.

```
DROP TABLE stock_2001 ;
```

- Tenter d'ajouter au stock une centaine de bouteilles de 2006.
- Pourquoi cela échoue-t-il ?

```
INSERT INTO stock (vin_id, contenant_id, annee, nombre) VALUES (1, 1, 2006, 100) ;
```

```
ERROR: no partition of relation "stock" found for row  
DETAIL: Partition key of the failing row contains (annee) = (2006).
```

Il n'existe pas de partition définie pour l'année 2006, cela échoue donc.

- Créer une partition par défaut pour recevoir de tels enregistrements.
- Retenter l'ajout.

```
CREATE TABLE stock_default PARTITION OF stock DEFAULT ;
```

```
INSERT INTO stock (vin_id, contenant_id, annee, nombre) VALUES (1, 1, 2006, 100) ;
```

- Tenter de créer la partition pour l'année 2006. Pourquoi cela échoue-t-il ?

```
CREATE TABLE stock_2006 PARTITION of stock FOR VALUES IN (2006) ;
```

```
ERROR: updated partition constraint for default partition "stock_default"  
would be violated by some row
```

Cela échoue car des enregistrements présents dans la partition par défaut répondent à cette nouvelle contrainte de partitionnement.

- Pour créer la partition sur 2006, au sein d'une seule transaction :
- détacher la partition par défaut ;
- y déplacer les enregistrements mentionnés ;
- ré-attacher la partition par défaut.

```
BEGIN ;
```

```
ALTER TABLE stock DETACH PARTITION stock_default;
```

```
CREATE TABLE stock_2006 PARTITION of stock FOR VALUES IN (2006) ;
```

```
INSERT INTO stock SELECT * FROM stock_default WHERE annee = 2006 ;
```

```
DELETE FROM stock_default WHERE annee = 2006 ;
```

```
ALTER TABLE stock ATTACH PARTITION stock_default DEFAULT ;
```

```
COMMIT ;
```

6.10.2 Partitionner pendant l'activité



But : Mettre en place le partitionnement déclaratif sur une base en cours d'activité

6.10.2.1 Préparation

Créer une base **pgbench** vierge, de taille 10 ou plus.

```
$ createdb pgbench
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -i -s 10 pgbench
```

Dans une fenêtre en arrière-plan, laisser tourner un processus `pgbench` avec une activité la plus soutenue possible. Il ne doit pas tomber en erreur pendant que les tables vont être partitionnées ! Certaines opérations vont poser des verrous, le but va être de les réduire au maximum.

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -n -T3600 -c20 -j2 --debug pgbench
```

L'activité est à ajuster en fonction de la puissance de la machine. Laisser l'affichage défiler dans une fenêtre pour bien voir les blocages.

Pour éviter un « empilement des verrous » et ne pas bloquer trop longtemps les opérations, faire en sorte que la transaction échoue si l'obtention d'un verrou dure plus de 10 s.

Un verrou en attente peut bloquer les opérations d'autres transactions venant après. On peut annuler l'opération à partir d'un certain seuil pour éviter ce phénomène :

```
pgbench=# SET lock_timeout TO '10s' ;
```

Cela ne concerne cependant pas les opérations une fois que les verrous sont acquis. On peut garantir qu'un ordre donné ne durera pas plus d'une certaine durée :

```
SET statement_timeout TO '10s' ;
```

En fonction de la rapidité de la machine et des données à déplacer, cette interruption peut être tolérable ou non.

6.10.2.2 Partitionnement par *hash*

Pour partitionner la table `pgbench_accounts` par *hash* sur la colonne `aid` sans que le traitement `pgbench` tombe en erreur, préparer un script avec, dans une transaction :

- la création d'une table partitionnée par *hash* en 3 partitions au moins ;
- le transfert des données depuis `pgbench_accounts` ;
- la substitution de la table partitionnée à la table originale.

Tester et exécuter.

Le champ `aid` n'a pas de signification, un partitionnement par *hash* est adéquat.

Le script peut être le suivant :

```
\timing on
\set ON_ERROR_STOP 1

SET lock_timeout TO '10s' ;
SET statement_timeout TO '10s' ;

BEGIN ;

-- Nouvelle table partitionnée

CREATE TABLE pgbench_accounts_part (LIKE pgbench_accounts INCLUDING ALL)
PARTITION BY HASH (aid) ;

CREATE TABLE pgbench_accounts_1 PARTITION OF pgbench_accounts_part
FOR VALUES WITH (MODULUS 3, REMAINDER 0) ;

CREATE TABLE pgbench_accounts_2 PARTITION OF pgbench_accounts_part
FOR VALUES WITH (MODULUS 3, REMAINDER 1) ;

CREATE TABLE pgbench_accounts_3 PARTITION OF pgbench_accounts_part
FOR VALUES WITH (MODULUS 3, REMAINDER 2) ;

-- Transfert des données

-- Bloquer les accès à la table le temps du transfert
-- (sinon risque de perte de données !)
LOCK TABLE pgbench_accounts ;

-- Copie des données
INSERT INTO pgbench_accounts_part
SELECT * FROM pgbench_accounts ;

-- Substitution par renommage
ALTER TABLE pgbench_accounts RENAME TO pgbench_accounts_old ;
ALTER TABLE pgbench_accounts_part RENAME TO pgbench_accounts ;

-- Contrôle

\d+

-- On ne validera qu'après contrôle
-- (pendant ce temps les sessions concurrentes restent bloquées !)

COMMIT ;
```

À la moindre erreur, la transaction tombe en erreur. Il faudra demander manuellement `ROLLBACK`.

Si la durée fixée par `statement_timeout` est dépassée, on aura cette erreur :

```
ERROR: canceling statement due to statement timeout
Time: 10115.506 ms (00:10.116)
```


Surtout, le traitement pgbench reprend en arrière-plan. On peut alors relancer le script corrigé plus tard.

Si tout se passe bien, un `\d+` renvoie ceci :

Liste des relations					
Schéma	Nom	Type	Propriétaire	Taille	...
public	pgbench_accounts	table partitionnée	postgres	0 bytes	
public	pgbench_accounts_1	table	postgres	43 MB	
public	pgbench_accounts_2	table	postgres	43 MB	
public	pgbench_accounts_3	table	postgres	43 MB	
public	pgbench_accounts_old	table	postgres	130 MB	
public	pgbench_branches	table	postgres	136 kB	
public	pgbench_history	table	postgres	5168 kB	
public	pgbench_tellers	table	postgres	216 kB	

On peut vérifier rapidement que les valeurs de `aid` sont bien réparties entre les 3 partitions :

```
SELECT aid FROM pgbench_accounts_1 LIMIT 3 ;
```

```
aid
----
  2
  6
  8
```

```
SELECT aid FROM pgbench_accounts_2 LIMIT 3 ;
```

```
aid
----
  3
  7
 10
```

```
SELECT aid FROM pgbench_accounts_3 LIMIT 3 ;
```

```
aid
----
  1
  9
 11
```

Après la validation du script, on voit apparaître les lignes dans les nouvelles partitions :

```
SELECT relname, n_live_tup
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname LIKE 'pgbench_accounts%';
```

relname	n_live_tup
pgbench_accounts_old	1000002
pgbench_accounts_1	333263
pgbench_accounts_2	333497
pgbench_accounts_3	333240

Supprimer l'ancienne table `pgbench_accounts_old`.

```
DROP TABLE pgbench_accounts_old ;
```

6.10.2.3 Partitionnement par valeur

`pgbench` doit continuer ses opérations en tâche de fond.

La table `pgbench_history` se remplit avec le temps. Elle doit être partitionnée par date (champ `mtime`). Pour le TP, on fera 2 partitions d'une minute, et une partition par défaut. La table actuelle doit devenir une partition de la nouvelle table partitionnée.

— Écrire un script qui, dans une seule transaction, fait tout cela et substitue la table partitionnée à la table d'origine.

NB : Pour éviter de coder des dates en dur, il est possible, avec `psql`, d'utiliser une variable :

```
SELECT ( now()+ interval '60s') AS date_frontiere \gset
SELECT :'date_frontiere'::timestampz ;
```

La « date frontière » doit être dans le futur (proche). En effet, `pgbench` va modifier les tables en permanence, on ne sait pas exactement à quel moment la transition aura lieu (et de toute façon on ne maîtrise pas les valeurs de `mtime`) : il continuera donc à écrire dans l'ancienne table, devenue partition, pendant encore quelques secondes.

Cette date est arbitrairement à 1 minute dans le futur, pour dérouler le script manuellement :

```
SELECT ( now()+ interval '60s') AS date_frontiere \gset
```

Et on peut réutiliser cette variable ainsi ;

```
SELECT :'date_frontiere'::timestampz ;
```

Le script peut être celui-ci :

```
\timing on
\set ON_ERROR_STOP 1

SET lock_timeout TO '10s' ;
SET statement_timeout TO '10s' ;

SELECT ( now()+ interval '60s') AS date_frontiere \gset
SELECT :'date_frontiere'::timestampz ;

BEGIN ;

-- Nouvelle table partitionnée
CREATE TABLE pgbench_history_part (LIKE pgbench_history INCLUDING ALL)
PARTITION BY RANGE (mtime) ;

-- Des partitions pour les prochaines minutes
```

```

CREATE TABLE pgbench_history_1
PARTITION OF pgbench_history_part
FOR VALUES FROM (:'date_frontiere'::timestampz )
TO (:'date_frontiere'::timestampz + interval '1min' ) ;

CREATE TABLE pgbench_history_2
PARTITION OF pgbench_history_part
FOR VALUES FROM (:'date_frontiere'::timestampz + interval '1min' )
TO (:'date_frontiere'::timestampz + interval '2min' ) ;

-- Au cas où le service perdure au-delà des partitions prévues,
-- on débordera dans cette table
CREATE TABLE pgbench_history_default
PARTITION OF pgbench_history_part DEFAULT ;

-- Jusqu'ici pgbench continue de tourner en arrière plan

-- La table devient une simple partition
-- Ce renommage pose un verrou, les sessions pgbench sont bloquées
ALTER TABLE pgbench_history RENAME TO pgbench_history_orig ;

ALTER TABLE pgbench_history_part
ATTACH PARTITION pgbench_history_orig
FOR VALUES FROM (MINVALUE) TO (:'date_frontiere'::timestampz) ;

-- Contrôle
\dP

-- Substitution de la table partitionnée à celle d'origine.
ALTER TABLE pgbench_history_part RENAME TO pgbench_history ;

-- Contrôle
\d+ pgbench_history

```

```
COMMIT ;
```

Exécuter le script, attendre que les données s’insèrent dans les nouvelles partitions.

Pour surveiller le contenu des tables jusqu’à la transition :

```

SELECT relname, n_live_tup, now()
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname LIKE 'pgbench_history%' ;

```

```
\watch 3
```

Un `\d+` doit renvoyer ceci :

		Liste des relations			
Schéma	Nom	Type	Propriétaire	Taille	...
public	pgbench_accounts	table partitionnée	postgres	0 bytes	
public	pgbench_accounts_1	table	postgres	44 MB	
public	pgbench_accounts_2	table	postgres	44 MB	

public	pgbench_accounts_3	table	postgres	44 MB
public	pgbench_branches	table	postgres	136 kB
public	pgbench_history	table partitionnée	postgres	0 bytes
public	pgbench_history_1	table	postgres	672 kB
public	pgbench_history_2	table	postgres	0 bytes
public	pgbench_history_default	table	postgres	0 bytes
public	pgbench_history_orig	table	postgres	8736 kB
public	pgbench_tellers	table	postgres	216 kB

6.10.2.4 Purge

- Continuer de laisser tourner `pgbench` en arrière-plan.
- Détacher et détruire la partition avec les données les plus anciennes.

```
ALTER TABLE pgbench_history
DETACH PARTITION pgbench_history_orig ;
```

-- On pourrait faire le DROP directement

```
DROP TABLE pgbench_history_orig ;
```

6.10.2.5 Contraintes entre tables partitionnées

- Ajouter une clé étrangère entre `pgbench_accounts` et `pgbench_history`. Voir les contraintes créées.

NB : les clés étrangères entre tables partitionnées ne sont pas disponibles avant PostgreSQL 12.

```
SET lock_timeout TO '3s' ;
SET statement_timeout TO '10s' ;
```

```
CREATE INDEX ON pgbench_history (aid) ;
```

```
ALTER TABLE pgbench_history
ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey FOREIGN KEY (aid) REFERENCES
pgbench_accounts ;
```

On voit que chaque partition porte un index comme la table mère. La contrainte est portée par chaque partition.

```
pgbench=# \d+ pgbench_history
Table partitionnée « public.pgbench_history »
...
Clé de partition : RANGE (mtime)
Index :
    "pgbench_history_aid_idx" btree (aid)
Contraintes de clés étrangères :
    "pgbench_history_aid_fkey" FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts(aid)
Partitions: pgbench_history_1 FOR VALUES FROM ('2020-02-14 17:41:08.298445')
              TO ('2020-02-14 17:42:08.298445'),
            pgbench_history_2 FOR VALUES FROM ('2020-02-14 17:42:08.298445')
              TO ('2020-02-14 17:43:08.298445'),
            pgbench_history_default DEFAULT
```

```

pgbench=# \d+ pgbench_history_1
Table « public.pgbench_history_1 »
...
Partition de : pgbench_history FOR VALUES FROM ('2020-02-14 17:41:08.298445')
TO ('2020-02-14 17:42:08.298445')
Contrainte de partition : ((mtime IS NOT NULL)
AND(mtime >= '2020-02-14 17:41:08.298445'::timestamp without time zone)
AND (mtime < '2020-02-14 17:42:08.298445'::timestamp without time zone))
Index :
"pgbench_history_1_aid_idx" btree (aid)
Contraintes de clés étrangères :
TABLE "pgbench_history" CONSTRAINT "pgbench_history_aid_fkey"
FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts(aid)
Méthode d'accès : heap

```

Si vous n'avez pas déjà eu un problème à cause du `statement_timeout`, dropper la contrainte et recommencer avec une valeur plus basse. Comment contourner ?

Le `statement_timeout` peut être un problème :

SET

```

pgbench=# ALTER TABLE pgbench_history
ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey FOREIGN KEY (aid)
REFERENCES pgbench_accounts ;
ERROR: canceling statement due to statement timeout

```

On peut créer les contraintes séparément sur les tables. Cela permet de ne poser un verrou sur la partition active (sans doute `pgbench_history_default`) que pendant le strict minimum de temps (les autres partitions de `pgbench_history` ne sont pas utilisées).

```

SET statement_timeout to '1s' ;
ALTER TABLE pgbench_history_1 ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey
FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts ;
ALTER TABLE pgbench_history_2 ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey
FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts ;
ALTER TABLE pgbench_history_default ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey
FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts ;

```

La contrainte au niveau global sera alors posée presque instantanément :

```

ALTER TABLE pgbench_history ADD CONSTRAINT pgbench_history_aid_fkey
FOREIGN KEY (aid) REFERENCES pgbench_accounts ;

```

6.10.2.6 Index global

On veut créer un index sur `pgbench_history (aid)`.

Pour ne pas gêner les écritures, il faudra le faire de manière concurrente. Créer l'index de manière concurrente sur chaque partition, puis sur la table partitionnée.

Construire un index de manière concurrente (clause `CONCURRENTLY`) permet de ne pas bloquer la table en écriture pendant la création de l'index, qui peut être très longue. Mais il n'est pas possible de le faire sur la table partitionnée :

```
CREATE INDEX CONCURRENTLY ON pgbench_history (aid) ;
```

ERROR: cannot create index on partitioned table "pgbench_history" concurrently

Mais on peut créer l'index sur chaque partition séparément :

```
CREATE INDEX CONCURRENTLY ON pgbench_history_1 (aid) ;
CREATE INDEX CONCURRENTLY ON pgbench_history_2 (aid) ;
CREATE INDEX CONCURRENTLY ON pgbench_history_default (aid) ;
```

S'il y a beaucoup de partitions, on peut générer dynamiquement ces ordres :

```
SELECT 'CREATE INDEX CONCURRENTLY ON ' ||
       c.oid::regclass::text || ' (aid) ; '
FROM pg_class c
WHERE relname like 'pgbench_history%' AND relispartition \gexec
```

Comme lors de toute création concurrente, il faut vérifier que les index sont bien valides : la requête suivante ne doit rien retourner.

```
SELECT indexrelid::regclass FROM pg_index WHERE NOT indisvalid ;
```

Enfin on crée l'index au niveau de la table partitionnée : il réutilise les index existants et sera donc créé presque instantanément :

```
CREATE INDEX ON pgbench_history(aid) ;
```

```
pgbench=# \d+ pgbench_history
..
Partition key: RANGE (mtime)
Indexes:
    "pgbench_history_aid_idx" btree (aid)
...
```

7/ Connexions distantes

7.1 ACCÈS À DISTANCE À D'AUTRES SOURCES DE DONNÉES



- Modules historiques : `dblink`
- SQL/MED & *Foreign Data Wrappers*
- Sharding par fonctions : PL/Proxy
- Le sharding est *Work In Progress*

Nativement, lorsqu'un utilisateur est connecté à une base de données PostgreSQL, sa vision du monde est contenue hermétiquement dans cette base. Il n'a pas accès aux objets des autres bases de la même instance ou d'une autre instance.

Cependant, il existe principalement 3 méthodes pour accéder à des données externes à la base sous PostgreSQL.

La norme SQL/MED est la méthode recommandée pour accéder à des objets distants. Elle permet l'accès à de nombreuses sources de données différentes grâce l'utilisation de connecteurs appelés *Foreign Data Wrappers*.

Historiquement, les utilisateurs de PostgreSQL passaient par l'extension `dblink`, qui permet l'accès à des données externes. Cependant, cet accès ne concerne que des serveurs PostgreSQL. De plus, son utilisation prête facilement à accès moins performant et moins sécurisés que la norme SQL/MED.

PL/Proxy est un cas d'utilisation très différent : cette extension, au départ développée par Skype, permet de distribuer des appels de fonctions PL sur plusieurs nœuds.

Le sharding n'est pas intégré de manière simple à PostgreSQL dans sa version officielle. Il est tout de même possible de créer des partitions basées sur des tables distantes (donc avec SQL/MED), mais ce n'est qu'un début. Des éditeurs proposent des extensions, propriétaires ou expérimentales, ou des *forks* de PostgreSQL dédiés; ou encore des produits simplement « compatibles » avec PostgreSQL. Comme souvent, il faut se poser la question du besoin réel par rapport à une instance PostgreSQL bien optimisée avant d'utiliser des outils qui vont ajouter une couche supplémentaire de complexité dans votre infrastructure.

7.2 SQL/MED



- *Management of External Data*
- Extension de la norme SQL ISO
- Données externes présentées comme des tables
- Grand nombre de fonctionnalités disponibles
 - mais tous les connecteurs n'implémentent pas tout
- Données accessibles par l'intermédiaire de tables
 - ces tables ne contiennent pas les données localement
 - l'accès à ces tables provoque une récupération des données distantes

SQL/MED est un des tomes de la norme SQL, traitant de l'accès aux données externes (Management of External Data).

Elle fournit donc un certain nombre d'éléments conceptuels, et de syntaxe, permettant la déclaration d'accès à des données externes. Ces données externes sont bien sûr présentées comme des tables.

PostgreSQL suit cette norme et est ainsi capable de requêter des tables distantes à travers des pilotes (appelés *Foreign Data Wrapper*). Les seuls connecteurs livrés par défaut sont `file_fdw` (pour lire des fichiers plats de type CSV accessibles du serveur PostgreSQL) et `postgres_fdw` (qui permet de se connecter à un autre serveur PostgreSQL).

7.2.1 Objets proposés par SQL/MED



- Foreign Data Wrapper
 - connecteur permettant la connexion à un serveur externe et l'exécution de requête
- Foreign Server
 - serveur distant
- User Mapping
 - correspondance d'utilisateur local vers distant
- Foreign Table
 - table distante (ou table externe)

La norme SQL/MED définit quatre types d'objets.

Le *Foreign Data Wrapper* est le connecteur permettant la connexion à un serveur distant, l'exécution de requêtes sur ce serveur, et la récupération des résultats par l'intermédiaire d'une table distante.

Le *Foreign Server* est la définition d'un serveur distant. Il est lié à un *Foreign Data Wrapper* lors de sa création, des options sont disponibles pour indiquer le fichier ou l'adresse IP et le port, ainsi que d'autres informations d'importance pour le connecteur.

Un *User Mapping* permet de définir qui localement a le droit de se connecter sur un serveur distant en tant que tel utilisateur sur le serveur distant. La définition d'un *User Mapping* est optionnel.

Une *Foreign Table* contient la définition de la table distante : nom des colonnes, et type. Elle est liée à un *Foreign Server*.

7.2.2 Foreign Data Wrapper



- Pilote d'accès aux données
- Couverture variable des fonctionnalités
- Qualité variable
- Exemples de connecteurs
 - PostgreSQL, SQLite, Oracle, MySQL (lecture/écriture)
 - fichier CSV, fichier fixe (en lecture)
 - ODBC, JDBC
 - CouchDB, Redis (NoSQL)
- Disponible généralement sous la forme d'une extension
 - ajouter l'extension ajoute le Foreign Data Wrapper à une base

Les trois *Foreign Data Wrappers* les plus aboutis sont sans conteste ceux pour PostgreSQL (disponible en module contrib), Oracle et SQLite. Ces trois pilotes supportent un grand nombre de fonctionnalités (si ce n'est pas toutes) de l'implémentation SQL/MED par PostgreSQL.

De nombreux pilotes spécialisés existent, entre autres pour accéder à des bases NoSQL comme MongoDB, CouchDB ou Redis, ou à des fichiers.

Il existe aussi des drivers génériques :

- ODBC : utilisation de driver ODBC
- JDBC : utilisation de driver JDBC

La liste complète des *Foreign Data Wrappers* disponibles pour PostgreSQL peut être consultée sur le wiki de postgresql.org¹. Encore une fois, leur couverture des fonctionnalités disponibles est très variable ainsi que leur qualité. Il convient de rester prudent et de bien tester ces extensions.

Par exemple, pour ajouter le *Foreign Data Wrapper* pour PostgreSQL, on procédera ainsi :

```
CREATE EXTENSION postgres_fdw;
```

La création cette extension dans une base provoquera l'ajout du *Foreign Data Wrapper* :

```
b1=# CREATE EXTENSION postgres_fdw;
CREATE EXTENSION
```

```
b1=# \dx+ postgres_fdw
Objects in extension "postgres_fdw"
```

¹https://wiki.postgresql.org/wiki/Foreign_data_wrappers

Object descriptiong

```
foreign-data wrapper postgres_fdw
function postgres_fdw_disconnect(text)
function postgres_fdw_disconnect_all()
function postgres_fdw_get_connections()
function postgres_fdw_handler()
function postgres_fdw_validator(text[],oid)
(6 rows)
```

```
b1=# \dew
```

```

              List of foreign-data wrappers
   Name      | Owner   | Handler             | Validator
-----+-----+-----+-----
 postgres_fdw | postgres | postgres_fdw_handler | postgres_fdw_validator
(1 row)
```

7.2.3 Fonctionnalités disponibles pour un FDW (1/2)



- Support des lecture de tables (`SELECT`)
- Support des écriture de tables (y compris `TRUNCATE`)
 - directement pour `INSERT`
 - récupération de la ligne en local pour un `UPDATE` / `DELETE`
- Envoi sur le serveur distant
 - des prédicats
 - des jointures si les deux tables jointes font partie du même serveur distant
 - des agrégations

L'implémentation SQL/MED permet l'ajout de ces fonctionnalités dans un *Foreign Data Wrapper*. Cependant, une majorité de ces fonctionnalités est optionnelle. Seule la lecture des données est obligatoire.

Les chapitres suivant montrent des exemples de ces fonctionnalités sur deux *Foreign Data Wrappers*.

7.2.4 Fonctionnalités disponibles pour un FDW (2/2)



- Mais aussi
 - support du `EXPLAIN`
 - support du `ANALYZE` (amélioration en v16)
 - support des triggers
 - support de la parallélisation
 - support des exécutions asynchrones (v14)
 - possibilité d'importer un schéma complet

Les *Foreign Data Wrappers* sont fréquemment améliorés. La dernière optimisation en date concerne la gestion de la commande `ANALYZE` en version 16 de PostgreSQL.

Jusque PostgreSQL 15, lorsque `ANALYZE` était exécuté sur une table distante, l'échantillonnage était effectué localement à l'instance. Les données étaient donc intégralement rapatriées avant que ne soient effectuées les opérations d'échantillonnage. Pour des grosses tables, cette manière de faire était tout sauf optimisée. À partir de PostgreSQL 16, l'échantillonnage des lignes se fait par défaut sur le serveur distant grâce à l'option `analyze_sampling`. La volumétrie transférée est alors bien plus basse. Le calcul des statistiques des données sur cet échantillon se fait toujours sur l'instance qui lance `ANALYZE`.

Cette option peut prendre les valeurs `off`, `auto`, `system`, `bernoulli` et `random`. La valeur par défaut est `auto` qui permettra d'utiliser soit `bernoulli` (cas général) soit `random` (pour des serveurs distants plus anciens que PostgreSQL 9.5). Par exemple :

```
ALTER FOREIGN TABLE t1_fdw OPTIONS ( analyze_sampling 'auto' );
ALTER FOREIGN TABLE t1_fdw OPTIONS ( SET analyze_sampling 'off' );
```

`analyze_sampling` peut être appliqué sur le *foreign server* ou la *foreign table* directement. sur la `FOREIGN TABLE` directement.

Il est possible de créer des triggers locaux sur des tables étrangères. Un trigger sur `TRUNCATE` n'est pas possible avant PostgreSQL 16.

7.2.5 Foreign Server



- Encapsule les informations de connexion
- Le Foreign Data Wrapper utilise ces informations pour la connexion
- Chaque Foreign Data Wrapper propose des options spécifiques
 - nom du fichier pour un FDW listant des fichiers
 - adresse IP, port, nom de base pour un serveur SQL
 - autres

Pour accéder aux données d'un autre serveur, il faut pouvoir s'y connecter. Le Foreign Server regroupe les informations permettant cette connexion : par exemple adresse IP et port.

Voici un exemple d'ajout de serveur distant :

```
CREATE SERVER serveur2
  FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
  OPTIONS (host '192.168.122.1',
           port '5432',
           dbname 'b1') ;
```

7.2.6 User Mapping



- Correspondance utilisateur local / utilisateur distant
- Mot de passe stocké chiffré
- Optionnel
 - aucun intérêt pour les FDW fichiers
 - essentiel pour les FDW de bases de données

Définir un *User Mapping* permet d'indiquer au *Foreign Data Wrapper* quel utilisateur utilisé pour la connexion au serveur distant.

Par exemple, avec cette définition :

```
CREATE USER MAPPING FOR bob SERVER serveur2 OPTIONS (user 'alice', password
↪ 'secret');
```

Si l'utilisateur `bob` local accède à une table distante dépendant du serveur distant `serveur2`, la connexion au serveur distant passera par l'utilisateur `alice` sur le serveur distant.

7.2.7 Foreign Table



- Définit une table distante
- Doit comporter les colonnes du bon type
 - pas forcément toutes
 - pas forcément dans le même ordre
- Peut être une partition d'une table partitionnée
- Possibilité d'importer un schéma complet
 - simplifie grandement la création des tables distantes

Voici un premier exemple pour une table simple :

```
CREATE FOREIGN TABLE films (
    code      char(5) NOT NULL,
    titre     varchar(40) NOT NULL,
    did       integer NOT NULL,
    date_prod date,
    type      varchar(10),
    duree     interval hour to minute
)
SERVER serveur2 ;
```

Lors de l'accès (avec un `SELECT` par exemple) à la table `films`, PostgreSQL va chercher la définition du serveur `serveur2`, ce qui lui permettra de connaître le *Foreign Data Wrapper* responsable de la récupération des données et donnera la main à ce connecteur.

Et voici un second exemple, cette fois pour une partition :

```
CREATE FOREIGN TABLE stock202112
    PARTITION OF stock FOR VALUES FROM ('2021-12-01') TO ('2022-01-01')
SERVER serveur2;
```

Dans ce cas, l'accès à la table partitionnée locale `stock` accédera à des données locales (les autres partitions) mais aussi à des données distantes avec au moins la partition `stock202112`.

Cette étape de création des tables distantes est fastidieuse et peut amener des problèmes si on se trompe sur le nom des colonnes ou sur leur type. C'est d'autant plus vrai que le nombre de tables à créer est important. Dans ce cas, elle peut être avantageusement remplacée par un appel à l'ordre `IMPORT FOREIGN SCHEMA`. Disponible à partir de la version 9.5, il permet l'import d'un schéma complet.

7.2.8 Exemple : file_fdw



Foreign Data Wrapper de lecture de fichiers CSV.

```
CREATE EXTENSION file_fdw;

CREATE SERVER fichier FOREIGN DATA WRAPPER file_fdw ;

CREATE FOREIGN TABLE donnees_statistiques (f1 numeric, f2 numeric)
SERVER fichier
OPTIONS (filename '/tmp/fichier_donnees_statistiques.csv',
        format 'csv',
        delimiter ';') ;
```

Quel que soit le connecteur, la création d'un accès se fait en 3 étapes minimum :

- Installation du connecteur : aucun *Foreign Data Wrapper* n'est présent par défaut. Il se peut que vous ayez d'abord à l'installer sur le serveur au niveau du système d'exploitation.
- Création du serveur : permet de spécifier un certain nombre d'informations génériques à un serveur distant, qu'on n'aura pas à préciser pour chaque objet de ce serveur.

- Création de la table distante : l'objet qu'on souhaite rendre visible.

Éventuellement, on peut vouloir créer un *User Mapping*, mais ce n'est pas nécessaire pour le FDW `file_fdw`.

En reprenant l'exemple ci-dessus et avec un fichier `/tmp/fichier_donnees_statistiques.csv` contenant les lignes suivantes :

```
1;1.2
2;2.4
3;0
4;5.6
```

Voici ce que donnerait quelques opérations sur cette table distante :

```
SELECT * FROM donnees_statistiques;
```

```
f1 | f2g
----+-----
 1 | 1.2
 2 | 2.4
 3 | 0
 4 | 5.6
(4 rows)
```

```
SELECT * FROM donnees_statistiques WHERE f1=2;
```

```
f1 | f2g
----+-----
 2 | 2.4
(1 row)
```

```
EXPLAIN SELECT * FROM donnees_statistiques WHERE f1=2;
```

```

              QUERY PLAN
-----
Foreign Scan on donnees_statistiques (cost=0.00..1.10 rows=1 width=64)
  Filter: (f1 = '2'::numeric)
  Foreign File: /tmp/fichier_donnees_statistiques.csv
  Foreign File Size: 25 b
(4 rows)
```

```
postgres=# insert into donnees_statistiques values (5,100.23);
ERROR:  cannot insert into foreign table "donnees_statistiques"
```

7.2.9 Exemple : postgres_fdw



- Pilote le plus abouti, et pour cause
 - il permet de tester les nouvelles fonctionnalités de SQL/MED
 - il sert d'exemple pour les autres FDW
- Propose en plus :
 - une gestion des transactions explicites
 - un pooler de connexions

Nous créons une table sur un serveur distant. Par simplicité, nous utiliserons le même serveur mais une base différente. Créons cette base et cette table :

```
dalibo=# CREATE DATABASE distante;
CREATE DATABASE

dalibo=# \c distante
You are now connected to database "distante" as user "dalibo".

distante=# CREATE TABLE personnes (id integer, nom text);
CREATE TABLE

distante=# INSERT INTO personnes (id, nom) VALUES (1, 'alice'),
              (2, 'bertrand'), (3, 'charlotte'), (4, 'david');
INSERT 0 4

distante=# ANALYZE personnes;
ANALYZE
```

Maintenant nous pouvons revenir à notre base d'origine et mettre en place la relation avec le « serveur distant » :

```
distante=# \c dalibo
You are now connected to database "dalibo" as user "dalibo".

dalibo=# CREATE EXTENSION postgres_fdw;
CREATE EXTENSION

dalibo=# CREATE SERVER serveur_distant FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (HOST 'localhost',PORT '5432', DBNAME 'distante');
CREATE SERVER

dalibo=# CREATE USER MAPPING FOR dalibo SERVER serveur_distant
OPTIONS (user 'dalibo', password 'mon_mdp');
CREATE USER MAPPING

dalibo=# CREATE FOREIGN TABLE personnes (id integer, nom text)
SERVER serveur_distant;
CREATE FOREIGN TABLE
```

Et c'est tout ! Nous pouvons désormais utiliser la table distante `personnes` comme si elle était une table locale de notre base.

```
SELECT * FROM personnes;
```

```
 id |  nom
----+-----
  1 | alice
  2 | bertrand
  3 | charlotte
  4 | david
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE) SELECT * FROM personnes;
```

```
              QUERY PLAN
-----
Foreign Scan on public.personnes  (cost=100.00..150.95 rows=1365 width=36)
```



```
(actual time=0.655..0.657 rows=4 loops=1)
Output: id, nom
Remote SQL: SELECT id, nom FROM public.personnes
Total runtime: 1.197 ms
```

En plus, si nous filtrons notre requête, le filtre est exécuté sur le serveur distant, réduisant considérablement le trafic réseau et le traitement associé.

```
EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE) SELECT * FROM personnes WHERE id = 3;
```

QUERY PLAN

```
Foreign Scan on public.personnes (cost=100.00..127.20 rows=7 width=36)
                                         (actual time=1.778..1.779 rows=1 loops=1)
Output: id, nom
Remote SQL: SELECT id, nom FROM public.personnes WHERE ((id = 3))
Total runtime: 2.240 ms
```

Noter qu'`EXPLAIN` exige l'option `VERBOSE` pour afficher le code envoyé à l'instance distante.

Il est possible d'écrire vers ces tables aussi, à condition que le connecteur FDW le permette.

En utilisant l'exemple de la section précédente, on note qu'il y a un aller-retour entre la sélection des lignes à modifier (ou supprimer) et la modification (suppression) de ces lignes :

```
EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE)
UPDATE personnes
SET nom = 'agathe' WHERE id = 1 ;
```

QUERY PLAN

```
Update on public.personnes (cost=100.00..140.35 rows=12 width=10)
                                         (actual time=2.086..2.086 rows=0 loops=1)
Remote SQL: UPDATE public.personnes SET nom = $2 WHERE ctid = $1
-> Foreign Scan on public.personnes (cost=100.00..140.35 rows=12 width=10)
                                         (actual time=1.040..1.042 rows=1 loops=1)
Output: id, 'agathe'::text, ctid
Remote SQL: SELECT id, ctid FROM public.personnes WHERE ((id = 1))
FOR UPDATE
Total runtime: 2.660 ms
```

```
SELECT * FROM personnes;
```

```
id |      nom
----+-----
 2 | bertrand
 3 | charlotte
 4 | david
 1 | agathe
```

On peut aussi constater que l'écriture distante respecte les transactions :

```
dalibo=# BEGIN;
```

```
dalibo=# DELETE FROM personnes WHERE id=2;
DELETE 1
```

```
dalibo=# SELECT * FROM personnes;
```

```
 id |  nom
----+-----
  3 | charlotte
  4 | david
  1 | agathe
(3 rows)
```

```
dalibo=# ROLLBACK;
ROLLBACK
```

```
dalibo=# SELECT * FROM personnes;
```

```
 id |  nom
----+-----
  2 | bertrand
  3 | charlotte
  4 | david
  1 | agathe
(4 rows)
```



Attention à ne pas perdre de vue qu'une table distante n'est pas une table locale. L'accès à ses données est plus lent, surtout quand on souhaite récupérer de manière répétitive peu d'enregistrements : on a systématiquement une latence réseau, éventuellement une analyse de la requête envoyée au serveur distant, etc.

Les jointures ne sont pas « poussées » au serveur distant avant PostgreSQL 9.6 et pour des bases PostgreSQL. Un accès par *Nested Loop* (boucle imbriquée entre les deux tables) est habituellement inenvisageable entre deux tables distantes : la boucle interne (celle qui en local serait un accès à une table par index) entraînerait une requête individuelle par itération, ce qui serait horriblement peu performant.

Comme avec tout FDW, il existe des restrictions. Par exemple, avec `postgres_fdw`, un `TRUNCATE` d'une table distante n'est pas possible avant PostgreSQL 14.

Les tables distantes sont donc à réserver à des accès intermittents. Il ne faut pas les utiliser pour développer une application transactionnelle par exemple. Noter qu'entre serveurs PostgreSQL, chaque version améliore les performances (notamment pour « pousser » le maximum d'informations et de critères au serveur distant).

7.2.10 SQL/MED : Performances



- Tous les FDW : vues matérialisées et indexations
- `postgres_fdw` : `fetch_size`

Pour améliorer les performances lors de l'utilisation de *Foreign Data Wrapper*, une pratique courante est de faire une vue matérialisée de l'objet distant. Les données sont récupérées en bloc et cette vue

matérialisée peut être indexée. C'est une sorte de mise en cache. Évidemment cela ne convient pas à toutes les applications.

La documentation de `postgres_fdw`² mentionne plusieurs paramètres, et le plus intéressant pour des requêtes de gros volume est `fetch_size` : la valeur par défaut n'est que de 100, et l'augmenter permet de réduire les aller-retours à travers le réseau.

7.2.11 SQL/MED : héritage



- Une table locale peut hériter d'une table distante et inversement
- Permet le partitionnement sur plusieurs serveurs
- Pour rappel, l'héritage ne permet pas de conserver
 - les contraintes d'unicité et référentielles
 - les index
 - les droits

Cette fonctionnalité utilise le mécanisme d'héritage de PostgreSQL.

Exemple d'une table locale qui hérite d'une table distante

La table parent (ici une table distante) sera la table `fgn_stock_londre` et la table enfant sera la table `local_stock` (locale). Ainsi la lecture de la table `fgn_stock_londre` retournera les enregistrements de la table `fgn_stock_londre` et de la table `local_stock`.

Sur l'instance distante :

Créer une table `stock_londre` sur l'instance distante dans la base nommée « cave » et insérer des valeurs :

```
CREATE TABLE stock_londre (c1 int);
INSERT INTO stock_londre VALUES (1), (2), (4), (5);
```

Sur l'instance locale :

Créer le serveur et la correspondance des droits :

```
CREATE EXTENSION postgres_fdw ;

CREATE SERVER pgdistant
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host '192.168.0.42', port '5432', dbname 'cave');

CREATE USER MAPPING FOR mon_utilisateur
SERVER pgdistant
OPTIONS (user 'utilisateur_distant', password 'mdp_utilisateur_distant');
```

Créer une table distante `fgn_stock_londre` correspondant à la table `stock_londre` de l'autre instance :

²<https://docs.postgresql.fr/current/postgres-fdw.html>

```
CREATE FOREIGN TABLE fgn_stock_londre (c1 int) SERVER pgdistant
OPTIONS (schema_name 'public' , table_name 'stock_londre');
```

On peut bien lire les données :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM fgn_stock_londre;
```

tableoid	c1
fgn_stock_londre	1
fgn_stock_londre	2
fgn_stock_londre	4
fgn_stock_londre	5

(4 lignes)

Voici le plan d'exécution associé :

```
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM fgn_stock_londre;
```

```

              QUERY PLAN
-----
Foreign Scan on fgn_stock_londre  (cost=100.00..197.75 rows=2925 width=4)
                                   (actual time=0.388..0.389 rows=4 loops=1)
```

Créer une table `local_stock` sur l'instance locale qui va hériter de la table mère :

```
CREATE TABLE local_stock () INHERITS (fgn_stock_londre);
```

On insère des valeurs dans la table `local_stock` :

```
INSERT INTO local_stock VALUES (10),(15);
INSERT 0 2
```

La table `local_stock` ne contient bien que 2 valeurs :

```
SELECT * FROM local_stock ;
```

c1
10
15

(2 lignes)

En revanche, la table `fgn_stock_londre` ne contient plus 4 valeurs mais 6 valeurs :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM fgn_stock_londre;
```

tableoid	c1
fgn_stock_londre	1
fgn_stock_londre	2
fgn_stock_londre	4
fgn_stock_londre	5
local_stock	10
local_stock	15

(6 lignes)

Dans le plan d'exécution on remarque bien la lecture des deux tables :

```
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM fgn_stock_londre;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append  (cost=100.00..233.25 rows=5475 width=4)
    (actual time=0.438..0.444 rows=6 loops=1)
    -> Foreign Scan on fgn_stock_londre
        (cost=100.00..197.75 rows=2925 width=4)
        (actual time=0.438..0.438 rows=4 loops=1)
    -> Seq Scan on local_stock  (cost=0.00..35.50 rows=2550 width=4)
        (actual time=0.004..0.005 rows=2 loops=1)

Planning time: 0.066 ms
Execution time: 0.821 ms
(5 lignes)
```

Note : Les données de la table `stock_londre` sur l'instance distante n'ont pas été modifiées.

Exemple d'une table distante qui hérite d'une table locale

La table parent sera la table `master_stock` et la table fille (ici distante) sera la table `fgn_stock_londre`. Ainsi une lecture de la table `master_stock` retournera les valeurs de la table `master_stock` et de la table `fgn_stock_londre`, sachant qu'une lecture de la table `fgn_stock_londre` retourne les valeurs de la table `fgn_stock_londre` et `local_stock`. Une lecture de la table `master_stock` retournera les valeurs des 3 tables : `master_stock`, `fgn_stock_londre`, `local_stock`.

Créer une table `master_stock`, insérer des valeurs dedans :

```
CREATE TABLE master_stock (LIKE fgn_stock_londre);
INSERT INTO master_stock VALUES (100), (200);
```

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock;
```

tableoid	c1
master_stock	100
master_stock	200

(2 rows)

Modifier la table `fgn_stock_londre` pour qu'elle hérite de la table `master_stock` :

```
ALTER TABLE fgn_stock_londre INHERIT master_stock ;
```

La lecture de la table `master_stock` nous montre bien les valeurs des 3 tables :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock ;
```

tableoid	c1
master_stock	100
master_stock	200
fgn_stock_londre	1
fgn_stock_londre	2
fgn_stock_londre	4
fgn_stock_londre	5
local_stock	10

```
local_stock      | 15
(8 lignes)
```

Le plan d'exécution confirme bien la lecture des 3 tables :

```
EXPLAIN ANALYSE SELECT * FROM master_stock ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Append  (cost=0.00..236.80 rows=5730 width=4)
  (actual time=0.004..0.440 rows=8 loops=1)
  -> Seq Scan on master_stock  (cost=0.00..3.55 rows=255 width=4)
    (actual time=0.003..0.003 rows=2 loops=1)
  -> Foreign Scan on fgn_stock_londre
    (cost=100.00..197.75 rows=2925 width=4)
    (actual time=0.430..0.430 rows=4 loops=1)
  -> Seq Scan on local_stock  (cost=0.00..35.50 rows=2550 width=4)
    (actual time=0.003..0.004 rows=2 loops=1)

Planning time: 0.073 ms
Execution time: 0.865 ms
(6 lignes)
```

Dans cet exemple, on a un héritage « imbriqué » :

- la table `master_stock` est parent de la table distante `fgn_stock_londre`
- la table distante `fgn_stock_londre` est enfant de la table `master_stock` et parent de la table `local_stock`
- ma table `local_stock` est enfant de la table distante `fgn_stock_londre`

```
master_stock
├─fgn_stock_londre => stock_londre
│   └─local_stock
```

Créons un index sur `master_stock` et ajoutons des données dans la table `master_stock` :

```
CREATE INDEX fgn_idx ON master_stock(c1);
INSERT INTO master_stock (SELECT generate_series(1,10000));
```

Maintenant effectuons une simple requête de sélection :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock WHERE c1=10;
```

```
tableoid | c1
-----+-----
master_stock | 10
local_stock  | 10
(2 lignes)
```

Étudions le plan d'exécution associé :

```
EXPLAIN ANALYZE SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock WHERE c1=10;
```

QUERY PLAN

```
-----
Result  (cost=0.29..192.44 rows=27 width=8)
  (actual time=0.010..0.485 rows=2 loops=1)
```

```
-> Append (cost=0.29..192.44 rows=27 width=8)
      (actual time=0.009..0.483 rows=2 loops=1)
   -> Index Scan using fgn_idx on master_stock
        (cost=0.29..8.30 rows=1 width=8)
        (actual time=0.009..0.010 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (c1 = 10)
   -> Foreign Scan on fgn_stock_londre
        (cost=100.00..142.26 rows=13 width=8)
        (actual time=0.466..0.466 rows=0 loops=1)
   -> Seq Scan on local_stock (cost=0.00..41.88 rows=13 width=8)
        (actual time=0.007..0.007 rows=1 loops=1)

      Filter: (c1 = 10)
      Rows Removed by Filter: 1
```

L'index ne se fait que sur `master_stock`.

En ajoutant l'option `ONLY` après la clause `FROM`, on demande au moteur de n'afficher que la table `master_stock` et pas les tables filles :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM ONLY master_stock WHERE c1=10;
```

```
tableoid | c1
-----+-----
master_stock | 10
(1 ligne)
```

Attention, si on supprime les données sur la table parent, la suppression se fait aussi sur les tables filles :

```
BEGIN;
DELETE FROM master_stock;
-- [DELETE 10008]
SELECT * FROM master_stock ;
```

```
c1
----
(0 ligne)
```

```
ROLLBACK;
```

En revanche avec l'option `ONLY`, on ne supprime que les données de la table parent :

```
BEGIN;
DELETE FROM ONLY master_stock;
-- [DELETE 10002]
ROLLBACK;
```

Enfin, si nous ajoutons une contrainte `CHECK` sur la table distante, l'exclusion de partition basées sur ces contraintes s'appliquent naturellement :

```
ALTER TABLE fgn_stock_londre ADD CHECK (c1 < 100);
ALTER TABLE local_stock ADD CHECK (c1 < 100);
--local_stock hérite de fgn_stock_londre !
```

```
EXPLAIN (ANALYZE,verbose) SELECT tableoid::regclass,*g
FROM master_stock WHERE c1=200;
```

QUERY PLAN

```

Result  (cost=0.29..8.32 rows=2 width=8)
  (actual time=0.009..0.011 rows=2 loops=1)
    Output: (master_stock.tableoid)::regclass, master_stock.c1
    -> Append  (cost=0.29..8.32 rows=2 width=8)
      (actual time=0.008..0.009 rows=2 loops=1)
        -> Index Scan using fgn_idx on public.master_stock
            (cost=0.29..8.32 rows=2 width=8)
            (actual time=0.008..0.008 rows=2 loops=1)
            Output: master_stock.tableoid, master_stock.c1
            Index Cond: (master_stock.c1 = 200)
Planning time: 0.157 ms
Execution time: 0.025 ms
(8 rows)

```

Attention : La contrainte `CHECK` sur `fgn_stock_londre` est **locale** seulement. Si cette contrainte n'existe pas sur la table distante, le résultat de la requête pourra alors être faux!

Sur le serveur distant :

```
INSERT INTO stock_londre VALUES (200);
```

Sur le serveur local :

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock WHERE c1=200;
```

tableoid	c1
master_stock	200
master_stock	200

```
ALTER TABLE fgn_stock_londre DROP CONSTRAINT fgn_stock_londre_c1_check;
```

```
SELECT tableoid::regclass,* FROM master_stock WHERE c1=200;
```

tableoid	c1
master_stock	200
master_stock	200
fgn_stock_londre	200

7.3 DBLINK



- Permet le requêtage inter-bases PostgreSQL
- Simple et bien documenté
- En lecture seule sauf à écrire des triggers sur vue
- Ne transmet pas les prédicats
 - tout l'objet est systématiquement récupéré
- Préférer `postgres_fdw`

Documentation officielle³.

Le module `dblink` de PostgreSQL a une logique différente de SQL/MED : ce dernier crée des tables virtuelles qui masquent des accès distants, alors qu'avec `dblink`, une requête est fournie à une fonction, qui l'exécute à distance puis renvoie le résultat.

Voici un exemple d'utilisation :

```
SELECT *
FROM dblink('host=serveur port=5432 user=postgres dbname=b1',
            'SELECT pronom, prosrc FROM pg_proc')
      AS t1(pronom name, prosrc text)
WHERE pronom LIKE 'bytea%';
```

L'appel à la fonction `dblink()` va réaliser une connexion à la base `b1` et l'exécution de la requête indiquée dans le deuxième argument. Le résultat de cette requête est renvoyé comme résultat de la fonction. Noter qu'il faut nommer les champs obtenus.

Généralement, on encapsule l'appel à `dblink()` dans une vue, ce qui donnerait par exemple :

```
CREATE VIEW pgproc_b1 AS
SELECT *
FROM dblink('host=serveur port=5432 user=postgres dbname=b1',
            'SELECT pronom, prosrc FROM pg_proc')
      AS t1(pronom name, prosrc text);

SELECT *
FROM pgproc_b1
WHERE pronom LIKE 'bytea%';
```

Un problème est que, rapidement, on ne se rappelle plus que c'est une table externe et que, même si le résultat contient peu de lignes, tout le contenu de la table distante est récupérés avant que le filtre ne soit exécuté. Donc même s'il y a un index qui aurait pu être utilisé pour ce prédicat, il ne pourra pas être utilisé. Il est rapidement difficile d'obtenir de bonnes performances avec cette extension.

Noter que `dblink` n'est pas aussi riche que son homonyme dans d'autres SGBD concurrents.

De plus, cette extension est un peu ancienne et ne bénéficie pas de nouvelles fonctionnalités sur les dernières versions de PostgreSQL. On préférera utiliser à la place l'implémentation de SQL/MED de

³<https://docs.postgresql.fr/current/contrib-dblink-function.html>

PostgreSQL et le *Foreign Data Wrapper* `postgres_fdw` qui évoluent de concert à chaque version majeure et deviennent de plus en plus puissants au fil des versions. Cependant, `dblink` a encore l'intérêt d'émuler des transactions autonomes ou d'appeler des fonctions sur le serveur distant, ce qui est impossible directement avec `postgres_fdw`.

`dblink` fournit quelques fonctions plus évoluées que l'exemple ci-dessus, décrites dans la documentation⁴.

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/dblink.html>

7.4 PL/PROXY



- Langage de procédures
 - développée à la base par Skype
- Fonctionnalités
 - connexion à un serveur ou à un ensemble de serveurs
 - exécution de fonctions, pas de requêtes
- Possibilité de distribuer les requêtes
- Utile pour le « partitionnement horizontal »
- Uniquement si votre application n'utilise que des appels de fonction
 - dans le cas contraire, il faut revoir l'application

PL/Proxy propose d'exécuter une fonction suivant un mode parmi trois :

- ANY : la fonction est exécutée sur un seul nœud au hasard
- ALL : la fonction est exécutée sur tous les nœuds
- EXACT : la fonction est exécutée sur un nœud précis, défini dans le corps de la fonction

On peut mettre en place un ensemble de fonctions PL/Proxy pour « découper » une table volumineuse et la répartir sur plusieurs instances PostgreSQL.

Le langage PL/Proxy offre alors la possibilité de développer une couche d'abstraction transparente pour l'utilisateur final qui peut alors consulter et manipuler les données comme si elles se trouvaient dans une seule table sur une seule instance PostgreSQL.

On peut néanmoins se demander l'avenir de ce projet. La dernière version date de septembre 2020, et il n'y a eu aucune modification des sources depuis cette version. La société qui a développé ce langage au départ a été rachetée par Microsoft. Le développement du langage dépend donc d'un très petit nombre de contributeurs.

7.5 CONCLUSION



- Privilégier SQL/MED
- `dblink` et PL/Proxy en perte de vitesse
 - à n'utiliser que s'ils résolvent un problème non gérable avec SQL/MED

7.6 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/v2_solutions.

7.6.1 Foreign Data Wrapper sur un fichier



But : Lire un fichier extérieur depuis PostgreSQL par un FDW

Avec le *foreign data wrapper* `file_fdw`, créer une table distante qui présente les champs du fichier `/etc/passwd` sous forme de table.

Vérifier son bon fonctionnement avec un simple `SELECT`.

7.6.2 Foreign Data Wrapper sur une autre base



But : Accéder à une autre base par un FDW

Accéder à une table de votre choix d'une autre machine, par exemple `stock` dans la base `cave`, à travers une table distante (`postgres_fdw`) : configuration du `pg_hba.conf`, installation de l'extension dans une base locale, création du serveur, de la table, du mapping pour les droits.

Visualiser l'accès par un `EXPLAIN (ANALYZE VERBOSE) SELECT ...`.

7.7 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

7.7.1 Foreign Data Wrapper sur un fichier

Avec le *foreign data wrapper* `file_fdw`, créer une table distante qui présente les champs du fichier `/etc/passwd` sous forme de table.

Vérifier son bon fonctionnement avec un simple `SELECT`.

```
CREATE EXTENSION file_fdw;

CREATE SERVER files FOREIGN DATA WRAPPER file_fdw;

CREATE FOREIGN TABLE passwd (
    login text,
    passwd text,
    uid int,
    gid int,
    username text,
    homedir text,
    shell text)
SERVER files
OPTIONS (filename '/etc/passwd', format 'csv', delimiter ':');
```

7.7.2 Foreign Data Wrapper sur une autre base

Accéder à une table de votre choix d'une autre machine, par exemple `stock` dans la base `cave`, à travers une table distante (`postgres_fdw`) : configuration du `pg_hba.conf`, installation de l'extension dans une base locale, création du serveur, de la table, du mapping pour les droits.

Visualiser l'accès par un `EXPLAIN (ANALYZE VERBOSE) SELECT ...`.

Tout d'abord, vérifier que la connexion se fait sans mot de passe à la cible depuis le compte **postgres** de l'instance locale vers la base distante où se trouve la table cible.

Si cela ne fonctionne pas, vérifier le `listen_addresses`, le fichier `pg_hba.conf` et le *firewall* de la base distante, et éventuellement le `~postgres/.pgpass` sur le serveur local.

Une fois la connexion en place, dans la base locale voulue, installer le *foreign data wrapper* :

```
CREATE EXTENSION postgres_fdw ;
```

Créer le *foreign server* vers le serveur cible (ajuster les options) :

```
CREATE SERVER serveur_voisin
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host '192.168.0.18', port '5432', dbname 'cave');
```

Créer un *user mapping*, c'est-à-dire une correspondance entre l'utilisateur local et l'utilisateur distant :

```
CREATE USER MAPPING FOR mon_utilisateur
SERVER serveur_voisin
OPTIONS (user 'utilisateur_distant', password 'mdp_utilisateur_distant');
```

Puis créer la *foreign table* :

```
CREATE FOREIGN TABLE stock_voisin (
vin_id integer, contenant_id integer, annee integer, nombre integer)
SERVER serveur_voisin
OPTIONS (schema_name 'public', table_name 'stock_old');
```

Vérifier le bon fonctionnement :

```
SELECT * FROM stock_voisin WHERE vin_id=12;
```

Vérifier le plan :

```
EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE) SELECT * FROM stock_voisin WHERE vin_id=12 ;
```

Il faut l'option `VERBOSE` pour voir la requête envoyée au serveur distant. Vous constatez que le prédicat sur `vin_id` a été transmis, ce qui est le principal avantage de cette implémentation sur les DBLinks.

8/ Fonctionnalités avancées pour la performance

8.1 PRÉAMBULE



Quelques fonctionnalités, généralement liées aux performances.

8.1.1 Au menu



- Tables temporaires
- Tables non journalisées
- Colonnes générées
- JIT
- Recherche Full Text

8.2 TABLES TEMPORAIRES

8.2.1 Tables temporaires : utilité



```
CREATE TEMP TABLE travail (...);
```

- N'existent que pendant la session
- Non journalisées : rapides!

Principe :

Sous PostgreSQL, les tables temporaires sont créées dans une session, et disparaissent à la déconnexion. Elles ne sont pas visibles par les autres sessions. Elles ne sont pas journalisées, ce qui est très intéressant pour les performances. Elles s'utilisent comme les autres tables, y compris pour l'indexation, les triggers, etc.

Les tables temporaires semblent donc idéales pour des tables de travail temporaires et « jetables ».

8.2.2 Tables temporaires : limites et paramétrage



- Ne pas en abuser!
- Ignorées par autovacuum
 - `ANALYZE` et `VACUUM` manuels!
- Paramétrage :
 - `temp_buffers` : cache disque pour les objets temporaires, par session, à augmenter?



Cependant, il est déconseillé d'abuser des tables temporaires. En effet, leur création/destruction permanente entraîne une fragmentation importante des tables systèmes (en premier lieu `pg_catalog.pg_class`, `pg_catalog.pg_attribute` ...), qui peuvent devenir énormes. Ce n'est jamais bon pour les performances, et peut nécessiter un `VACUUM FULL` des tables système!



Le démon autovacuum ne voit pas les tables temporaires ! Les statistiques devront donc être mises à jour manuellement avec `ANALYZE`, et il faudra penser à lancer `VACUUM` explicitement après de grosses modifications.

Aspect technique :

Les tables temporaires sont créées dans un schéma temporaire `pg_temp_...`, ce qui explique qu'elles ne sont pas visibles dans le schéma `public`.

Physiquement, par défaut, elles sont stockées sur le disque avec les autres données de la base, et non dans `base/pgsql_tmp` comme les fichiers temporaires. Il est possible de définir des tablespaces dédiés aux objets temporaires (fichiers temporaires et données des tables temporaires) à l'aide du paramètre `temp_tablespaces`, à condition de donner des droits `CREATE` dessus aux utilisateurs. Le nom du fichier d'une table temporaire est reconnaissable car il commence par `t`. Les éventuels index de la table suivent les mêmes règles.

Exemple :

```
CREATE TEMP TABLE travail (x int PRIMARY KEY) ;
```

```
EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS, WAL)
```

```
INSERT INTO travail SELECT i FROM generate_series (1,1000000) i ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Insert on travail (actual time=1025.752..1025.753 rows=0 loops=1)
  Buffers: shared hit=13, local hit=2172174 read=4 dirtied=7170 written=10246
  I/O Timings: read=0.012
  -> Function Scan on generate_series i (actual time=77.112..135.624 rows=1000000
  ↪ loops=1)
Planning Time: 0.028 ms
Execution Time: 1034.984 ms
```

```
SELECT pg_relation_filepath ('travail') ;
```

```
pg_relation_filepath
-----
base/13746/t7_5148873
```

```
\d pg_temp_7.travail
```

```

          Table « pg_temp_7.travail »
  Colonne | Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
-----+-----+-----+-----+-----
x         | integer |                  | not null  |
Index :
    "travail_pkey" PRIMARY KEY, btree (x)
```

Cache :

Dans les plans d'exécution avec `BUFFERS`, l'habituelle mention `shared` est remplacée par `local` pour les tables temporaires.

```
CREATE TEMP TABLE demotemp AS SELECT * FROM pg_class ;
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF) SELECT * FROM demotemp ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Seq Scan on demotemp (actual time=0.013..0.109 rows=602 loops=1)
```

```
Buffers: local hit=16
Planning:
  Buffers: shared hit=66 read=1
  I/O Timings: shared read=0.009
Planning Time: 0.250 ms
Execution Time: 0.170 ms
```

(Les `shared hit` concernent des accès aux tables systèmes pour la planification.)

En effet, leur cache disque dédié est au niveau de la session, non des *shared buffers*. Ce cache est défini par le paramètre `temp_buffers` (exprimé par session, et à 8 Mo par défaut). Ce paramètre peut être augmenté dans la session, avant la création de la table. Bien sûr, on risque de saturer la RAM en cas d'abus ou s'il y a trop de sessions, tout comme avec `work_mem`. Et comme la mémoire de `temp_buffers` n'est pas rendue avant la fin de la session, il faut éviter de maintenir inutilement ouvertes des sessions ayant créé des tables temporaires : elles bloquent de la mémoire.

À noter : ce cache n'empêche pas l'écriture des petites tables temporaires sur le disque.

Pour éviter de recréer perpétuellement la même table temporaire, une table *unlogged* (voir plus bas) sera sans doute plus indiquée. Le contenu de cette dernière sera aussi visible des autres sessions, ce qui est pratique pour suivre la progression d'un traitement, faciliter le travail de l'autovacuum, ou déboguer. Sinon, il est fréquent de pouvoir remplacer une table temporaire par une CTE (clause `WITH`) ou un tableau en mémoire.

L'extension `pgtt`¹ émule un autre type de table temporaire dite « globale » pour la compatibilité avec d'autres SGBD.

¹<https://github.com/darold/pgtt>

8.3 TABLES NON JOURNALISÉES (UNLOGGED)

8.3.1 Tables non journalisées : utilité



- La durabilité est parfois accessoire :
 - tables temporaires et de travail
 - caches...
- Tables non journalisées
 - non répliquées, non restaurées
 - **remises à zéro en cas de crash**
- Respecter les contraintes

Une table *unlogged* est une table non journalisée. Comme la journalisation est responsable de la durabilité, une table non journalisée n'a pas cette garantie.



La table est systématiquement remise à zéro au redémarrage après un arrêt brutal. En effet, tout arrêt d'urgence peut entraîner une corruption des fichiers de la table; et sans journalisation, il ne serait pas possible de la corriger au redémarrage et de garantir l'intégrité.

La non-journalisation de la table implique aussi que ses données ne sont pas répliquées vers des serveurs secondaires, et que les tables ne peuvent figurer dans une publication (réplication logique). En effet, les modes de réplication natifs de PostgreSQL utilisent les journaux de transactions. Pour la même raison, une restauration de sauvegarde PITR ne restaurera pas le contenu de la table. Le bon côté est qu'on allège la charge sur la sauvegarde et la réplication.

Les contraintes doivent être respectées même si la table *unlogged* est vidée : une table normale ne peut donc avoir de clé étrangère pointant vers une table *unlogged*. La contrainte inverse est possible, tout comme une contrainte entre deux tables *unlogged*.

À part ces limitations, les tables *unlogged* se comportent exactement comme les autres. Leur intérêt principal est d'être en moyenne 5 fois plus rapides à la mise à jour. Elles sont donc à réserver à des cas d'utilisation particuliers, comme :

- table de *pooling/staging*;
- table de cache/session applicative;
- table de travail partagée entre sessions;
- table de travail systématiquement reconstruite avant utilisation dans le flux applicatif;
- et de manière générale toute table contenant des données dont on peut accepter la perte sans impact opérationnel ou dont on peut régénérer aisément les données.

Les tables *unlogged* ne doivent pas être confondues avec les tables temporaires (non journalisées et visibles uniquement dans la session qui les a créées). Les tables *unlogged* ne sont pas ignorées par

l'autovacuum (les tables temporaires le sont). Abuser des tables temporaires a tendance à générer de la fragmentation dans les tables système, alors que les tables *unlogged* sont en général créées une fois pour toutes.

8.3.2 Tables non journalisées : mise en place



```
CREATE UNLOGGED TABLE ma_table (col1 int ...);
```

Une table *unlogged* se crée exactement comme une table journalisée classique, excepté qu'on rajoute le mot `UNLOGGED` dans la création.

8.3.3 Bascule d'une table en/depuis unlogged



```
ALTER TABLE table_normale SET UNLOGGED ;
```

— réécriture

```
ALTER TABLE table_unlogged SET LOGGED ;
```

— passage du contenu dans les WAL !

Il est possible de basculer une table à volonté de normale à *unlogged* et vice-versa.

Quand une table devient *unlogged*, on pourrait imaginer que PostgreSQL n'a rien besoin d'écrire. Malheureusement, pour des raisons techniques, la table doit tout de même être réécrite. Elle est défragmentée au passage, comme lors d'un `VACUUM FULL`. Ce peut être long pour une grosse table, et il faudra voir si le gain par la suite le justifie.

Les écritures dans les journaux à ce moment sont théoriquement inutiles, mais là encore des optimisations manquent et il se peut que de nombreux journaux soient écrits si les sommes de contrôles ou `wal_log_hints` sont activés. Par contre il n'y aura plus d'écritures dans les journaux lors des modifications de cette table, ce qui reste l'intérêt majeur.

Quand une table *unlogged* devient *logged* (journalisée), la réécriture a aussi lieu, et tout le contenu de la table est journalisé (c'est indispensable pour la sauvegarde PITR et pour la réplication notamment), ce qui génère énormément de journaux et peut prendre du temps.

Par exemple, une table modifiée de manière répétée pendant un batch, peut être définie *unlogged* pour des raisons de performance, puis basculée en *logged* en fin de traitement pour pérenniser son contenu.

8.4 COLONNES GÉNÉRÉES

8.4.1 Colonnes générées : principe



```
CREATE TABLE paquet (
  code      text      PRIMARY KEY, ...
  livraison timestampz DEFAULT now() + interval '3d',
  largeur   int,      longueur int,   profondeur int,
  volume    int
  GENERATED ALWAYS AS ( largeur * longueur * profondeur )
  STORED    CHECK (volume > 0.0)
) ;

-- Modification (PG17)
ALTER TABLE paquet ALTER COLUMN volume SET EXPRESSION AS ...
--Réécriture !
```

8.4.2 Colonnes générées vs DEFAULT



- **DEFAULT**
 - expressions très simples, modifiables
- **GENERATED**
 - fonctions « immutables », ne dépendant **que** de la ligne
 - danger sinon (ex : pas pour dates de mises à jour)
 - (avant v17) difficilement modifiables
 - peuvent porter des contraintes

Les valeurs par défaut sont très connues mais limitées. PostgreSQL connaît aussi les colonnes générées (ou calculées).

La syntaxe est :

```
nomchamp <type> GENERATED ALWAYS AS ( <expression> ) STORED ;
```

Les colonnes générées sont recalculées à chaque fois que les champs sur lesquels elles sont basées changent, donc aussi lors d'un **UPDATE**. Ces champs calculés sont impérativement marqués **ALWAYS**, c'est-à-dire obligatoires et non modifiables, et **STORED**, c'est-à-dire stockés sur le disque (et non recalculés à la volée comme dans une vue). Ils ne doivent pas se baser sur d'autres champs calculés.

Un intérêt est que les champs calculés peuvent porter des contraintes, par exemple la clause **CHECK** ci-dessous, mais encore des clés étrangères ou unique.

Exemple :


```
CREATE TABLE paquet (
  code      text      PRIMARY KEY,
  reception timestampz DEFAULT now(),
  livraison timestampz DEFAULT now() + interval '3d',
  largeur   int,      longueur int,  profondeur int,
  volume    int
  GENERATED ALWAYS AS ( largeur * longueur * profondeur )
  STORED    CHECK (volume > 0.0)
);
```

```
INSERT INTO paquet (code, largeur, longueur, profondeur)
VALUES ('ZZ1', 3, 5, 10);
```

\x on

```
TABLE paquet ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
code      | ZZ1
reception | 2024-04-19 18:02:41.021444+02
livraison | 2024-04-22 18:02:41.021444+02
largeur   | 3
longueur  | 5
profondeur | 10
volume    | 150
```

```
-- Les champs DEFAULT sont modifiables
-- Changer la largeur va modifier le volume
```

```
UPDATE paquet
SET largeur=4,
    livraison = '2024-07-14'::timestampz,
    reception = '2024-04-20'::timestampz
WHERE code='ZZ1' ;
```

```
TABLE paquet ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
code      | ZZ1
reception | 2024-04-20 00:00:00+02
livraison | 2024-07-14 00:00:00+02
largeur   | 4
longueur  | 5
profondeur | 10
volume    | 200
```

```
-- Le volume ne peut être modifié
```

```
UPDATE paquet
SET volume = 250
WHERE code = 'ZZ1' ;
```

```
ERROR: column "volume" can only be updated to DEFAULT
DETAIL: Column "volume" is a generated column.
```

Expression immutable :

Avec `GENERATED`, l'expression du calcul doit être « immutable », c'est-à-dire ne dépendre **que** des autres champs de la même ligne, n'utiliser que des fonctions elles-mêmes immutables, et rien d'autre. Il n'est donc pas possible d'utiliser des fonctions comme `now()`, ni des fonctions de conversion de

date dépendant du fuseau horaire, ou du paramètre de formatage de la session en cours (toutes choses autorisées avec `DEFAULT`), ni des appels à d'autres lignes ou tables...

La colonne calculée peut être convertie en colonne « normale » :

```
ALTER TABLE paquet ALTER COLUMN volume DROP EXPRESSION ;
```

Modifier l'expression n'est pas possible avant PostgreSQL 17, sauf à supprimer la colonne générée et en créer une nouvelle. Il faut alors recalculer toutes les lignes et réécrire toute la table, ce qui peut être très lourd.

À partir de PostgreSQL 17, l'expression est modifiable avec cette syntaxe :

```
ALTER TABLE paquet ALTER COLUMN volume  
SET EXPRESSION AS ( largeur * longueur * profondeur + 1 ) ;
```

Attention, la table est totalement bloquée le temps de la réécriture (verrou `AccessExclusiveLock`).

Utilisation d'une fonction :

Il est possible de créer sa propre fonction pour l'expression, qui doit aussi être immuable :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION volume (l int, h int, p int)  
RETURNS int  
AS $$  
  SELECT l * h * p ;  
$$  
LANGUAGE sql  
-- cette fonction dépend uniquement des données de la ligne donc :  
PARALLEL SAFE  
IMMUTABLE ;
```

-- Changement à partir de PostgreSQL v17

```
ALTER TABLE paquet ALTER COLUMN volume  
SET EXPRESSION AS ( volume (largeur, longueur, profondeur) );
```

-- Changement avant PostgreSQL 16

```
ALTER TABLE paquet DROP COLUMN volume ;  
ALTER TABLE paquet ADD COLUMN volume int  
  GENERATED ALWAYS AS ( volume (largeur, longueur, profondeur) )  
  STORED;
```

```
TABLE paquet ;
```

```
--[ RECORD 1 ]-----  
code          | ZZ1  
reception     | 2024-04-20 00:00:00+02  
livraison     | 2024-07-14 00:00:00+02  
largeur       | 4  
longueur      | 5  
profondeur    | 10  
volume        | 200
```



Attention : modifier la fonction ne réécrit pas spontanément la table, il faut forcer la réécriture avec par exemple :

```
UPDATE paquet SET longueur = longueur ;
```

et ceci dans la même transaction que la modification de fonction. On pourrait imaginer de négliger cet `UPDATE` pour garder les valeurs déjà présentes qui suivraient d'anciennes règles... mais ce serait une erreur. En effet, les valeurs calculées ne figurent pas dans une sauvegarde logique, et en cas de restauration, tous les champs sont recalculés avec la dernière formule !

On préférera donc gérer l'expression dans la définition de la table dans les cas simples.



Un autre piège : il faut résister à la tentation de déclarer une fonction comme immuable sans la certitude qu'elle l'est bien (penser aux paramètres de session, aux fuseaux horaires...), sous peine d'incohérences dans les données.

Cas d'usage :

Les colonnes générées économisent la création de triggers, ou de vues de « présentation ». Elles facilitent la dénormalisation de données calculées dans une même table tout en garantissant l'intégrité.

Un cas d'usage courant est la dénormalisation d'attributs JSON pour les manipuler comme des champs de table classiques :

```
ALTER TABLE personnes
ADD COLUMN lastname text
GENERATED ALWAYS AS ((datas->>'lastName')) STORED ;
```

L'accès au champ est notablement plus rapide que l'analyse systématique du champ JSON.

Par contre, les colonnes `GENERATED` ne sont **pas** un bon moyen pour créer des champs portant la dernière mise à jour. Certes, PostgreSQL ne vous empêchera pas de déclarer une fonction (abusivement) immutable utilisant `now()` ou une variante. Mais ces informations seront perdues en cas de restauration logique. Dans ce cas, les triggers restent une option plus complexe mais plus propre.

8.5 JIT

8.5.1 JIT : la compilation à la volée



- Compilation *Just In Time* des requêtes
- Utilise le compilateur LLVM
- Vérifier que l'installation est fonctionnelle
- Activé par défaut
 - sauf en v11; et absent auparavant

Une des nouveautés les plus visibles et techniquement pointues de la v11 est la « compilation à la volée » (*Just In Time compilation*, ou JIT) de certaines expressions dans les requêtes SQL. Le JIT n'est activé par défaut qu'à partir de la version 12.

Dans certaines requêtes, l'essentiel du temps est passé à décoder des enregistrements (*tuple deforming*), à analyser des clauses `WHERE`, à effectuer des calculs. En conséquence, l'idée du JIT est de transformer tout ou partie de la requête en un programme natif directement exécuté par le processeur.

Cette compilation est une opération lourde qui ne sera effectuée que pour des requêtes qui en valent le coup, donc qui dépassent un certain coût. Au contraire de la parallélisation, ce coût n'est pas pris en compte par le planificateur. La décision d'utiliser le JIT ou pas se fait une fois le plan décidé, si le coût calculé de la requête dépasse un certain seuil.

Le JIT de PostgreSQL s'appuie actuellement sur la chaîne de compilation LLVM, choisie pour sa flexibilité. L'utilisation nécessite un PostgreSQL compilé avec l'option `--with-llvm` et l'installation des bibliothèques de LLVM.

Sur Debian, avec les paquets du PGDG, les dépendances sont en place dès l'installation.

Sur Rocky Linux/Red Hat 8 et 9, l'installation du paquet dédié suffit :

```
# dnf install postgresql14-llvmjit
```

Sur CentOS/Red Hat 7, ce paquet supplémentaire nécessite lui-même des paquets du dépôt EPEL :

```
# yum install epel-release
# yum install postgresql14-llvmjit
```

Les systèmes CentOS/Red Hat 6 ne permettent pas d'utiliser le JIT.

Si PostgreSQL ne trouve pas les bibliothèques nécessaires, il ne renvoie pas d'erreur et continue sans tenter de JIT. Pour tester si le JIT est fonctionnel sur votre machine, il faut le chercher dans un plan quand on force son utilisation ainsi :

```
SET jit=on;
SET jit_above_cost TO 0 ;
EXPLAIN (ANALYZE) SELECT 1;
```

QUERY PLAN

```
Result (cost=0.00..0.01 rows=1 width=4) (... rows=1 loops=1)
Planning Time: 0.069 ms
JIT:
  Functions: 1
  Options: Inlining false, Optimization false, Expressions true,
           Deforming true
  Timing:  Generation 0.123 ms, Inlining 0.000 ms, Optimization 0.187 ms,
           Emission 2.778 ms, Total 3.088 ms
Execution Time: 3.952 ms
```

La documentation officielle est assez accessible : <https://doc.postgresql.fr/current/jit.html>

8.5.2 JIT : qu'est-ce qui est compilé ?



- *Tuple deforming*
- Évaluation d'expressions :
 - `WHERE`
 - agrégats, `GROUP BY`
- Appels de fonctions (*inlining*)
- Mais pas les jointures

Le JIT ne peut pas encore compiler toute une requête. La version actuelle se concentre sur des goulots d'étranglement classiques :

- le décodage des enregistrements (*tuple deforming*) pour en extraire les champs intéressants ;
- les évaluations d'expressions, notamment dans les clauses `WHERE` pour filtrer les lignes ;
- les agrégats, les `GROUP BY` ...

Les jointures ne sont pas (encore ?) concernées par le JIT.

Le code résultant est utilisable plus efficacement avec les processeurs actuels qui utilisent les pipelines et les prédictions de branchement.

Pour les détails, on peut consulter notamment cette conférence très technique au FOSDEM 2018² par l'auteur principal du JIT, Andres Freund.

²https://archive.fosdem.org/2018/schedule/event/jiting_postgresql_using_llvm/

8.5.3 JIT : algorithme « naïf »



- `jit` (défaut : `on`)
- `jit_above_cost` (défaut : 100 000)
- `jit_inline_above_cost` (défaut : 500 000)
- `jit_optimize_above_cost` (défaut : 500 000)
- À comparer au coût de la requête... I/O comprises
- Seuils arbitraires!

De l'avis même de son auteur, l'algorithme de déclenchement du JIT est « naïf ». Quatre paramètres existent (hors débogage).

`jit = on` (défaut à partir de la v12) active le JIT **si** l'environnement technique évoqué plus haut le permet.

La compilation n'a cependant lieu que pour un coût de requête calculé d'au moins `jit_above_cost` (par défaut 100 000, une valeur élevée). Puis, si le coût atteint `jit_inline_above_cost` (500 000), certaines fonctions utilisées par la requête et supportées par le JIT sont intégrées dans la compilation. Si `jit_optimize_above_cost` (500 000) est atteint, une optimisation du code compilé est également effectuée. Ces deux dernières opérations étant longues, elles ne le sont que pour des coûts assez importants.

Ces seuils sont à comparer avec les coûts des requêtes, qui incluent les entrées-sorties, donc pas seulement le coût CPU. Ces seuils sont un peu arbitraires et nécessiteront sans doute un certain tuning en fonction de vos requêtes et de vos processeurs.

Des contre-performances dues au JIT ont déjà été observées, menant à monter les seuils. Le JIT est trop jeune pour que les développeurs de PostgreSQL eux-mêmes aient des règles d'ajustement des valeurs des différents paramètres. Il est fréquent de le désactiver ou de monter radicalement les seuils de déclenchement.

Un exemple de plan d'exécution sur une grosse table donne :

```
# EXPLAIN (ANALYZE) SELECT sum(x), count(id)
FROM bigtable WHERE id + 2 > 500000 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Finalize Aggregate (cost=3403866.94..3403866.95 rows=1 width=16) (...)
  -> Gather (cost=3403866.19..3403866.90 rows=7 width=16)
      (actual time=11778.983..11784.235 rows=8 loops=1)
        Workers Planned: 7
        Workers Launched: 7
        -> Partial Aggregate (cost=3402866.19..3402866.20 rows=1 width=16) (...)
            -> Parallel Seq Scan on bigtable (...)
                Filter: ((id + 2) > 500000)
                Rows Removed by Filter: 62500
Planning Time: 0.047 ms
```

JIT:

```
Functions: 42
Options: Inlining true, Optimization true, Expressions true, Deforming true
Timing:  Generation 5.611 ms, Inlining 422.019 ms, Optimization 229.956 ms,
        Emission 125.768 ms, Total 783.354 ms
Execution Time: 11785.276 ms
```

Le plan d'exécution est complété, à la fin, des informations suivantes :

- le nombre de fonctions concernées;
- les temps de génération, d'inclusion des fonctions, d'optimisation du code compilé...

Dans l'exemple ci-dessus, on peut constater que ces coûts ne sont pas négligeables par rapport au temps total. Il reste à voir si ce temps perdu est récupéré sur le temps d'exécution de la requête... ce qui en pratique n'a rien d'évident.

Sans JIT, la durée de cette requête était d'environ 17 s. Ici le JIT est rentable.

8.5.4 Quand le JIT est-il utile ?



- Goulot d'étranglement au niveau CPU (pas I/O)
- Requêtes complexes (calculs, agrégats, appels de fonctions...)
- Beaucoup de lignes, filtres
- Assez longues pour « rentabiliser » le JIT
- Analytiques, pas ERP

Vu son coût élevé, le JIT n'a d'intérêt que pour les requêtes utilisant beaucoup le CPU et où il est le facteur limitant.

Ce seront donc surtout des requêtes analytiques agrégeant beaucoup de lignes, comprenant beaucoup de calculs et filtres, et non les petites requêtes d'un ERP.

Il n'y a pas non plus de mise en cache du code compilé.

Si gain il y a, il est relativement modeste en deçà de quelques millions de lignes, et devient de plus en plus important au fur et à mesure que la volumétrie augmente, à condition bien sûr que d'autres limites n'apparaissent pas (bande passante...).

Documentation officielle : <https://docs.postgresql.fr/current/jit-decision.html>

8.6 RECHERCHE PLEIN TEXTE



| ...ou FTS

8.6.1 Full Text Search : principe



- Recherche « à la Google » ; fonctions dédiées
- On n'indexe plus une chaîne de caractère mais
 - les mots (« lexèmes ») qui la composent
 - on peut rechercher sur chaque lexème indépendamment
- Les lexèmes sont soumis à des règles spécifiques à chaque langue
 - notamment termes courants
 - permettent une normalisation, des synonymes...

L'indexation FTS est un des cas les plus fréquents d'utilisation non-relationnelle d'une base de données : les utilisateurs ont souvent besoin de pouvoir rechercher une information qu'ils ne connaissent pas parfaitement, d'une façon floue :

- recherche d'un produit/article par rapport à sa description ;
- recherche dans le contenu de livres/documents...

PostgreSQL doit donc permettre de rechercher de façon efficace dans un champ texte. L'avantage de cette solution est d'être intégrée au SGBD. Le moteur de recherche est donc toujours parfaitement à jour avec le contenu de la base, puisqu'il est intégré avec le reste des transactions.

Le principe est de décomposer le texte en « lexèmes » propres à chaque langue. Cela implique donc une certaine forme de normalisation, et permettent aussi de tenir compte de dictionnaires de synonymes. Le dictionnaire inclue aussi les termes courants inutiles à indexer (*stop words*) propres à la langue (le, la, et, the, and, der, daß...).

Décomposition et recherche en plein texte utilisent des fonctions et opérateurs dédiés, ce qui nécessite donc une adaptation du code. Ce qui suit n'est qu'un premier aperçu. La recherche plein texte est un chapitre entier de la documentation officielle³.

Adrien Nayrat a donné une excellente conférence sur le sujet au PGDay France 2017 à Toulouse⁴ (slides⁵).

³<https://docs.postgresql.fr/current/textsearch.html>

⁴<https://www.youtube.com/embed/9S5dBqMbw8A>

⁵https://2017.pgday.fr/slides/nayrat_Le_Full_Text_Search_dans_PostgreSQL.pdf

8.6.2 Full Text Search : exemple



— Décomposition :

```
SELECT to_tsvector ('french',
                    'Longtemps je me suis couché de bonne heure');
```

to_tsvector

```
-----
'bon':7 'couch':5 'heur':8 'longtemp':1
```

— Recherche sur 2 mots :

```
SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('Valjean & Cosette');
```

— Recherche sur une phrase : `phrase_totsquery`

`to_tsvector` analyse un texte et le décompose en lexèmes, et non en mots. Les chiffres indiquent ici les positions et ouvrent la possibilité à des scores de proximité. Mais des indications de poids sont possibles.

Autre exemple de décomposition d'une phrase :

```
SHOW default_text_search_config ;
```

```
default_text_search_config
```

```
-----
pg_catalog.french
```

```
SELECT to_tsvector (
'La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/');
```

to_tsvector

```
-----
'document':2 'postgresql':4 'www.postgresql.org':7
```

Les mots courts et le verbe « être » sont repérés comme termes trop courants, la casse est ignorée, même l'URL est décomposée en protocole et hôte. On peut voir en détail comment la FTS a procédé :

```
SELECT description, token, dictionary, lexemes
FROM ts_debug('La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/');
```

description	token	dictionary	lexemes
Word, all ASCII	La	french_stem	{}
Space symbols		α	α
Word, all ASCII	documentation	french_stem	{document}
Space symbols		α	α
Word, all ASCII	de	french_stem	{}
Space symbols		α	α
Word, all ASCII	PostgreSQL	french_stem	{postgresql}

Space symbols			␣		␣
Word, all ASCII	est		french_stem		{}
Space symbols			␣		␣
Word, all ASCII	sur		french_stem		{}
Space symbols			␣		␣
Protocol head	https://		␣		␣
Host	www.postgresql.org		simple		{www.postgresql.org}
Space symbols	/		␣		␣

Si l'on se trompe de langue, les termes courants sont mal repérés (et la recherche sera inefficace) :

```
SELECT to_tsvector ('english',
'La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/');
```

```

                                to_tsvector
-----
'de':3 'document':2 'est':5 'la':1 'postgresql':4 'sur':6 'www.postgresql.org':7
```

Pour construire un critère de recherche, `to_tsquery` est nécessaire :

```
SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('Valjean & Cosette');
```

Les termes à chercher peuvent être combinés par `&`, `|` (ou), `!` (négation), `<->` (mots successifs), `<N>` (séparés par N lexèmes). `@@` est l'opérateur de correspondance. Il y en a d'autres⁶.

Il existe une fonction `phraseto_tsquery` pour donner une phrase entière comme critère, laquelle sera décomposée en lexèmes :

```
SELECT livre, contenu FROM textes
WHERE
    livre ILIKE 'Les Misérables Tome V%'
AND ( to_tsvector ('french',contenu)
      @@ phraseto_tsquery('c'est la fautes de Voltaire')
    OR to_tsvector ('french',contenu)
      @@ phraseto_tsquery('nous sommes tombés à terre')
    );
```

```

                                livre                                |                                contenu                                -----+-----
...
Les misérables Tome V Jean Valjean, Hugo, Victor | Je suis tombé par terre,
Les misérables Tome V Jean Valjean, Hugo, Victor | C'est la faute à Voltaire,
```

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/functions-textsearch.html>

8.6.3 Full Text Search : dictionnaires



- Configurations liées à la langue
 - basées sur des dictionnaires (parfois fournis)
 - dictionnaires filtrants (`unaccent`)
 - synonymes
- Extensible grâce à des sources extérieures
- Configuration par défaut : `default_text_search_config`

Les lexèmes, les termes courants, la manière de décomposer un terme... sont fortement liés à la langue.

Des configurations toutes prêtes sont fournies par PostgreSQL pour certaines langues :

```
# \dF
```

Liste des configurations de la recherche de texte		
Schéma	Nom	Description
pg_catalog	arabic	configuration for arabic language
pg_catalog	danish	configuration for danish language
pg_catalog	dutch	configuration for dutch language
pg_catalog	english	configuration for english language
pg_catalog	finnish	configuration for finnish language
pg_catalog	french	configuration for french language
pg_catalog	german	configuration for german language
pg_catalog	hungarian	configuration for hungarian language
pg_catalog	indonesian	configuration for indonesian language
pg_catalog	irish	configuration for irish language
pg_catalog	italian	configuration for italian language
pg_catalog	lithuanian	configuration for lithuanian language
pg_catalog	nepali	configuration for nepali language
pg_catalog	norwegian	configuration for norwegian language
pg_catalog	portuguese	configuration for portuguese language
pg_catalog	romanian	configuration for romanian language
pg_catalog	russian	configuration for russian language
pg_catalog	simple	simple configuration
pg_catalog	spanish	configuration for spanish language
pg_catalog	swedish	configuration for swedish language
pg_catalog	tamil	configuration for tamil language
pg_catalog	turkish	configuration for turkish language

La recherche plein texte est donc directement utilisable pour le français ou l'anglais et beaucoup d'autres langues européennes. La configuration par défaut dépend du paramètre `default_text_search_config`, même s'il est conseillé de toujours passer explicitement la configuration aux fonctions. Ce paramètre peut être modifié globalement, par session ou par un `ALTER DATABASE SET`.

En demandant le détail de la configuration `french`, on peut voir qu'elle se base sur des « dictionnaires » pour chaque type d'élément qui peut être rencontré : mots, phrases mais aussi URL, entiers...

```
# \dF+ french
```

Configuration « pg_catalog.french » de la recherche de texte

Analyseur : « pg_catalog.default »

Jeton	Dictionnaires
asciihword	french_stem
asciword	french_stem
email	simple
file	simple
float	simple
host	simple
hword	french_stem
hword_asciipart	french_stem
hword_numpart	simple
hword_part	french_stem
int	simple
numhword	simple
numword	simple
sfloat	simple
uint	simple
url	simple
url_path	simple
version	simple
word	french_stem

On peut lister ces dictionnaires :

```
# \dFd
```

Schéma	Nom	Description
...		
pg_catalog	english_stem	snowball stemmer for english language
...		
pg_catalog	french_stem	snowball stemmer for french language
...		
pg_catalog	simple	simple dictionary: just lower case and check for stopword
...		

Ces dictionnaires sont de type « Snowball⁷ », incluant notamment des algorithmes différents pour chaque langue. Le dictionnaire `simple` n'est pas lié à une langue et correspond à une simple décomposition après passage en minuscule et recherche de termes courants anglais : c'est suffisant pour des éléments comme les URL.

D'autres dictionnaires peuvent être combinés aux existants pour créer une nouvelle configuration. Le principe est que les dictionnaires reconnaissent certains éléments, et transmettent aux suivants ce qu'ils n'ont pas reconnu. Les dictionnaires précédents, de type Snowball, reconnaissent tout et doivent donc être placés en fin de liste.

Par exemple, la contrib `unaccent` permet de faire une configuration négligeant les accents⁸. La contrib `dict_int` fournit un dictionnaire qui réduit la précision des nombres⁹ pour réduire

⁷<https://snowballstem.org/>

⁸<https://docs.postgresql.fr/current/unaccent.html>

⁹<https://docs.postgresql.fr/current/dict-int.html>

la taille de l'index. La contrib `dict_xsyn` permet de créer un dictionnaire pour gérer une liste de synonymes¹⁰. Mais les dictionnaires de synonymes peuvent être gérés manuellement¹¹. Les fichiers adéquats sont déjà présents ou à ajouter dans `$SHAREDIR/tsearch_data/` (par exemple `/usr/pgsql-14/share/tsearch_data` sur Red Hat/CentOS ou `/usr/share/postgresql/14/tsearch_data` sur Debian).

Par exemple, en utilisant le fichier d'exemple `$SHAREDIR/tsearch_data/synonym_sample.syn`, dont le contenu est :

```
postgresql      pgsqql
postgre pgsqql
google  googl
indices index*
```

on peut définir un dictionnaire de synonymes, créer une nouvelle configuration reprenant `french`, et y insérer le nouveau dictionnaire en premier élément :

```
CREATE TEXT SEARCH DICTIONARY messynonyms (template=synonym,
↪ synonyms='synonym_sample');
```

```
CREATE TEXT SEARCH CONFIGURATION french2 (copy=french);
```

```
ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION french2
```

```
ALTER MAPPING FOR asciiword,hword,asciihword,word
```

```
WITH messynonyms, french_stem ;
```

À l'usage :

```
SELECT to_tsvector ('french2', 'PostgreSQL s'abrège en pgsqql ou Postgres') ;
```

```
          to_tsvector
-----
'abreg':3 'pgsqql':1,5,7
```

Les trois versions de « PostgreSQL » ont été reconnues.

Pour une analyse plus fine, on peut ajouter d'autres dictionnaires linguistiques depuis des sources extérieures (IsPELL, OpenOffice...). Ce n'est pas intégré par défaut à PostgreSQL mais la procédure est dans la documentation¹².

Des « thesaurus » peuvent être même être créés pour remplacer des expressions par des synonymes (et identifier par exemple « le meilleur SGBD » et « PostgreSQL »).

¹⁰<https://docs.postgresql.fr/current/dict-xsyn.html>

¹¹<https://docs.postgresql.fr/current/textsearch-dictionaries.html#textsearch-synonym-dictionary>

¹²<https://docs.postgresql.fr/current/textsearch-dictionaries.html>

8.6.4 Full Text Search : stockage & indexation



- Stocker `to_tsvector` (champ texte)
 - colonne mise à jour par trigger
 - ou colonne générée (v12)
- Indexation GIN ou GiST

Principe :

Sans indexation, une recherche FTS fonctionne, mais parcourra entièrement la table. L'indexation est possible, avec GIN ou GiST. On peut stocker le vecteur résultat de `to_tsvector` dans une autre colonne de la table, et c'est elle qui sera indexée. Jusqu'à PostgreSQL 11, il est nécessaire de le faire manuellement, ou d'écrire un trigger pour cela. À partir de PostgreSQL 12, on peut utiliser une colonne générée (il est nécessaire de préciser la configuration FTS), qui sera stockée sur le disque :

```
-- Attention, ceci réécrit la table
ALTER TABLE textes
ADD COLUMN vecteur tsvector
GENERATED ALWAYS AS (to_tsvector ('french', contenu)) STORED ;
```

Les critères de recherche porteront sur la colonne `vecteur` :

```
SELECT * FROM textes
WHERE vecteur @@ to_tsquery ('french', 'Roméo <2> Juliette');
```

Cette colonne sera ensuite indexée par GIN pour avoir des temps d'accès corrects :

```
CREATE INDEX on textes USING gin (vecteur) ;
```

Alternative : index fonctionnel

Plus simplement, il peut suffire de créer juste un index fonctionnel sur `to_tsvector ('french', contenu)`. On épargne ainsi l'espace du champ calculé dans la table.

Par contre, l'index devra porter sur le critère de recherche exact, sinon il ne sera pas utilisable. Cela n'est donc pertinent que si la majorité des recherches porte sur un nombre très restreint de critères, et il faudra un index par critère.

```
CREATE INDEX idx_fts ON public.textes
USING gin (to_tsvector('french'::regconfig, contenu))

SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector ('french', contenu) @@ to_tsquery ('french', 'Roméo <2> Juliette');
```

Exemple complet de mise en place de FTS :

- Création d'une configuration de dictionnaire dédiée avec dictionnaire français, sans accent, dans une table de dépêches :

```
CREATE TEXT SEARCH CONFIGURATION depeches (COPY= french);
```

```
CREATE EXTENSION unaccent ;
```

```
ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION depeches ALTER MAPPING FOR  
hword, hword_part, word WITH unaccent,french_stem;
```

- Ajout d'une colonne vectorisée à la table `depeche`, avec des poids différents pour le titre et le texte, ici gérée manuellement avec un trigger.

```
CREATE TABLE depeche (id int, titre text, texte text) ;
```

```
ALTER TABLE depeche ADD vect_depeche tsvector;
```

```
UPDATE depeche  
SET vect_depeche =  
(setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(titre,'')), 'A') ||  
setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(texte,'')), 'C'));
```

```
CREATE FUNCTION to_vectdepeche( )  
RETURNS trigger  
LANGUAGE plpgsql  
-- common options: IMMUTABLE STABLE STRICT SECURITY DEFINER  
AS $function$  
BEGIN  
    NEW.vect_depeche :=  
        setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(NEW.titre,'')), 'A') ||  
        setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(NEW.texte,'')), 'C');  
    return NEW;  
END  
$function$;
```

```
CREATE TRIGGER trg_depeche before INSERT OR update ON depeche  
FOR EACH ROW execute procedure to_vectdepeche();
```

- Création de l'index associé au vecteur :

```
CREATE INDEX idx_gin_texte ON depeche USING gin(vect_depeche);
```

- Collecte des statistiques sur la table :

```
ANALYZE depeche ;
```

- Utilisation basique :

```
SELECT titre,texte FROM depeche WHERE vect_depeche @@  
to_tsquery('depeches','varicelle');  
SELECT titre,texte FROM depeche WHERE vect_depeche @@  
to_tsquery('depeches','varicelle & medecin');
```

- Tri par pertinence :

```
SELECT titre,texte  
FROM depeche  
WHERE vect_depeche @@ to_tsquery('depeches','varicelle & medecin')  
ORDER BY ts_rank_cd(vect_depeche, to_tsquery('depeches','varicelle & medecin'));
```

- Cette requête peut s'écrire aussi ainsi :

```
SELECT titre,ts_rank_cd(vect_depeche,query) AS rank
FROM depeche, to_tsquery('depeches','varicelle & médecin') query
WHERE query@@vect_depeche
ORDER BY rank DESC ;
```

8.6.5 Full Text Search sur du JSON



— Vectorisation possible des JSON

```
SELECT info FROM commandes c
WHERE to_tsvector ('french', c.info) @@ to_tsquery('papier') ;
```

info

```
-----
{"items": {"qté": 5, "produit": "Rame papier normal A4"},
  "client": "Benoît Delaporte"}
{"items": {"qté": 5, "produit": "Pochette Papier dessin A3"},
  "client": "Lucie Dumoulin"}
```

Une recherche FTS est directement possible sur des champs JSON. Voici un exemple :

```
CREATE TABLE commandes (info jsonb);
```

```
INSERT INTO commandes (info)
```

```
VALUES
```

```
(
  '{ "client": "Jean Dupont",
    "articles": {"produit": "Enveloppes A4","qté": 24}}'
),
(
  '{ "client": "Jeanne Durand",
    "articles": {"produit": "Imprimante","qté": 1}}'
),
(
  '{ "client": "Benoît Delaporte",
    "items": {"produit": "Rame papier normal A4","qté": 5}}'
),
(
  '{ "client": "Lucie Dumoulin",
    "items": {"produit": "Pochette Papier dessin A3","qté": 5}}'
);
```

La décomposition par FTS donne :

```
SELECT to_tsvector('french', info) FROM commandes ;
```

to_tsvector

```
-----
'a4':5 'dupont':2 'envelopp':4 'jean':1
'durand':2 'imprim':4 'jeann':1
'a4':4 'benoît':6 'delaport':7 'normal':3 'papi':2 'ram':1
'a3':4 'dessin':3 'dumoulin':7 'luc':6 'papi':2 'pochet':1
```


Une recherche sur « papier » donne :

```
SELECT info FROM commandes c
WHERE to_tsvector ('french', c.info) @@ to_tsquery('papier') ;
```

info

```
{"items": {"qté": 5, "produit": "Rame papier normal A4"}, "client": "Benoît
↪ Delaporte"}
{"items": {"qté": 5, "produit": "Pochette Papier dessin A3"}, "client": "Lucie
↪ Dumoulin"}
```

Plus d'information chez Depesz : Full Text Search support for json and jsonb¹³.

¹³<https://www.depsz.com/2017/04/04/waiting-for-postgresql-10-full-text-search-support-for-json-and-jsonb/>

8.7 QUIZ



https://dali.bo/t1_quiz

8.8 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/t1_solutions.

8.8.1 Tables non journalisées



But : Tester les tables non journalisées

Afficher le nom du journal de transaction courant.

Créer une base **pgbench** vierge, de taille 80 (environ 1,2 Go). Les tables doivent être en mode **unlogged**.

Afficher la liste des objets **unlogged** dans la base **pgbench**.

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé ?

Passer l'ensemble des tables de la base **pgbench** en mode **logged**.

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé ?

Repasser toutes les tables de la base **pgbench** en mode **unlogged**.

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé ?

Réinitialiser la base **pgbench** toujours avec une taille 80 mais avec les tables en mode **logged**. Que constate-t-on ?

Réinitialiser la base **pgbench** mais avec une taille de 10. Les tables doivent être en mode **unlogged**.

Compter le nombre de lignes dans la table `pgbench_accounts`.

Simuler un crash de l'instance PostgreSQL.

Redémarrer l'instance PostgreSQL.

Compter le nombre de lignes dans la table `pgbench_accounts`. Que constate-t-on ?

8.8.2 Indexation Full Text



But : Tester l'indexation *Full Text*

Vous aurez besoin de la base **textes**. La base **gutenberg** est disponible en deux versions : complète sur https://dali.bo/tp_gutenberg (dump de 0,5 Go, table de 21 millions de lignes dans 3 Go) ou https://dali.bo/tp_gutenberg10 pour un extrait d'un dixième. Le dump peut se restaurer par exemple dans une nouvelle base, et contient juste une table nommée `textes`.

```
curl -kL https://dali.bo/tp_gutenberg -o /tmp/gutenberg.dmp
createdb gutenberg
pg_restore -d gutenberg /tmp/gutenberg.dmp
# le message sur le schéma public existant est normale
rm -- /tmp/gutenberg.dmp
```

Ce TP utilise la version complète de la base **textes** basée sur le projet Gutenberg. Un index GIN va permettre d'utiliser la *Full Text Search* sur la table **textes**.

Créer un index GIN sur le vecteur du champ `contenu` (fonction `to_tsvector`).

Quelle est la taille de cet index ?

Quelle performance pour trouver « Fantine » (personnage des *Misérables* de Victor Hugo) dans la table ? Le résultat contient-il bien « Fantine » ?

Trouver les lignes qui contiennent à la fois les mots « affaire » et « couteau » et voir le plan.

8.9 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

8.9.1 Tables non journalisées

Afficher le nom du journal de transaction courant.

```
SELECT pg_walfile_name(pg_current_wal_lsn()) ;
```

```

      pg_walfile_name
-----
00000000100000000100000024

```

Créer une base **pgbench** vierge, de taille 80 (environ 1,2 Go). Les tables doivent être en mode **unlogged**.

```

$ createdb pgbench
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -i -s 80 --unlogged-tables pgbench

dropping old tables...
NOTICE: table "pgbench_accounts" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_branches" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_history" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_tellers" does not exist, skipping
creating tables...
generating data (client-side)...
8000000 of 8000000 tuples (100%) done (elapsed 4.93 s, remaining 0.00 s)
vacuuming...
creating primary keys...
done in 8.84 s (drop tables 0.00 s, create tables 0.01 s, client-side generate 5.02 s,
vacuum 1.79 s, primary keys 2.02 s).

```

Afficher la liste des objets **unlogged** dans la base **pgbench**.

```
SELECT relname FROM pg_class
WHERE relpersistence = 'u' ;
```

```

      relname
-----
pgbench_accounts
pgbench_branches
pgbench_history
pgbench_tellers
pgbench_branches_pkey
pgbench_tellers_pkey
pgbench_accounts_pkey

```

Les 3 objets avec le suffixe **pkey** correspondent aux clés primaires des tables créées par **pgbench**. Comme elles dépendent des tables, elles sont également en mode **unlogged**.

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé ?

```
SELECT pg_walfile_name(pg_current_wal_lsn()) ;
```

```

pg_walfile_name
-----
000000010000000100000024

```

Comme l'initialisation de **pgbench** a été réalisée en mode **unlogged**, aucune information concernant les tables et les données qu'elles contiennent n'a été inscrite dans les journaux de transaction. Donc le journal de transaction est toujours le même.

Passer l'ensemble des tables de la base **pgbench** en mode **logged**.

```

ALTER TABLE pgbench_accounts SET LOGGED;
ALTER TABLE pgbench_branches SET LOGGED;
ALTER TABLE pgbench_history SET LOGGED;
ALTER TABLE pgbench_tellers SET LOGGED;

```

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé?

```

SELECT pg_walfile_name(pg_current_wal_lsn());

pg_walfile_name
-----
000000010000000100000077

```

Comme toutes les tables de la base **pgbench** ont été passées en mode **logged**, une réécriture de celles-ci a eu lieu (comme pour un `VACUUM FULL`). Cette réécriture additionnée au mode **logged** a entraîné une forte écriture dans les journaux de transaction. Dans notre cas, 83 journaux de transaction ont été consommés, soit approximativement 1,3 Go d'utilisé sur disque.

Il faut donc faire particulièrement attention à la quantité de journaux de transaction qui peut être générée lors du passage d'une table du mode **unlogged** à **logged**.

Repasser toutes les tables de la base **pgbench** en mode **unlogged**.

```

ALTER TABLE pgbench_accounts SET UNLOGGED;
ALTER TABLE pgbench_branches SET UNLOGGED;
ALTER TABLE pgbench_history SET UNLOGGED;
ALTER TABLE pgbench_tellers SET UNLOGGED;

```

Afficher le nom du journal de transaction courant. Que s'est-il passé?

```

SELECT pg_walfile_name(pg_current_wal_lsn());

pg_walfile_name
-----
000000010000000100000077

```

Le processus est le même que précédemment, mais, lors de la réécriture des tables, aucune information n'est stockée dans les journaux de transaction.

Réinitialiser la base **pgbench** toujours avec une taille 80 mais avec les tables en mode **logged**. Que constate-t-on?

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -i -s 80 -d pgbench
```

```

dropping old tables...
creating tables...
generating data (client-side)...
8000000 of 8000000 tuples (100%) done (elapsed 9.96 s, remaining 0.00 s)
vacuuming...
creating primary keys...
done in 16.60 s (drop tables 0.11 s, create tables 0.00 s, client-side generate 10.12
↪ s,
vacuum 2.87 s, primary keys 3.49 s).

```

On constate que le temps mis par **pgbench** pour initialiser sa base est beaucoup plus long en mode **logged** que **unlogged**. On passe de 8,84 secondes en **unlogged** à 16,60 secondes en mode **logged**. Cette augmentation du temps de traitement est due à l'écriture dans les journaux de transaction.

Réinitialiser la base **pgbench** mais avec une taille de 10. Les tables doivent être en mode **unlogged**.

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -i -s 10 -d pgbench --unlogged-tables
```

```

dropping old tables...
creating tables...
generating data (client-side)...
1000000 of 1000000 tuples (100%) done (elapsed 0.60 s, remaining 0.00 s)
vacuuming...
creating primary keys...
done in 1.24 s (drop tables 0.02 s, create tables 0.02 s, client-side generate 0.62 s,
vacuum 0.27 s, primary keys 0.31 s).

```

Compter le nombre de lignes dans la table `pgbench_accounts`.

```
SELECT count(*) FROM pgbench_accounts ;
```

```

count
-----
1000000

```

Simuler un crash de l'instance PostgreSQL.

```

$ ps -ef | grep postmaster
postgres  697  1  0 14:32 ?    00:00:00 /usr/pgsql-14/bin/postmaster -D ...
$ kill -9 697

```



Ne faites jamais un `kill -9` sur un processus de l'instance PostgreSQL en production, bien sûr!

Redémarrer l'instance PostgreSQL.

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pg_ctl -D /var/lib/pgsql/14/data start
```

Compter le nombre de lignes dans la table `pgbench_accounts`. Que constate-t-on?

```
SELECT count(*) FROM pgbench_accounts ;
```

```
count
-----
0
```

Lors d'un crash, PostgreSQL remet tous les objets **unlogged** à zéro.

8.9.2 Indexation Full Text

Créer un index GIN sur le vecteur du champ `contenu` (fonction `to_tsvector`).

```
textes=# CREATE INDEX idx_fts ON textes
USING gin (to_tsvector('french',contenu));
CREATE INDEX
```

Quelle est la taille de cet index?

La table « pèse » 3 Go (même si on pourrait la stocker de manière beaucoup plus efficace). L'index GIN est lui-même assez lourd dans la configuration par défaut :

```
textes=# SELECT pg_size_pretty(pg_relation_size('idx_fts'));
pg_size_pretty
-----
593 MB
(1 ligne)
```

Quelle performance pour trouver « Fantine » (personnage des *Misérables* de Victor Hugo) dans la table? Le résultat contient-il bien « Fantine »?

```
textes=# EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS) SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('french','fantine');
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on textes  (cost=107.94..36936.16 rows=9799 width=123)
    (actual time=0.423..1.149 rows=326 loops=1)
    Recheck Cond: (to_tsvector('french'::regconfig, contenu)
        @@ 'fantine'::tsquery)
    Heap Blocks: exact=155
    Buffers: shared hit=159
    -> Bitmap Index Scan on idx_fts  (cost=0.00..105.49 rows=9799 width=0)
        (actual time=0.210..0.211 rows=326 loops=1)
        Index Cond: (to_tsvector('french'::regconfig, contenu)
            @@ 'fantine'::tsquery)
        Buffers: shared hit=4
Planning Time: 1.248 ms
Execution Time: 1.298 ms
```


On constate donc que le *Full Text Search* est très efficace du moins pour le *Full Text Search* + GIN : trouver 1 mot parmi plus de 100 millions avec 300 enregistrements correspondants dure 1,5 ms (cache chaud).

Si l'on compare avec une recherche par trigramme (extension `pg_trgm` et index GIN), c'est bien meilleur. À l'inverse, les trigrammes permettent des recherches floues (orthographe approximative), des recherches sur autre chose que des mots, et ne nécessitent pas de modification de code.

Par contre, la recherche n'est pas exacte, « Fantin » est fréquemment trouvé. En fait, le plan montre que c'est le vrai critère retourné par `to_tsquery('french','fantine')` et transformé en `'fantin'::tsquery`. Si l'on tient à ce critère précis il faudra ajouter une clause plus classique `contenu LIKE '%Fantine%'` pour filtrer le résultat après que le FTS ait « dégrossi » la recherche.

[Trouver les lignes qui contiennent à la fois les mots « affaire » et « couteau » et voir le plan.](#)

10 lignes sont ramenées en quelques millisecondes :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS) SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('french','affaire & couteau')
;
```

QUERY PLAN

```
-----
Bitmap Heap Scan on textes (cost=36.22..154.87 rows=28 width=123)
    (actual time=6.642..6.672 rows=10 loops=1)
    Recheck Cond: (to_tsvector('french'::regconfig, contenu)
        @@ ''affaire' & 'couteau'::tsquery)
    Heap Blocks: exact=10
    Buffers: shared hit=53
    -> Bitmap Index Scan on idx_fts (cost=0.00..36.21 rows=28 width=0)
        (actual time=6.624..6.624 rows=10 loops=1)
        Index Cond: (to_tsvector('french'::regconfig, contenu)
            @@ ''affaire' & 'couteau'::tsquery)
    Buffers: shared hit=43
Planning Time: 0.519 ms
Execution Time: 6.761 ms
```

Noter que les pluriels « couteaux » et « affaires » figurent parmi les résultats puisque la recherche porte sur les lexèmes `'affaire' & 'couteau'`.

9/ Masquage de données & postgresql_anonymizer



Photo d'Erwin Bernal¹, Montreal, 2015, licence CC BY 2.0

¹<https://flic.kr/p/rFFU3g>

9.1 CAS D'USAGE



- Paul : le propriétaire
- Pierre : *data scientist*
- Jack : employé chargé des fournisseurs

La boutique de Paul a beaucoup de clients. Paul demande à son ami Pierre, *data scientist*, des statistiques sur ses clients (âge moyen, etc.).

Pierre demande un accès direct à la base de données pour écrire ses requêtes SQL.

Jack est un employé de Paul, chargé des relations avec les divers fournisseurs de la boutique.

Paul respecte la vie privée de ses fournisseurs. Il doit masquer les informations personnelles à Pierre, mais Jack doit pouvoir lire les vraies données, et y écrire.

Crédits

Cet exemple pratique est un travail collectif de Damien Clochard, Be Hai Tran, Florent Jardin et Frédéric Yhuel.

La version originale en anglais est diffusée sous licence PostgreSQL ².

Le présent document en est l'adaptation en français.

Paul's Boutique est le second album studio du groupe de hip-hop américain les *Beastie Boys*, sorti le 25 juillet 1989 chez Capitol Records.

La photo ci-dessus est d'Erwin Bernal ³, sous licence CC BY 2.0 ⁴.

9.1.1 Objectifs



- Nous allons découvrir :
- comment écrire des règles de masquage
 - la différence entre masquage dynamique et masquage statique
 - comment implémenter un masquage avancé

²<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/latest/tutorials/>

³<https://www.flickr.com/photos/edogisgod/16858046971/in/photolist-rFFU3g-4NZreN-xKEkv-h9ZxgT-aMD5mr-8dAvwU-cru1CN-xFfJgh-8QhtH6-6E81fG-zUN3Rg-7dCVPA-5VbEct-ewX2Lc-hA4JqP-psCh1y-dmZpzf-pjkwX-cu5NNQ-fTyVqj-MjtjRc-cLdmvW-3fd5BM-9m6ChY-dwLhRK-9d2A9s-6WsfHq-abVSJd-dWYBD4-gmJyHe-bVyJNn-SHTV2b-BoMvci-abVPJW-5pgugb-r4oJpD-6YeAE3-6kKVpZ-e4LeQN-BLUvZG-do1bDr-o5YACZ-9karFj-dPuSLW-btYwsQ-e4L9h9-abT31z-3eWVAZ-abVN43-btYvvJ>

⁴<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.fr>

10/ PostgreSQL Anonymizer



10.0.1 Principe



Principe :

- Extension
- Déclaratif (DDL)

`postgresql_anonymizer` est une extension pour masquer ou remplacer des données à caractère personnel¹ (ou PII pour *personally identifiable information*) ou toute donnée sensible dans une base de données PostgreSQL.

Le projet a une **approche déclarative** de l'anonymisation. Vous pouvez déclarer les règles de masquage² dans PostgreSQL avec du DDL (*Data Definition Language*, ou langage de définition des données) et spécifier votre stratégie d'anonymisation dans la définition de la table.

10.0.2 4 méthodes de masquage



Principe :

- masquage statique
- masquage dynamique
- sauvegardes anonymisées
- vues de masquage

Une fois les règles de masquage définies, vous pouvez accéder aux données anonymisées de quatre manières différentes :

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Personally_identifiable_information

²https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/declare_masking_rules/

- le masquage statique³ : supprime les données personnelles en fonction des règles;
- le masquage dynamique⁴ : cache les données personnelles uniquement des utilisateurs masqués;
- les sauvegardes anonymisées⁵ : export des données masquées vers un fichier SQL (sauvegarde logique);
- les vues de masquage⁶ : créent des « vues brouillées » des données originales.

Cette présentation n'entrera pas dans le détail du RGPD et des principes généraux d'anonymisation. Pour plus d'informations, référez-vous aux présentations de Damien Clochard ci-dessous :

- Anonymisation, Au-delà du RGPD (vidéo)⁷ (PGSession 12, Paris 2019)
- Anonymisation, Au-delà du RGPD (PDF)⁸
- Anonymization, Beyond GDPR (PDF en anglais)⁹
- PostgreSQL Anonymizer and the battle for privacy¹⁰ (FOSDEM 2025)

³https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/static_masking/

⁴https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/dynamic_masking/

⁵https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/anonymous_dumps/

⁶https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/latest/masking_views/

⁷<https://www.youtube.com/watch?v=KGSIp4UygdU>

⁸https://public.dalibo.com/exports/conferences/20191210_poss_anonymisation/anonymisation.pdf

⁹https://public.dalibo.com/exports/conferences/20191016_anonymisation_beyond_GDPR/anonymisation_beyond_gdpr.pdf

¹⁰<https://fosdem.org/2025/schedule/event/fosdem-2025-4258-postgresql-anonymizer-and-the-battle-for-privacy/>

11/ Prerequis

11.1 INSTALLATION



Cet exemple nécessite :

- une instance PostgreSQL;
- l'extension **PostgreSQL Anonymizer** (`anon`)
 - installée, initialisée par un super-utilisateur
- une base **boutique**
 - dont le propriétaire est **paul**, super-utilisateur
- les rôles **pierre** et **jack**
 - avec droits de connexion à **boutique**

Voir section « Installation »¹ dans la documentation² pour savoir comment installer l'extension dans votre instance PostgreSQL.

Par exemple :

11.1.1 Sous Rocky Linux 8

- Ajouter le dépôt RPM Dalibo Labs³

```
sudo dnf install -y https://download.postgresql.org/pub/repos/yum/reporepms/EL-8-
↳ x86_64/pgdg-redhat-repo-latest.noarch.rpm
sudo dnf -qy module disable postgresql
sudo dnf install -y postgresql17-server
sudo /usr/pgsql-17/bin/postgresql-17-setup initdb
sudo systemctl enable postgresql-17
sudo systemctl start postgresql-17
```

- Ajout du dépôt RPM DaLibo Labs :

```
sudo dnf install -y https://yum.dalibo.org/labs/dalibo-labs-4-1.noarch.rpm
```

- Lancer l'installation :

```
sudo dnf install -y postgresql_anonymizer_17
```

11.1.2 Sous Debian / Ubuntu

- L'utilisation des dépôts du PGDG est optionnelle, mais recommandée (pour le choix des versions de PostgreSQL et divers outils) :

```
sudo apt install -y postgresql-common
sudo /usr/share/postgresql-common/pgdg/apt.postgresql.org.sh -y
sudo apt -y install postgresql-17
```

¹<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/INSTALL>

²<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/>

³<https://yum.dalibo.org/labs/>

— Ajout du dépôt DaLibo Labs DEB :

```
sudo apt install -y curl lsb-release
echo deb http://apt.dalibo.org/labs $(lsb_release -cs)-dalibo main \
|sudo tee /etc/apt/sources.list.d/dalibo-labs.list
sudo curl -fsSL -o /etc/apt/trusted.gpg.d/dalibo-labs.gpg \
https://apt.dalibo.org/labs/debian-dalibo.gpg
sudo apt update
```

— Lancer :

```
sudo apt install -y postgresql_anonymizer_17
```

11.2 BASE D'EXEMPLE



Création des rôles **pierre**, **paul**, **jack** et la base **boutique** :

```
CREATE ROLE paul LOGIN SUPERUSER ;
CREATE ROLE pierre LOGIN ;
CREATE ROLE jack LOGIN ;

GRANT pg_read_all_data TO jack;
GRANT pg_write_all_data TO jack;

CREATE DATABASE boutique OWNER paul;
```

— Définir un mot de passe pour chaque utilisateur :

```
\password paul
\password pierre
\password jack
```

En tant qu'utilisateur système **postgres**, créer le fichier **.pgpass**, le compléter et mettre à jour les droits :

```
touch ~/.pgpass
echo "*:*:boutique:pierre:<mot_de_passe>" >> ~/.pgpass
echo "*:*:boutique:paul:<mot_de_passe>" >> ~/.pgpass
echo "*:*:boutique:jack:<mot_de_passe>" >> ~/.pgpass
chmod 0600 ~/.pgpass
```

Remplacer par le mot de passe attribué à chaque rôle

11.2.1 Ouverture des accès



— Mise à jour du fichier `pg_hba.conf`

Mettre à jour le fichier `pg_hba.conf`, situé :

- sur RHEL : `/var/lib/pgsql/17/data/pg_hba.conf`
- sur Debian : `/etc/postgresql/17/main/pg_hba.conf`

#	TYPE	DATABASE	USER	ADDRESS	METHOD
local	all		postgres		peer
local	all		all		scram-sha-256

Les autres lignes peuvent être supprimées.

— Charger l'extension :

```
ALTER DATABASE boutique
SET session_preload_libraries = 'anon';
```

La modification du paramètre `session_preload_libraries` s'applique aux nouvelles sessions, une déconnexion et reconnexion est nécessaire pour que les changements soient visibles.

Recharger la configuration pour valider les mises à jour du paramètre `session_preload_libraries` et du fichier `pg_hba.conf` :

```
SELECT pg_reload_conf();
```

11.2.2 Activer l'extension



Dans chaque base concernée :

```
\c boutique
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS anon ;
SELECT anon.init() ;
```

La fonction `anon.init()` permet d'initialiser les valeurs de pseudonymisation dans les tables du schéma `anon`. Ces valeurs seront ensuite utilisées lors du processus de pseudonymisation des données.

On peut vérifier que la version installée est la bonne :

```
SELECT anon.version();
```

```
version
-----
2.0.0-beta.1
(1 ligne)
```



Si la version correspond à la `1.3.2`, cela signifie que le dépôt PGDG a été utilisé pour l'installation, et non le dépôt DaLibo Labs.

Désormais, sauf précision contraire, toutes les commandes sont à exécuter en tant que **paul** (le propriétaire).

12/ Masquage statique



- Le plus simple
- Destructif

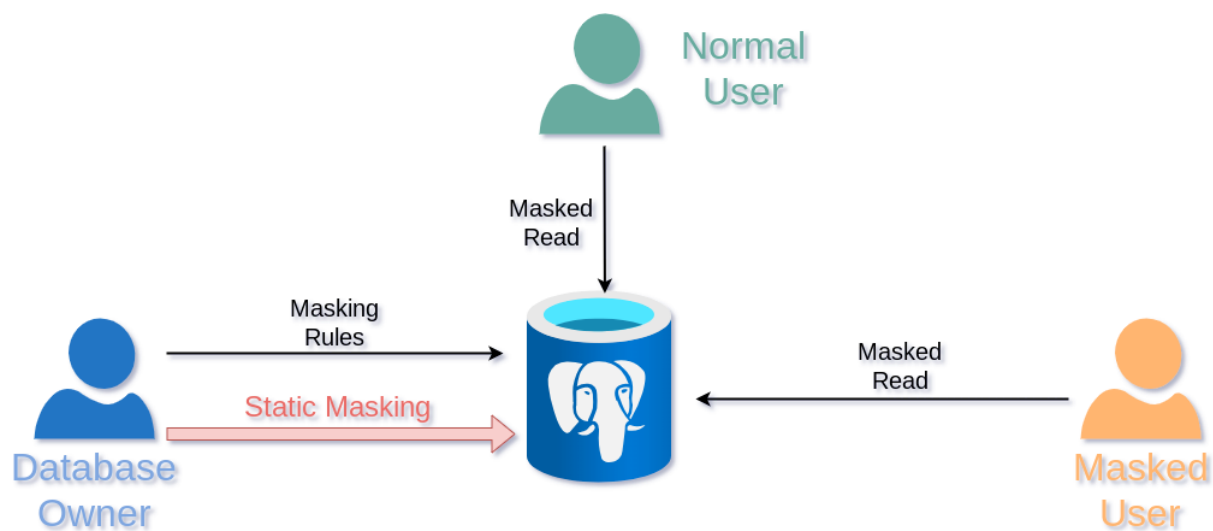
Le masquage statique est la méthode la plus simple pour cacher des données personnelles. L'idée est simplement de détruire les données originales et de les remplacer par des données artificielles.

12.1 L'HISTOIRE



- Au fil des années, Paul a accumulé des données sur ses clients et leurs achats dans une base de données très simple.
- Il a récemment installé un nouveau logiciel de ventes, et l'ancienne base est obsolète.
- Avant de l'archiver, il voudrait en supprimer toutes les données personnelles.

12.2 COMMENT ÇA MARCHE ?



12.3 OBJECTIFS

Nous allons voir :

- comment écrire des règles de masquage simples
- les intérêts et limitations du masquage statique
- le concept de « singularisation » d'une personne (*singling out*)

12.4 TABLE « CUSTOMER »



```
\c boutique paul
DROP TABLE IF EXISTS customer CASCADE;
DROP TABLE IF EXISTS payout CASCADE;

CREATE TABLE customer (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  firstname TEXT,
  lastname TEXT,
  phone TEXT,
  birth DATE,
  postcode TEXT
);
```

12.4.1 Quelques clients



Insertion de quelques personnes :

```
INSERT INTO customer
VALUES
(107, 'Sarah', 'Conor', '060-911-0911', '1965-10-10', '90016'),
(258, 'Luke', 'Skywalker', NULL, '1951-09-25', '90120'),
(341, 'Don', 'Draper', '347-515-3423', '1926-06-01', '04520')
;
```

```
SELECT * FROM customer;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
107	Sarah	Conor	060-911-0911	1965-10-10	90016
258	Luke	Skywalker		1951-09-25	90120
341	Don	Draper	347-515-3423	1926-06-01	04520

(3 lignes)

12.5 TABLE « PAYOUT »



Les ventes sont suivies dans cette simple table :

```
CREATE TABLE payout (  
  id SERIAL PRIMARY KEY,  
  fk_customer_id INT REFERENCES customer(id),  
  order_date DATE,  
  payment_date DATE,  
  amount INT  
);
```

12.5.1 Quelques données



Quelques commandes :

```
INSERT INTO payout  
VALUES  
(1,107,'2021-10-01','2021-10-01','7'),  
(2,258,'2021-10-02','2021-10-03','20'),  
(3,341,'2021-10-02','2021-10-02','543'),  
(4,258,'2021-10-05','2021-10-05','12'),  
(5,258,'2021-10-06','2021-10-06','92')  
;
```

12.6 DÉCLARER ET APPLIQUER LES RÈGLES DE MASQUAGE



Pour le masquage statique, deux étapes :

1. Déclaration des règles de masquage (`SECURITY LABEL`);
2. Application des règles de masquage.

Pour le masquage statique, la déclaration des règles de masquage est à faire avant leur application. Cette déclaration passe par la création de `SECURITY LABEL`.

Le masquage statique est exécuté par les fonctions `anon.anonymize_table()` et `anon.anonymize_column()`

12.7 DÉCLARER LES RÈGLES DE MASQUAGE



```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.lastname  
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.dummy_last_name()';  
  
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.phone  
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.partial(phone,2,$$X-XXX-XX$$,2)';
```

Dans cet exemple, Paul veut masquer le nom de famille et le numéro de téléphone de ses clients.

Pour cela, il utilise les fonctions `dummy_last_name()` et `partial()`.

12.8 APPLIQUER LES RÈGLES DE MANIÈRE PERMANENTE



Application des règles de masquage :

```
SELECT anon.anonymize_table('customer');
```

Cette fonction ne fait qu'appliquer la règle et doit renvoyer *True*. Ensuite :

```
SELECT id, firstname, lastname, phone  
FROM customer;
```

id	firstname	lastname	phone
107	Sarah	Okuneva	06X-XXX-XX11
258	Luke	Okuneva	
341	Don	Boyle	34X-XXX-XX23



Cette technique est nommée « masquage statique » car la donnée réelle a été détruite de manière définitive. L'anonymisation dynamique et les exports seront vus plus loin.

12.9 GESTION DES SECURITY LABEL



— Obtenir la liste des labels :

```
SELECT pg_class.relname AS table, pg_seclabel.label
FROM pg_seclabel INNER JOIN pg_class ON pg_seclabel.objoid = pg_class.oid
WHERE provider = 'anon';
```

— Suppression d'un label : <!-- pour le script global

```
\set ON_ERROR_STOP 0
```

—>

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN <table>.<colonne> IS NULL;
```

Les règles de masquage passent systématiquement par des `SECURITY LABEL` définis pour le schéma `anon`.

En cas d'erreur lors de la déclaration d'une fonction de masquage, il n'y a pas d'autre solution que de supprimer et de recréer le label.

12.10 EXERCICES

12.10.1 E101 - Masquer les prénoms des clients

Déclarer une nouvelle règle de masquage et relancer l'anonymisation statique.

12.10.2 E102 - Masquer les 3 derniers chiffres du code postal

Paul réalise que le code postal est un bon indice sur l'endroit où vivent ses clients. Cependant, il voudrait pouvoir faire des statistiques par département.

Créer une règle de masquage pour remplacer les 3 derniers chiffres du code postal par 'x'.

12.10.3 E103 - Compter le nombre de clients dans chaque département.

Agréger les clients selon le code postal anonymisé.

12.10.4 E104 - Ne garder que l'année dans les dates de naissance

Paul veut des statistiques selon l'âge. Mais il veut aussi masquer les vraies dates de naissance de ses clients.

Remplacer toutes les dates de naissance par le 1er janvier, en conservant l'année réelle. \ Utiliser la fonction `date_trunc`^a.

^a<https://www.postgresql.org/docs/current/functions-datetime.html#FUNCTIONS-DATETIME-TABLE>

12.10.5 E105 - Identifier un client particulier

Même si un client est correctement anonymisé, il est possible d'isoler un individu grâce à des données d'autres tables. Par exemple, il est possible d'identifier le meilleur client de Paul avec une telle requête :

```
WITH best_client AS (
  SELECT SUM(amount), fk_customer_id
  FROM payout
  GROUP BY fk_customer_id
  ORDER BY 1 DESC
  LIMIT 1
)
SELECT c.*
FROM customer c
JOIN best_client b ON (c.id = b.fk_customer_id) ;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
341	Don	Boyle	34X-XXX-XX23	1926-06-01	04520

Ce processus est appelé « singularisation » (*singling out*¹) d'une personne.

Il faut donc aller plus loin dans l'anonymisation, en supprimant le lien entre une personne et sa société. Dans la table des commandes `order`, ce lien est matérialisé par une clé étrangère sur le champ `fk_company_id`. Mais nous ne pouvons supprimer des valeurs de cette colonne ou y insérer de faux identifiants, car cela briserait la contrainte de clé étrangère.

Comment séparer les clients de leurs paiements tout en respectant l'intégrité des données ?

Trouver une fonction qui mélange les valeurs de `fk_company_id` dans la table `payout`. \ Consulter la section *shuffling*^a de la documentation^b.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/static_masking/#shuffling

^b<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/>

¹<https://www.pnas.org/content/117/15/8344>

12.11 SOLUTIONS

12.11.1 S101

Déclarer une nouvelle règle de masquage et relancer l'anonymisation statique.

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.firstname
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.dummy_first_name()' ;
```

```
SELECT anon.anonymize_table('customer') ;
```

La table anonymisée devient :

```
SELECT id, firstname, lastname
FROM customer ;
```

id	firstname	lastname
107	Hans	Barton
258	Jacqueline	Dare
341	Sibyl	Runte

12.11.2 S102

Créer une règle de masquage pour remplacer les 3 derniers chiffres du code postal par 'x'.

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.postcode
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.partial(postcode,2,$$xxx$$,0)' ;
```

```
SELECT anon.anonymize_table('customer') ;
```

Le code postal anonymisé devient :

```
SELECT id, firstname, lastname, postcode
FROM customer ;
```

id	firstname	lastname	postcode
107	Curt	O'Hara	90xxx
258	Agusta	Towne	90xxx
341	Sid	Hane	04xxx

Noter que les noms ont encore changé après application de `anon.anonymize_table()`.

12.11.3 S103

Agréger les clients selon le code postal anonymisé.

```
SELECT postcode, COUNT(id)
FROM customer
GROUP BY postcode;
```

postcode	count
90xxx	2
04xxx	1

12.11.4 S104

Remplacer toutes les dates de naissance par le 1er janvier, en conservant l'année réelle. \ Utiliser la fonction `date_trunc`^a.

^a<https://www.postgresql.org/docs/current/functions-datetime.html#FUNCTIONS-DATETIME-TABLE>

```
SECURITY LABEL FOR anon ON FUNCTION pg_catalog.date_trunc(text, interval) IS
↪ 'TRUSTED';
```

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN customer.birth IS
$$ MASKED WITH FUNCTION pg_catalog.date_trunc('year', birth) $$;
```

```
SELECT anon.anonymize_table('customer');
```

Les dates de naissance anonymisées deviennent :

```
SELECT id, firstname, lastname, birth
FROM customer ;
```

id	firstname	lastname	birth
107	Pinkie	Sporer	1965-01-01
258	Zebulon	Gerlach	1951-01-01
341	Erna	Emmerich	1926-01-01

12.11.5 S105

Trouver une fonction qui mélange les valeurs de `fk_company_id` dans la table `payout`. \ Consulter la section shuffling de la documentation.

Pour mélanger les valeurs de `fk_customer_id` :

```
SELECT anon.shuffle_column('payout', 'fk_customer_id', 'id') ;
```

Si l'on essaie à nouveau d'identifier le meilleur client :

```
WITH best_client AS (
  SELECT SUM(amount), fk_customer_id
  FROM payout
  GROUP BY fk_customer_id
  ORDER BY 1 DESC
  LIMIT 1
)
SELECT c.*
FROM customer c
JOIN best_client b ON (c.id = b.fk_customer_id) ;
```

id	firstname	lastname	phone	birth	postcode
258	Zebulon	Gerlach		1951-01-01	90xxx



Noter que le lien entre un client (`customer`) et ses paiements (`payout`) est à présent complètement faux !

Par exemple, si un client A a deux paiements, l'un se retrouvera associé à un client B, et l'autre à un client C. En d'autres termes, cette méthode de mélange respectera la contrainte d'intégrité technique, mais brisera l'intégrité des données. Pour certaines utilisations, ce peut être problématique.

Ici, Pierre ne pourra pas produire de rapport avec les données mélangées.

13/ Masquage dynamique

13.1 PRINCIPE DU MASQUAGE DYNAMIQUE



- Masquer les données personnelles à certains utilisateurs
- mais pas tous

Avec le masquage dynamique, le propriétaire de la base peut masquer les données personnelles à certains utilisateurs, tout en laissant aux autres les droits de lire et modifier les données réelles.

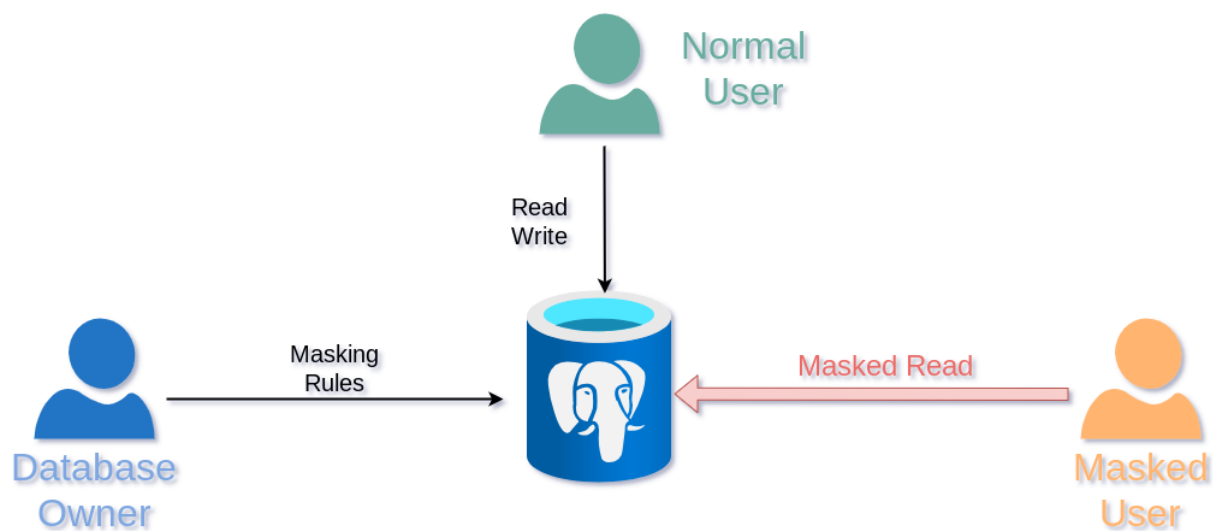
13.2 L'HISTOIRE



Paul a 2 employés :

- **Jack** s'occupe du nouveau logiciel de ventes.
 - il a besoin d'accéder aux vraies données
 - pour le RGPD c'est un « processeur de données »
- **Pierre** est un analyste qui exécute des requêtes statistiques
 - il ne doit pas avoir accès aux données personnelles

13.3 COMMENT ÇA MARCHE



13.4 OBJECTIFS DE LA SECTION



Nous allons voir :

- comment écrire des règles de masquage simple
- les avantages et limitations du masquage dynamique
- le concept de « recoupement » d'une personne (*linkability*)

13.5 TABLE « COMPANY »



```
DROP TABLE IF EXISTS supplier CASCADE;  
DROP TABLE IF EXISTS company CASCADE;
```

```
CREATE TABLE company (  
    id SERIAL PRIMARY KEY,  
    name TEXT,  
    vat_id TEXT UNIQUE  
);
```

13.5.1 Quelques données



```
INSERT INTO company  
VALUES  
(952, 'Shadrach', 'FR62684255667'),  
(194, E'Johnny\'s Shoe Store', 'CHE670945644'),  
(346, 'Capitol Records', 'GB663829617823')  
;
```

```
SELECT * FROM company ;
```

id	name	vat_id
952	Shadrach	FR62684255667
194	Johnny's Shoe Store	CHE670945644
346	Capitol Records	GB663829617823

13.6 TABLE « SUPPLIER »



```
CREATE TABLE supplier (  
  id SERIAL PRIMARY KEY,  
  fk_company_id INT REFERENCES company(id),  
  contact TEXT,  
  phone TEXT,  
  job_title TEXT  
);
```

13.6.1 Quelques données



```
INSERT INTO supplier  
VALUES  
(299,194,'Johnny Ryall','597-500-569','CEO'),  
(157,346,'George Clinton','131-002-530','Sales manager')  
;
```

```
SELECT * FROM supplier;
```

id	fk_company_id	contact	phone	job_title
299	194	Johnny Ryall	597-500-569	CEO
157	346	George Clinton	131-002-530	Sales manager

13.7 ACTIVER L'EXTENSION



```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS anon CASCADE ;  
SELECT anon.init() ;
```

13.8 ACTIVER LE MASQUAGE DYNAMIQUE



```
ALTER DATABASE boutique
SET anon.transparent_dynamic_masking TO true ;
-- reconnexion nécessaire
```

13.9 RÔLE MASQUÉ



```
SECURITY LABEL FOR anon ON ROLE pierre IS 'MASKED' ;  
  
GRANT pg_read_all_data TO pierre;
```

— Attention : pas d'héritage du `SECURITY LABEL` !

Le rôle **pierre** devient « masqué », dans le sens où le super-utilisateur va pouvoir lui imposer un masque qui va changer sa vision des données.

En tant que Pierre, on essaie de lire la table des fournisseurs :

```
\c boutique pierre  
SELECT * FROM supplier;
```

id	fk_company_id	contact	phone	job_title
299	194	Johnny Ryall	597-500-569	CEO
157	346	George Clinton	131-002-530	Sales manager

Pour le moment, il n'y a pas de règle de masquage : Pierre peut voir les données originales dans chaque table.



PostgreSQL ne gère pas l'héritage des `SECURITY LABEL`. Il n'est donc pas possible de l'attribuer à un groupe. Il faut attribuer explicitement un `SECURITY LABEL` à **chaque rôle** concerné.

13.10 LISTER LES RÔLES MASQUÉS



```
SELECT pg_roles.rolname AS role,  
       pg_shseclabel.label,  
       pg_shseclabel.provider  
FROM pg_shseclabel  
JOIN pg_roles ON pg_shseclabel.objoid = pg_roles.oid;
```

Les rôles masqués peuvent être listés grâce à la requête ci-dessus :

role	label	provider
pierre	MASKED	anon

13.11 MASQUER LE NOM DES FOURNISSEURS



En tant que Paul, une règle de masquage se définit ainsi :

```
\c boutique paul
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN supplier.contact
IS 'MASKED WITH VALUE $$CONFIDENTIAL$$';
```

Pierre essaie de lire la table des fournisseurs :

```
\c boutique pierre
SELECT * FROM supplier ;
```

id	fk_company_id	contact	phone	job_title
299	194	CONFIDENTIAL	597-500-569	CEO
157	346	CONFIDENTIAL	131-002-530	Sales manager

Si Jack essaie de lire les vraies données, ce sont encore les bonnes :

```
\c boutique jack
SELECT * FROM supplier;
```

id	fk_company_id	contact	phone	job_title
299	194	Johnny Ryall	597-500-569	CEO
157	346	George Clinton	131-002-530	Sales manager

13.12 EXERCICES

Pour rappel, sauf précision contraire, toutes les commandes sont à exécuter en tant que **paul** (le propriétaire).

13.12.1 E201 - Deviner qui est le PDG de « Johnny's Shoe Store »

Masquer le nom du fournisseur n'est pas suffisant pour anonymiser les données.

Se connecter en tant que Pierre. Écrire une requête avec une jointure entre `supplier` et `company`, permettant ainsi de recouper certains fournisseurs en se basant sur leur poste et leur société.

Les noms des sociétés et les postes de travail sont disponibles dans de nombreux jeux de données publics. Une simple recherche sur LinkedIn ou Google révèle les noms des principaux dirigeants de la plupart des sociétés...



On nomme « recoupement » la possibilité de rapprocher plusieurs données concernant la même personne.

13.12.2 E202 - Anonymiser les sociétés

Nous devons donc anonymiser aussi la table `company`. Même si elle ne contient pas d'informations personnelles, certains champs peuvent être utilisés pour identifier certains de leurs employés...

Écrire deux règles de masquage pour la table `company`. \ La première doit remplacer le champ `nom` avec un faux nom. \ La seconde remplacer `vat_id` avec une suite aléatoire de dix caractères. \ NB : dans la documentation^a, consulter les générateurs de données factices^b et fonctions aléatoires^c (*faking functions*).

^a<https://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/>

^bhttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions#faking

^chttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions#randomization

Vérifier que Pierre ne peut pas voir les vraies données sur la société.

13.12.3 E203 - Pseudonymiser le nom des sociétés

À cause du masquage dynamique, les valeurs artificielles sont différentes **à chaque fois que Pierre lit la table**. Ce n'est pas toujours très pratique.

Pierre préfère appliquer tout le temps les mêmes valeurs artificielles pour une même société. Cela correspond à la « pseudonymisation ».



La **pseudonymisation** consiste à générer systématiquement les mêmes données artificielles pour un individu donné à la place de ses données réelles.

Écrire une nouvelle règle de masquage à partir du champ `name`, grâce à une fonction de pseudonymisation^a.

^ahttps://postgresql-anonymizer.readthedocs.io/en/stable/masking_functions#pseudonymization

13.13 SOLUTIONS

13.13.1 S201

Se connecter en tant que Pierre. Écrire une requête avec une jointure entre `supplier` et `company`, permettant ainsi de recouper certains fournisseurs en se basant sur leur poste et leur société.

```
\c boutique pierre
SELECT s.id, s.contact, s.job_title, c.name
FROM supplier s
JOIN company c ON s.fk_company_id = c.id ;
```

id	contact	job_title	name
299	CONFIDENTIAL	CEO	Johnny's Shoe Store
157	CONFIDENTIAL	Sales manager	Capitol Records

13.13.2 S202

Écrire deux règles de masquage pour la table `company`. La première doit remplacer le champ `nom` avec un faux nom. La seconde remplacer `vat_id` avec une suite aléatoire de dix caractères.

```
\c boutique paul
```

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN company.name
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.fake_company()';
```

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN company.vat_id
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.random_string(10)';
```

En tant que Paul, les données sont inchangées :

```
\c boutique paul
```

```
SELECT * FROM company;
```

id	name	vat_id
952	Shadrach	FR62684255667
194	Johnny's Shoe Store	CHE670945644
346	Capitol Records	GB663829617823

En tant que **pierre**, relire la table :

```
\c boutique pierre
```

```
SELECT * FROM company;
```

id	name	vat_id
952	Graham, Davis and Bauer	LYFVSI3WT5
194	Martinez-Smith	9N62K8M6JD
346	James, Rodriguez and Nelson	0HB200Z4Q3

À chaque lecture de la table, Pierre voit des données différentes :

```
SELECT * FROM company;
```

id	name	vat_id
952	Holt, Moreno and Richardson	KPAJP2Q4PK
194	Castillo Group	NVGHZ1K50Z
346	Mccarthy-Davis	GS3AHXBQTK

13.13.3 S203

Écrire une nouvelle règle de masquage à partir du champ `name`, grâce à une fonction de pseudonymisation.

```
\c boutique paul
```

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN company.name  
IS 'MASKED WITH FUNCTION anon.pseudo_company(id)';
```

Pour Pierre, les valeurs pseudonymisées resteront identiques entre deux appels (mais pas le code TVA):

```
\c boutique pierre
```

```
SELECT * FROM company;
```

id	name	vat_id
952	Wilkinson LLC	IKL88GJVT4
194	Johnson PLC	V00J6UKR6H
346	Young-Carpenter	DUR78F15VD

```
SELECT * FROM company;
```

id	name	vat_id
952	Wilkinson LLC	DIUAMTI653
194	Johnson PLC	UND2DQGL4S
346	Young-Carpenter	X6E0T023AK

14/ Sauvegardes anonymes

Dans beaucoup de situations, le besoin est simplement d'exporter les données anonymisées pour les importer dans une autre base de données, pour mener des tests ou produire des statistiques.

postgresql_anonymizer permet de générer des sauvegardes logiques anonymisées avec `pg_dump`.



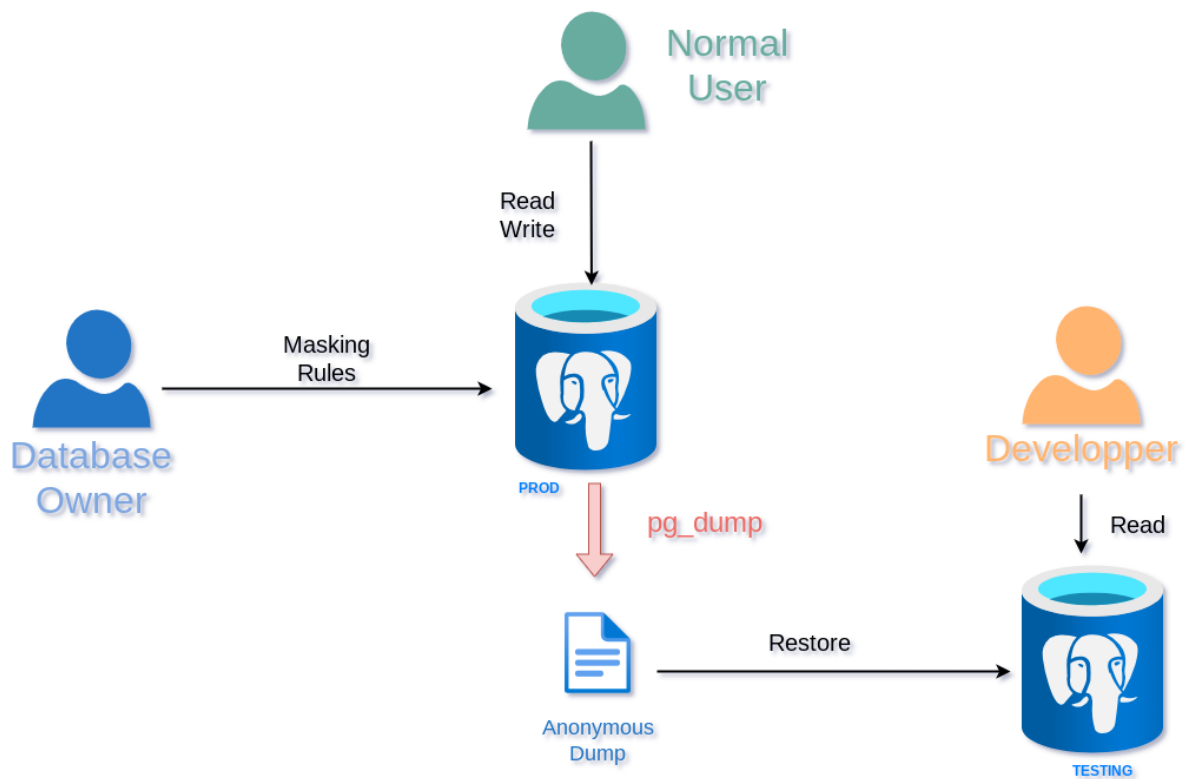
Les outils `pg_dump_anon.sh` et `pg_dump_anon` des versions 0.x ou 1.x de postgresql_anonymizer sont dépréciés. Modifiez vos scripts pour utiliser `pg_dump`.

14.1 L'HISTOIRE



- Paul a un site web qui dispose d'une section commentaires où les utilisateurs peuvent partager leurs points de vue.
- Paul a engagé un prestataire pour développer le nouveau design de son site web.
- Le prestataire lui demande un export de la base de données.
- Paul veut « nettoyer » le dump et y retirer toute information personnelle qui pourrait figurer dans la section commentaire.

14.2 COMMENT ÇA MARCHE ?



14.3 OBJECTIFS



- Extraire les données anonymisées de la base de données
- Écrire une fonction de masquage personnalisée pour gérer une colonne de type JSON

14.4 TABLE « WEBSITE_COMMENT »



```
\c boutique paul
```

```
DROP TABLE IF EXISTS website_comment CASCADE ;
```

```
CREATE TABLE website_comment (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  message jsonb
) ;
```

14.4.1 Quelques données



```
curl -kLs https://dali.bo/website_comment -o /tmp/website_comment.tsv
head /tmp/website_comment.tsv
```

```
1  {"meta": {"name": "Lee Perry", "ip_addr": "40.87.29.113"},
   ⇨ "content": "Hello Nasty!"}
2  {"meta": {"name": "", "email": "biz@bizmarkie.com"}, "content":
   ⇨ "Great Shop"}
3  {"meta": {"name": "Jimmy"}, "content": "Hi! This is me, Jimmy
   ⇨ James "}
```

```
\c boutique paul
```

```
\copy website_comment from '/tmp/website_comment.tsv'
```

```
SELECT jsonb_pretty(message)
FROM website_comment
ORDER BY id ASC
LIMIT 1 ;
```

```
      jsonb_pretty
-----
{
  "meta": {
    "name": "Lee Perry",
    "ip_addr": "40.87.29.113"
  },
  "content": "Hello Nasty!"
}
```

14.5 ACTIVER L'EXTENSION



```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS anon;  
SELECT anon.init();
```

14.6 MASQUER UNE COLONNE DE TYPE JSON



Généralement, les données non structurées sont difficiles à masquer...

```
SELECT message->'meta'->'name' AS name,
       message->'content' AS content
FROM website_comment
ORDER BY id ASC ;
```

La colonne `comment` contient beaucoup d'informations personnelles. Le fait de ne pas utiliser un schéma standard pour les commentaires rend ici la tâche plus complexe.

Comme on peut le voir, les visiteurs du site peuvent écrire toutes sortes d'informations dans la section « commentaire ». La meilleure option serait donc de supprimer entièrement la clé JSON car il est impossible d'y exclure les données sensibles.

Il est possible de nettoyer la colonne `comment` en supprimant la clé `content` :

```
SELECT (message - ARRAY['content']) AS website_comment
FROM website_comment
WHERE id=1 ;
```

```
----- website_comment -----
{"meta": {"name": "Lee Perry", "ip_addr": "40.87.29.113"}}
(1 ligne)
```

Ici, `ARRAY['content']` est un tableau (`ARRAY`) contenant une seule valeur, `content`. L'opérateur `-` est utilisé pour supprimer toutes les occurrences de `content` du tableau `message`.

14.6.1 Fonctions de masquage personnalisées



```
\c boutique paul
```

```
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS my_masks;

SECURITY LABEL FOR anon ON SCHEMA my_masks IS 'TRUSTED';

CREATE OR REPLACE FUNCTION my_masks.remove_content(j jsonb)
RETURNS jsonb
AS $func$
SELECT j - ARRAY['content']
$func$
LANGUAGE sql ;
```

— Super-utilisateurs seulement!

Créer en premier lieu un schéma dédié, ici **my_masks**, et le déclarer en **TRUSTED** (« de confiance »). Cela signifie que l'extension **anon** va considérer les fonctions de ce schéma comme des fonctions de masquage valides.



Seul un super-utilisateur devrait être capable d'ajouter des fonctions dans ce schéma !

Cette fonction de masquage se contente de supprimer du JSON le champ avec le message :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION my_masks.remove_content(j jsonb)
RETURNS jsonb
AS $func$
    SELECT j - ARRAY['content']
$func$
LANGUAGE sql ;
```

Exécuter la fonction :

```
SELECT my_masks.remove_content(message)
FROM website_comment ;

{"meta": {"name": "Lee Perry", "ip_addr": "40.87.29.113"}}
{"meta": {"name": "", "email": "biz@bizmarkie.com"}}
{"meta": {"name": "Jimmy"}}
```

La fonction va pouvoir ensuite être utilisée dans une règle de masquage.

14.6.2 Utilisation de la fonction de masquage personnalisée



```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN website_comment.message
IS 'MASKED WITH FUNCTION my_masks.remove_content(message)';
```

14.6.3 Sauvegarde anonymisée (1/2)



Créer un rôle dédié pour les exports anonymisés :

```
CREATE ROLE anon_dumper LOGIN ;

ALTER ROLE anon_dumper
SET anon.transparent_dynamic_masking TO TRUE;

SECURITY LABEL FOR anon ON ROLE anon_dumper IS 'MASKED';

GRANT pg_read_all_data TO anon_dumper;
```

Saisir le mot du passe de l'utilisateur `anon_dumper` :

```
\password anon_dumper
```

En tant qu'utilisateur système **postgres**, compléter le fichier **.pgpass** :

```
echo "*:*:boutique:anon_dumper:<mot_de_passe>" >> ~/.pgpass
```

Remplacer par le mot de passe au rôle `anon_dumper`

14.6.4 Sauvegarde anonymisée (2/2)



Depuis l'utilisateur système `postgres` :

```
pg_dump -U anon_dumper boutique --table=website_comment >  
↪ /tmp/anon_boutique.sql
```

On utilise l'outil habituel de sauvegarde `pg_dump` mais avec un rôle masqué.

Il est possible d'obtenir les données au format `plain` ou binaire.

14.7 EXERCICES

Pour rappel, sauf précision contraire, toutes les commandes sont à exécuter en tant que **paul** (le propriétaire).

14.7.1 E301 - Exporter les données anonymisées dans une nouvelle base de données

Créer une base de données nommée **boutique_anon**. Charger l'extension `anon` dans la base de données **boutique_anon**, et y insérer les données anonymisées provenant de la base de données **boutique**.

14.7.2 E302 - Pseudonymiser les métadonnées du commentaire

Pierre compte extraire des informations générales depuis les métadonnées. Par exemple, il souhaite calculer le nombre de visiteurs uniques sur la base des adresses IP des visiteurs, mais une adresse IP est un **identifiant indirect**.

Paul doit donc anonymiser cette colonne tout en conservant la possibilité de faire le lien entre les enregistrements provenant de la même adresse.

Remplacer la fonction `remove_content` par la fonction `clean_comment` (ci-dessous), qui :

- supprime la clé JSON `content` ;
- remplace la valeur dans la colonne `name` par un faux nom ;
- remplace l'adresse IP dans la colonne `ip_address` par sa somme de contrôle `md5` ;
- met à `NULL` la clé `email`.

```
\c boutique paul
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION my_masks.clean_comment(message jsonb)
RETURNS jsonb
VOLATILE
LANGUAGE SQL
AS $func$
SELECT
  jsonb_set(
    message,
    ARRAY['meta'],
    jsonb_build_object(
      'name', anon.fake_last_name(),
      'ip_address', md5((message->'meta'->'ip_addr')::TEXT),
      'email', NULL
    )
  ) - ARRAY['content'];
$func$;
```

14.8 SOLUTIONS

14.8.1 S301

Créer une base de données nommée **boutique_anon**. Charger l'extension `anon` dans la base de données **boutique_anon**, et y insérer les données anonymisées provenant de la base de données **boutique**.

```
dropdb -U paul --if-exists boutique_anon
createdb boutique_anon -U paul --owner paul

psql -U paul -d boutique_anon -c 'SELECT COUNT(*) FROM company'
```

count
3

Chargement de l'extension :

```
ALTER DATABASE boutique_anon
SET session_preload_libraries = 'anon';
\c boutique_anon
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS anon ;
SELECT anon.init() ;
```

Insertion des données anonymisées dans `boutique_anon` :

```
pg_dump -U anon_dumper -d boutique | psql --quiet -d boutique_anon
```

14.8.2 S302

Remplacer la fonction `remove_content` par la fonction `clean_comment` (ci-dessous), qui : - supprime la clé JSON `content` ; - remplace la valeur dans la colonne `name` par un faux nom ; - remplace l'adresse IP dans la colonne `ip_address` par sa somme de contrôle `md5` ; - met à `NULL` la clé `email`.

```
\c boutique_anon paul
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS my_masks ;

CREATE OR REPLACE FUNCTION my_masks.clean_comment(message jsonb)
RETURNS jsonb
VOLATILE
LANGUAGE SQL
AS $func$
SELECT
  jsonb_set(
    message,
    ARRAY['meta'],
    jsonb_build_object(
      'name', anon.fake_last_name(),
      'ip_address', md5((message->'meta'->'ip_addr')::TEXT),
      'email', NULL
    )
  )
```

```
    )  
  ) - ARRAY['content'];  
$func$;
```

Suite à l'utilisation de la fonction personnalisée `clean_comment`, les données n'ont plus rien à voir :

```
SELECT my_masks.clean_comment(message)  
FROM website_comment;
```

clean_comment

```
↪ -----  
{"meta": {"name": "Heller", "email": null, "ip_address":  
↪ "1d8cbcd5f988d55982af1536922ddcd1"}}  
{"meta": {"name": "Christiansen", "email": null, "ip_address": null}}  
{"meta": {"name": "Frami", "email": null, "ip_address": null}}  
(3 lignes)
```

On applique le masquage comme à l'habitude :

```
SECURITY LABEL FOR anon ON COLUMN website_comment.message  
IS 'MASKED WITH FUNCTION my_masks.clean_comment(message)';
```


15/ Vues de masquage

15.1 PRINCIPE



- Les vues de masquage permettent de modifier le type de données
- Similaire au masquage dynamique
- Très utiles pour mettre en place de la **généralisation**

15.1.1 Généralisation



- Flouter les données
- Par ex : 25 juillet 1989 $\Rightarrow$ années 1980

L'idée derrière la **généralisation** est de pouvoir flouter une donnée originale.

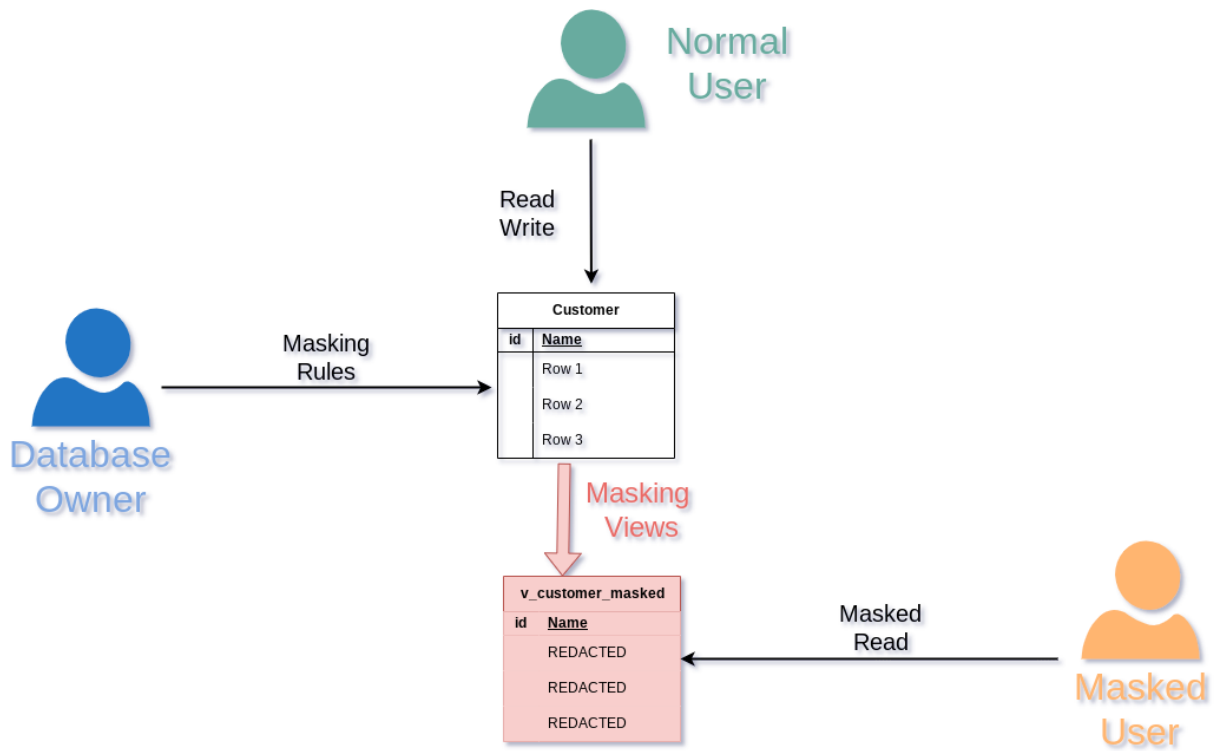
Par exemple, au lieu de dire « Monsieur X est né le 25 juillet 1989 », on peut dire « Monsieur X est né dans les années 1980 ». L'information reste vraie, bien que moins précise, et elle rend plus difficile l'identification de la personne.

15.2 L'HISTOIRE



- Paul a embauché des dizaines de salariés au fil du temps.
- Il conserve une trace sur la couleur de leurs cheveux, leurs tailles, et leurs conditions médicales.
- Paul souhaite extraire des statistiques depuis ces détails.
- Il fournit des vues **généralisées** à Pierre.

15.3 COMMENT ÇA MARCHE ?



15.4 OBJECTIFS



Nous allons voir :

- la différence entre le **masquage dynamique** et les **vues de masquage**
- un exemple de **généralisation**
- le concept de « *k*-anonymat »

15.5 TABLE « EMPLOYEE »



```
DROP TABLE IF EXISTS employee CASCADE;
CREATE TABLE employee (
  id INT PRIMARY KEY,
  full_name TEXT,
  first_day DATE, last_day DATE,
  height INT,
  hair TEXT, eyes TEXT, size TEXT,
  asthma BOOLEAN,
  CHECK(hair = ANY(ARRAY['bald', 'blond', 'dark', 'red'])),
  CHECK(eyes = ANY(ARRAY['blue', 'green', 'brown'])),
  CHECK(size = ANY(ARRAY['S', 'M', 'L', 'XL', 'XXL']))
);
```

— Légal?

Bien sûr, stocker les caractéristiques physiques d'employés est généralement illégal. Quoi qu'il en soit, il sera impératif de les masquer.

15.6 QUELQUES DONNÉES



```
curl -Ls https://dali.bo/employee -o /tmp/employee.tsv  
  
\c boutique paul  
\COPY employee FROM '/tmp/employee.tsv'
```

Ce fichier charge 16 lignes, dont :

```
SELECT full_name, first_day, hair, size, asthma  
FROM employee  
LIMIT 3 ;
```

full_name	first_day	hair	size	asthma
Luna Dickens	2018-07-22	blond	L	t
Paul Wolf	2020-01-15	bald	M	f
Rowan Hoeger	2018-12-01	dark	XXL	t

15.7 SUPPRESSION DE DONNÉES



Pierre peut trouver un lien entre asthme et yeux verts :

```
\c boutique paul
DROP MATERIALIZED VIEW IF EXISTS v_asthma_eyes ;

CREATE MATERIALIZED VIEW v_asthma_eyes AS
SELECT eyes, asthma
FROM employee ;
```

Paul souhaite savoir s'il y a une corrélation entre l'asthme et la couleur des yeux.

Il fournit à Pierre la vue ci-dessus, qui peut désormais écrire des requêtes sur cette vue :

```
SELECT *
FROM v_asthma_eyes
LIMIT 3;
```

eyes	asthma
blue	t
brown	f
blue	t

```
SELECT
  eyes,
  100*COUNT(1) FILTER (WHERE asthma) / COUNT(1) AS asthma_rate
FROM v_asthma_eyes
GROUP BY eyes ;
```

eyes	asthma_rate
green	100
brown	37
blue	33

Paul vient de prouver que l'asthme est favorisé par les yeux verts, et surtout de trouver une corrélation entre deux champs.

15.8 CALCULER LE K-ANONYMAT



- Les colonnes `asthma` et `eyes` sont considérés comme des identifiants indirects.

```
\c boutique paul
SECURITY LABEL FOR k_anonymity ON COLUMN v_asthma_eyes.eyes
IS 'INDIRECT IDENTIFIER';

SECURITY LABEL FOR k_anonymity ON COLUMN v_asthma_eyes.asthma
IS 'INDIRECT IDENTIFIER';

SELECT anon.k_anonymity('v_asthma_eyes');
```

```
SELECT anon.k_anonymity('v_asthma_eyes');
```

```
k_anonymity
-----
2
```

La vue `v_asthma_eyes` a le niveau « 2-anonymity ». Cela signifie que chaque combinaison de quasi-identifiants (`eyes` - `asthma`) apparaît au moins 2 fois dans le jeu de données.

En d'autres termes, cela veut dire qu'un individu ne peut pas être distingué d'au moins un autre individu ($k-1$) dans cette vue.

Pour les détails sur le K-anonymat, voir cet article sur Wikipédia¹.



Le fournisseur est ici `k-anonymity` et plus `anon` !

¹<https://en.wikipedia.org/wiki/K-anonymity>

15.9 FONCTIONS D'INTERVALLE ET DE GÉNÉRALISATION



```
\c boutique paul
DROP MATERIALIZED VIEW IF EXISTS v_staff_per_month ;

CREATE MATERIALIZED VIEW v_staff_per_month AS
SELECT
    anon.generalize_daterange(first_day,'month') AS first_day,
    anon.generalize_daterange(last_day, 'month') AS last_day
FROM employee ;

GRANT SELECT ON v_staff_per_month TO pierre ;
```

```
\c boutique pierre
SELECT *
FROM v_staff_per_month
LIMIT 3;
```

first_day	last_day
[2018-07-01,2018-08-01)	[2018-12-01,2019-01-01)
[2020-01-01,2020-02-01)	(,)
[2018-12-01,2019-01-01)	[2018-12-01,2019-01-01)

Pierre peut écrire une requête pour trouver le nombre d'employés embauchés en novembre 2021 :

```
SELECT COUNT(1)
  FILTER (
    WHERE make_date(2019,11,1)
      BETWEEN lower(first_day)
      AND COALESCE(upper(last_day),now())
  )
FROM v_staff_per_month ;
```

```
count
-----
4
```

15.9.1 Déclarer les identifiants indirects



Calculer le facteur de k -anonymat de cette vue :

```
\c boutique paul
SECURITY LABEL FOR k_anonymity ON COLUMN v_staff_per_month.first_day
IS 'INDIRECT IDENTIFIER';
SECURITY LABEL FOR k_anonymity ON COLUMN v_staff_per_month.last_day
IS 'INDIRECT IDENTIFIER';

SELECT anon.k_anonymity('v_staff_per_month');
```

Dans ce cas, le résultat est 1, ce qui veut dire qu'au moins une personne peut être directement identifiée par les dates de ses premier et dernier jour en poste.

Dans ce cas, la généralisation est insuffisante.

15.10 EXERCICES

15.10.1 E401 - Simplifier la vue `v_staff_per_month` pour en réduire la granularité.

Généraliser les dates en mois n'est pas suffisant. > Écrire une autre vue > `v_staff_per_year` qui va généraliser les dates en années. > Simplifier également la vue en utilisant un intervalle de `int` pour stocker > l'année, plutôt qu'un intervalle de `date`.

15.10.2 E402 - Progression du personnel au fil des années

Combien de personnes ont travaillé pour Paul chaque année entre 2018 et 2021 ?

15.10.3 E403 - Atteindre le facteur 2-*anonymity* sur la vue `v_staff_per_year`

Quel est le facteur k -anonymat de la vue `v_staff_per_year` ?

15.11 SOLUTIONS

15.11.1 S401

Écrire une autre vue `v_staff_per_year` qui va généraliser les dates en années. Simplifier également la vue en utilisant un intervalle de `int` pour stocker l'année, plutôt qu'un intervalle de `date`.

Cette vue généralise les dates en années :

```
\c boutique paul
DROP MATERIALIZED VIEW IF EXISTS v_staff_per_year;
CREATE MATERIALIZED VIEW v_staff_per_year AS
SELECT
    int4range(
        extract(year from first_day)::INT,
        extract(year from last_day)::INT,
        '[]' -- include upper bound
    ) AS period
FROM employee;

SELECT *
FROM v_staff_per_year
LIMIT 3;

    period
-----
[2018,2019)
[2020,)
[2018,2019)
```

15.11.2 S402

Combien de personnes ont travaillé pour Paul chaque année entre 2018 et 2021 ?

Les personnes ayant travaillé pour Paul entre 2018 et 2021 sont :

```
SELECT
    year,
    COUNT(1) FILTER (
        WHERE year <@ period
    )
FROM
    generate_series(2018,2021) year,
    v_staff_per_year
GROUP BY year
ORDER BY year ASC;
```

year	count
2018	4
2019	6
2020	9
2021	10

15.11.3 S403

Quel est le facteur *k*-anonymat de la vue `v_staff_per_year`?

Le *k*-anonymat de cette vue est meilleur :

```
SECURITY LABEL FOR k_anonymity ON COLUMN v_staff_per_year.period
IS 'INDIRECT IDENTIFIER';
```

```
SELECT anon.k_anonymity('v_staff_per_year');
```

```
k_anonymity
-----
2
```

16/ Conclusion sur postgresql_anonymizer

16.1 BEAUCOUP DE STRATÉGIES DE MASQUAGE



- Masquage statique¹ : parfait pour une anonymisation « une fois pour toute »
- Masquage dynamique² : utile pour masquer des informations à certains utilisateurs
- Sauvegardes anonymisées³ : peuvent être utilisées dans des traitement CI/CD
- Vues de masquage⁴ : adaptées aux statistiques et à l'analyse de données

16.2 BEAUCOUP DE FONCTIONS DE MASQUAGE



- Destruction partielle ou totale
- Ajout de bruit
- Randomisation
- Falsification et falsification avancée
- Pseudonymisation
- Hachage générique
- Masquage personnalisé

RTFM -> Fonctions de masquage⁵

16.3 AVANTAGES



- Règles de masquage en SQL
- Règles de masquage stockées dans le schéma de la base
- Pas besoin d'un ETL
- Fonctionne avec toutes les versions actuelles de PostgreSQL
- Multiples stratégies, multiples fonctions.

16.4 LIMITES



- Ne fonctionne pas avec d'autres SGBD (comme le nom l'indique)
- Peu de retour d'expérience sur de gros volumes (> 10 To)

16.5 ÉCHANTILLONAGE



- En complément du masquage, il est souvent intéressant de travailler uniquement sur un sous-ensemble des données, plutôt que la base entière.
- `pg_sample`⁶ permet d'extraire un petit jeu de données d'une base de données volumineuse en conservant l'intégrité référentielle.

16.6 CONTRIBUEZ!



C'est un projet libre !

https://labs.dalibo.com/postgresql_anonymizer

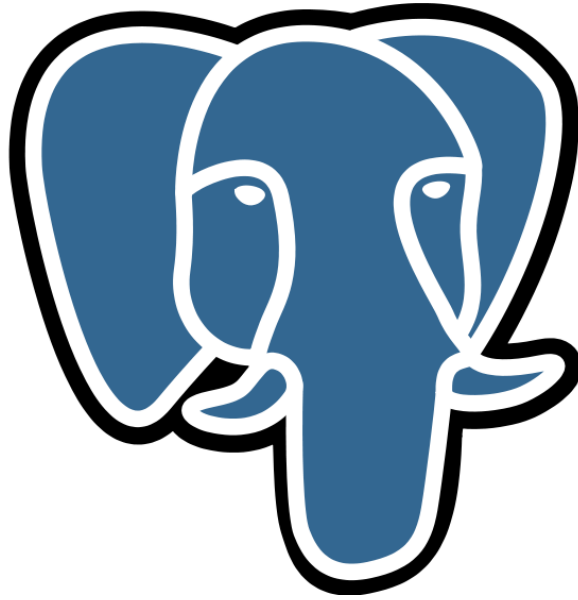
Merci de vos retours sur la manière dont vous l'utilisez, comment il répond ou non à vos attentes, etc.

16.7 QUESTIONS



N'hésitez pas, c'est le moment !

17/ Pooling



17.1 AU MENU



- Concepts
- Pool de connexion avec PgBouncer

Ce module permet d'aborder le *pooling*.

Ce qui suit ne portera que sur un unique serveur, et n'aborde pas le sujet de la répartition de charge.

Nous étudierons principalement un logiciel : PgBouncer.

17.1.1 Objectifs



- Savoir ce qu'est un pool de connexion ?
- Avantage, inconvénients & limites
- Savoir mettre en place un pooler de connexion avec PgBouncer

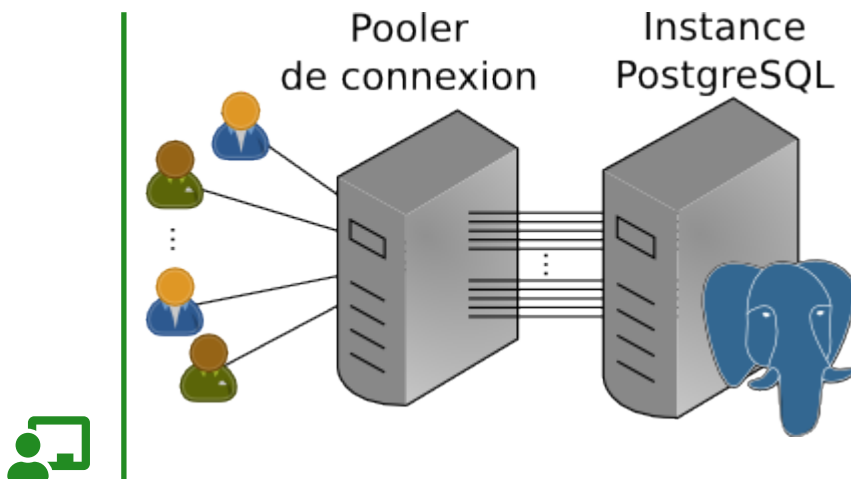
17.2 POOL DE CONNEXION



— Qu'est-ce qu'un pool de connexion ? Pourquoi ?

Dans cette partie, nous allons étudier la théorie des poolers de connexion. La partie suivante sera la mise en pratique avec l'outil PgBouncer.

17.2.1 Serveur de pool de connexions



17.2.2 Serveur de pool de connexions



- S'intercale entre le SGBD et les clients
- Maintient des connexions ouvertes avec le SGBD
- Distribue aux clients ses connexions au SGBD
- Attribue une connexion existante au SGBD dans ces conditions
 - même rôle
 - même base de données
- Différents poolers :
 - intégrés aux applicatifs
 - service séparé (où ?)

Un serveur de pool de connexions s'intercale entre les clients et le système de gestion de bases de données. Les clients ne se connectent plus directement sur le SGBD pour accéder aux bases. Ils passent

par le pooler qui se fait passer pour le serveur de bases de données. Le pooler maintient alors des connexions vers le SGBD et en gère lui-même l'attribution aux utilisateurs.

Chaque connexion au SGBD est définie par deux paramètres : le rôle de connexion et la base de données. Ainsi, une connexion maintenue par le pooler ne sera attribuée à un utilisateur que si ce couple rôle/base de données est le même.

Les conditions de création de connexions au SGBD sont donc définies dans la configuration du pooler.

Un pooler peut se présenter sous différentes formes :

- comme **brique logicielle** incorporée dans le code applicatif sur les serveurs d'applications (fourni par Hibernate ou Apache Tomcat, par exemple) ;
- comme **service** séparé, démarré sur un serveur et écoutant sur un port donné, où les clients se connecteront pour accéder à la base de données voulue (exemples : PgBouncer, pgPool)

Nous nous consacrons dans ce module aux pools de connexions accessibles à travers un service.

Noter qu'il ne faut pas confondre un pooler avec un outil de répartition de charge (même si un pooler peut également permettre la répartition de charge, comme PgPool).

L'emplacement d'un pooler se décide au cas par cas selon l'architecture. Il peut se trouver intégré à l'application, et lui être dédié, ce qui garantit une latence faible entre pooler et application. Il peut être centralisé sur le serveur de bases de données et servir plusieurs applications, voire se trouver sur une troisième machine. Il faut aussi réfléchir à ce qui se passera en cas de bascule entre deux instances.

17.2.3 Intérêts du pool de connexions



- Évite le coût de connexion
 - ...et de déconnexion
- Optimise l'utilisation des ressources du SGBD
- Contrôle les connexions, peut les rediriger
- Évite des déconnexions
 - redémarrage (mise à jour, bascule)
 - saturations temporaires des connexions sur l'instance

Le maintien des connexions entre le pooler et le SGBD apporte un gain non négligeable lors de l'établissement des connexions. Effectivement, pour chaque nouvelle connexion à PostgreSQL, nous avons :

- la création d'un nouveau processus ;
- l'allocation des ressources mémoires utiles à la session ;
- le positionnement des paramètres de session de l'utilisateur.

Tout ceci engendre une consommation du processeur.

Ce travail peut durer plusieurs dizaines, voire centaines de millisecondes. Cette latence induite peut alors devenir un réel goulot d'étranglement dans certains contextes. Or, une connexion déjà active maintenue dans un pool peut être attribuée à une nouvelle session immédiatement : cette latence est donc *de facto* fortement limitée par le pooler.

En fonction du mode de fonctionnement, de la configuration et du type de pooler choisi, sa transparence vis-à-vis de l'application et son impact sur les performances seront différents.

Cette position privilégiée entre les utilisateurs et le SGBD permet au pooler de contrôler et centraliser les connexions vers le ou les SGBD. Les applications peuvent pointer toutes vers le pooler, alors que les SGBD peuvent être situés n'importe où, voire sur plusieurs serveurs différents. Le pooler peut aiguiller les connexions vers un serveur différent en fonction de la base de données demandée. Certains poolers peuvent détecter une panne d'un serveur et aiguiller vers un autre. En cas de *switchover*, *failover*, évolution ou déplacement du SGBD, il peut suffire de reconfigurer le pooler.

Enfin, un pooler peut protéger la base d'une charge excessive. Si plus aucune connexion n'est disponible et que le pooler ne peut pas en créer de nouvelle, il va mettre en attente les nouvelles connexions. L'application attend donc que la place se libère mais ne se verra pas refuser la connexion. (On pourrait aussi modifier PostgreSQL avec les paramètres `max_connections` ou ordre `ALTER DATABASE ... CONNECTION LIMIT 30`, mais l'application ne sait pas forcément gérer proprement un refus de connexion.) L'application peut toutefois tomber une erreur si elle possède un *timeout* qui est dépassé.

Pour la base de données, le pooler est une application comme une autre, qui se connecte avec un utilisateur à une base, et dont la session dure longtemps. Si la configuration le permet (`pg_hba.conf`), il est possible de se connecter à une instance aussi bien via le pooler que directement selon l'utilisation. Par exemple, les serveurs web à la charge très variable vont passer par les poolers, et les batchs et les commandes d'administration accéderont directement à la base.

17.2.4 Inconvénients du pool de connexions



- Transparence suivant le mode :
 - par sessions
 - par transactions
 - par requêtes
- Performances, si mal configuré
 - latence
 - bridage de la base
- Point délicat : l'authentification !
- Complexité
- SPOF potentiel
- Impact sur les fonctionnalités, selon le mode

Les fonctionnalités de PostgreSQL utilisables au travers d'un pooler varient suivant son mode de fonc-

tionnement du pooler (par requêtes, transactions ou sessions). Nous verrons que plus la mutualisation est importante, plus les restrictions apparaissent.

Un pooler est un élément en plus entre l'application et vos données, donc il aura un coût en performances. Il ajoute notamment une certaine latence. Il peut lui-même saturer (mais on peut utiliser plusieurs poolers.) On n'introduit donc pas un pooler sans avoir identifié un problème. Si la configuration est bien faite, cet impact est normalement négligeable, ou en tout cas sera compensé par des gains au niveau de la base de données, ou en administration.

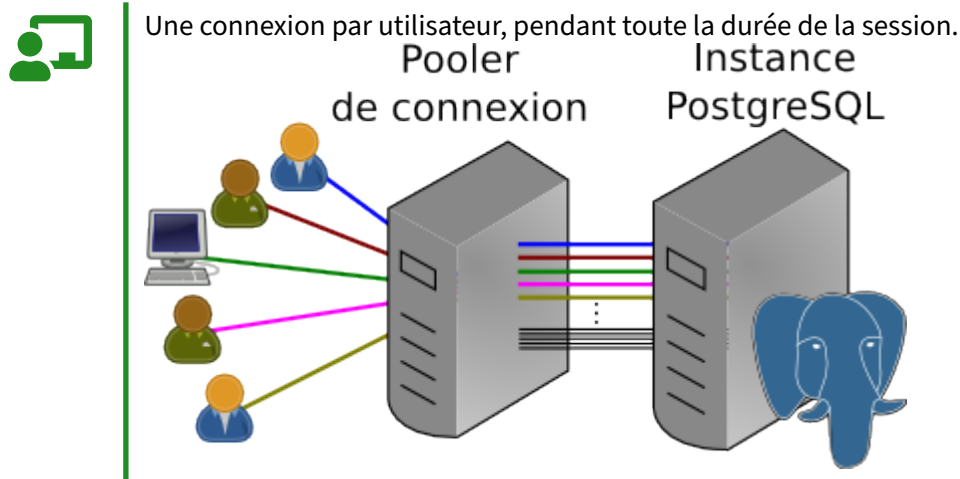
Attention, la limitation du nombre de connexions protège la base d'une charge excessive, mais, trop prudente, elle peut devenir un souci : elle bride alors PostgreSQL, qui pourrait accueillir plus de sessions.

Comme dans tout système de proxy, un des points délicats de la configuration est l'authentification, avec certaines restrictions.

Un pooler est un élément en plus dans votre architecture. Il la rend donc plus complexe et y ajoute ses propres besoins en administration, en supervision et ses propres modes de défaillance. Si vous faites passer toutes vos connexions par un pooler, celui-ci devient un nouveau point de défaillance possible (SPOF). Une redondance est bien sûr possible, mais complique à nouveau les choses.

17.3 POOLING DE SESSIONS

17.3.1 Pooling de sessions : principe



Un pool de connexion par session attribue une connexion au SGBD à un unique utilisateur pendant toute la durée de sa session. Si aucune connexion à PostgreSQL n'est disponible, une nouvelle connexion est alors créée, dans la limite exprimée dans la configuration du pooler. Si cette limite est atteinte, la session est mise en attente ou une erreur est levée.

17.3.2 Intérêts du pooling de sessions



- Avantages :
 - limite le temps d'établissement des connexions
 - mise en attente si trop de sessions
 - simple
 - transparent pour les applications
- Inconvénients :
 - périodes de non-activité des sessions conservées
 - nombre de sessions actives au pooler égal au nombre de connexions actives au SGBD

L'intérêt d'un pool de connexion en mode session est principalement de conserver les connexions ouvertes vers le SGBD. On économise ainsi le temps d'établissement de la connexion pour les nouvelles sessions entrantes si une connexion est déjà disponible. Dans ce cas, le pooler permet d'avoir un comportement de type *pre-fork* côté SGBD.

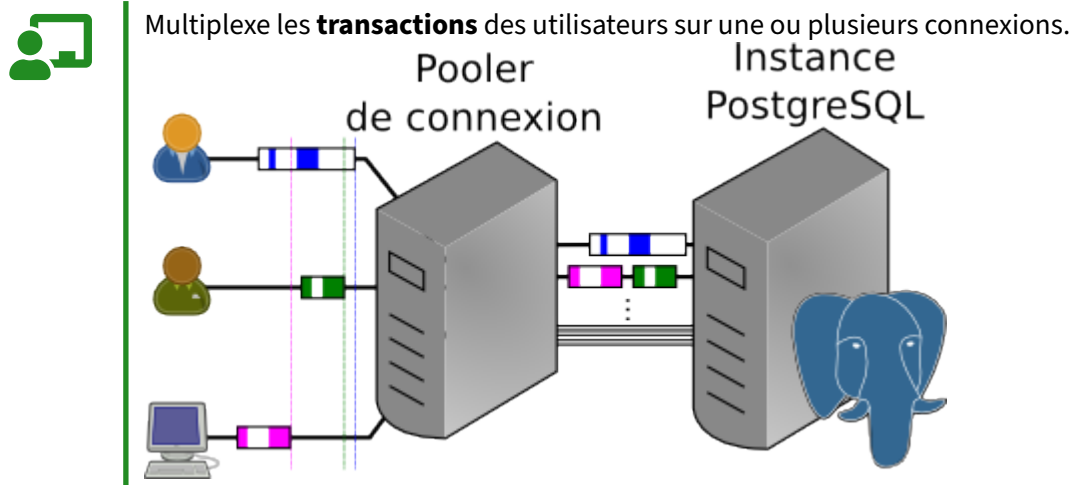
L'autre intérêt est de ne pas rejeter une connexion, même s'il n'y a plus de connexions possibles au SGBD. Contrairement au comportement de PostgreSQL, les connexions sont placées en attente si elles ne peuvent pas être satisfaites immédiatement.

Ce mode de fonctionnement est très simple et robuste, c'est le plus transparent vis-à-vis des sessions clientes, avec un impact quasi nul sur le code applicatif.

Aucune optimisation du temps de travail côté SGBD n'est donc possible. S'il peut être intéressant de limiter le nombre de sessions ouvertes sur le pooler, il sera en revanche impossible d'avoir plus de sessions ouvertes sur le pooler que de connexions disponibles sur le SGBD.

17.4 POOLING DE TRANSACTIONS

17.4.1 Pooling de transactions : principe



Dans le schéma présenté ici, chaque bloc représente une transaction délimitée par une instruction `BEGIN`, suivie plus tard d'un `COMMIT` ou d'un `ROLLBACK`. Chaque zone colorée représente une requête au sein de la transaction.

Un pool de connexions par transactions multiplexe les transactions des utilisateurs entre une ou plusieurs connexions au SGBD. Une transaction est débutée sur la première connexion à la base qui soit inactive (`idle`). Toutes les requêtes d'une transaction sont envoyées sur la même connexion.

Ce schéma suppose que le pool accorde la première connexion disponible en partant du haut dans l'ordre où les transactions se présentent.

17.4.2 Avantages & inconvénients du pooling de transactions

- 
- Avantages
 - mêmes avantages que le pooling de sessions
 - meilleure utilisation du temps de travail des connexions
 - les connexions sont utilisées par une ou plusieurs sessions
 - plus de sessions possibles côté pooler pour moins de connexions au SGBD
 - Inconvénients
 - prise en charge partielle des instructions préparées
 - période de non-activité des sessions toujours possible

Les intérêts d'un pool de connexion en mode transaction sont multiples en plus de cumuler ceux d'un

pool de connexion par session.

Il est désormais possible de partager une même connexion au SGBD entre plusieurs sessions utilisateurs. En effet, il existe de nombreux contextes où une session a un taux d'occupation relativement faible : requêtes très simples et exécutées très rapidement, génération des requêtes globalement plus lente que la base de données, couche applicative avec des temps de traitement des données reçues plus importants que l'exécution côté SGBD, etc.

Avoir la capacité de multiplexer les transactions de plusieurs sessions entre plusieurs connexions permet ainsi de limiter le nombre de connexions à la base en optimisant leur taux d'occupation. Cette économie de connexions côté PostgreSQL a plusieurs avantages :

- moins de connexions à gérer par le serveur, qui est donc plus disponible pour les connexions actives;
- moins de connexions, donc économie de mémoire, devenue disponible pour les requêtes;
- possibilité d'avoir un plus grand nombre de clients connectés côté pooler sans pour autant atteindre un nombre critique de connexions côté SGBD.

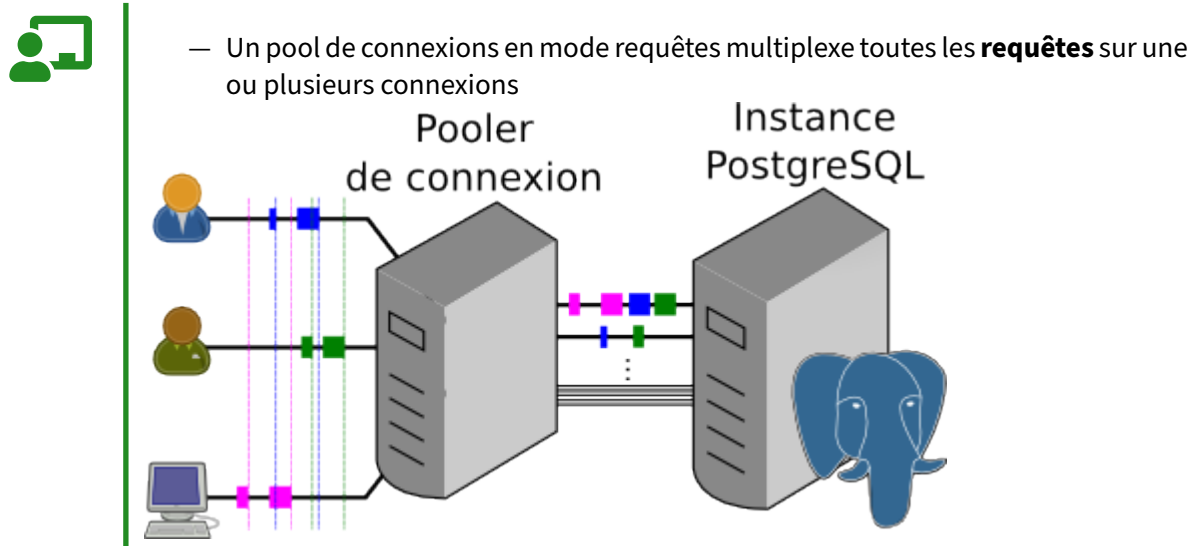
En revanche, avec ce mode de fonctionnement, le pool de connexions n'assure pas aux clients connectés que leurs requêtes et transactions iront toujours vers la même connexion, bien au contraire ! Ainsi, si l'application utilise des requêtes préparées (c'est-à-dire en trois phases `PREPARE`, `BIND`, `EXECUTE`), la commande `PREPARE` pourrait être envoyée sur une connexion alors que les commandes `EXECUTE` pourraient être dirigées vers d'autres connexions, menant leur exécution tout droit à une erreur.

Seules les requêtes au sein d'une même transaction sont assurées d'être exécutées sur la même connexion. Ainsi, au début de cette transaction, la connexion est alors réservée exclusivement à l'utilisateur propriétaire de la transaction. Donc si le client prend son temps entre les différentes étapes d'une transaction (statut `idle in transaction` pour PostgreSQL), il monopolisera la connexion sans que les autres clients puissent en profiter.

Ce type de pool de connexion a donc un impact non négligeable à prendre en compte lors du développement.

17.5 POOLING DE REQUÊTES

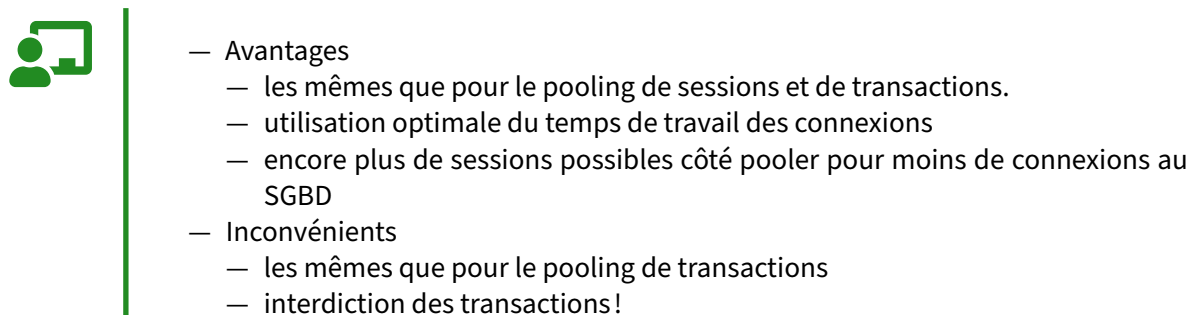
17.5.1 Pooling de requêtes : principe



Un pool de connexions par requêtes multiplexe les requêtes des utilisateurs entre une ou plusieurs connexions au SGBD.

Dans le schéma présenté ici, chaque bloc coloré représente une requête. Elles sont placées exactement aux mêmes instants que dans le schéma présentant le pool de connexion en mode transactions.

17.5.2 Avantages & inconvénients du pooling de requêtes



Les intérêts d'un pool de connexions en mode requêtes sont les mêmes que pour un pool de connexion en mode de transactions. Cependant, dans ce mode, toutes les requêtes des clients sont multiplexées à travers les différentes connexions disponibles et inactives.

Ainsi, il est désormais possible d'optimiser encore plus le temps de travail des connexions au SGBD, supprimant la possibilité de bloquer une connexion dans un état `idle in transaction`. Nous sommes alors capables de partager une même connexion avec encore plus de clients, augmentant ainsi le nombre de sessions disponibles sur le pool de connexions tout en conservant un nombre limité de connexions côté SGBD.

En revanche, si les avantages sont les mêmes que ceux d'un pooler de connexion en mode transactions, les limitations sont elles aussi plus importantes. Il n'est effectivement plus possible d'utiliser des transactions, en plus des requêtes préparées!

En pratique, le pooling par requête sert à interdire totalement les transactions. En effet, un pooling par transaction n'utilisant que des transactions implicites (d'un seul ordre) parviendra au même résultat.

17.6 POOLING AVEC PGBOUNCER



— Le plus évolué et éprouvé pour le *pooling*

PgBouncer¹ est un projet créé par Skype. Il a pour objectifs :

- de n'agir qu'en tant que pool de connexion;
- d'être le plus léger possible;
- d'avoir les meilleures performances possibles;
- d'avoir le plus de fonctionnalités possible sur son cœur de métier.

Noter que deux projets sous licence BSD sont fréquemment cités pour mettre en œuvre un pool de connexion : PgBouncer et PgPool-II.

PgPool-II² est le projet le plus ancien, développé et maintenu principalement par SRA OSS³. Ce projet est un véritable couteau suisse capable d'effectuer bien plus que du pooling (répartition de charge au niveau SQL, bascules...). Malheureusement, cette polyvalence a un coût important en complexité, stabilité et limitations diverses. PgPool n'est notamment pas capable de travailler qu'en tant que pool de connexion par session.

PgBouncer étant le plus évolué des deux en ce qui concerne le pooling, nous allons le mettre en œuvre dans les pages suivantes.

17.6.1 PgBouncer : Fonctionnalités



- Techniquement : un démon
- Disponible sous Unix & Windows
- Modes sessions / transactions / requêtes
- Prise en charge partielle des requêtes préparées
- Redirection vers des serveurs et/ou bases différents
- Mise en attente si plus de connexions disponibles
- Mise en pause des connexions
- Paramétrage avancé des sessions clientes et des connexions aux bases
- Mise à jour sans couper les sessions existantes
- Supervision depuis une base virtuelle de maintenance
- Pas de répartition de charge

PgBouncer est techniquement assez simple : il s'agit d'un simple démon, auxquelles les applicatifs se connectent (en croyant avoir affaire à PostgreSQL), et qui retransmet requêtes et données.

¹<https://www.pgbouncer.org/>

²<https://www.pgpool.net/>

³https://www.sraoss.co.jp/index_en.php

PgBouncer dispose de nombreuses fonctionnalités, toutes liées au pooling de connexions. La majorité de ces fonctionnalités ne sont pas disponibles avec PgPool.

À l'inverse de ce dernier, PgBouncer n'offre pas de répartition de charge. Ses créateurs renvoient vers des outils au niveau TCP comme HAProxy. De même, pour les bascules d'un serveur à l'autre, ils conseillent plutôt de s'appuyer sur le niveau DNS.

Ce qui suit n'est qu'un extrait de la documentation de référence, assez courte : <https://www.pgouncer.org/config.html>. La FAQ⁴ est également à lire.

17.6.2 PgBouncer : Installation



- Packages PDGD pour Red Hat, Rocky, etc.
 - utilisateur `pgbouncer`
 - # Red Hat, Rocky, Alma...*
 - `dnf install pgbouncer`
- Packages PGDG
 - utilisateur `postgres`
 - # Debian, Ubuntu*
 - `apt install pgbouncer`

PgBouncer est disponible sous la forme d'un paquet binaire sur les principales distributions Linux et les dépôts du PGDG.

Il y a quelques différences mineures d'emballage : sous Red Hat/CentOS/Rocky Linux, le processus tourne avec un utilisateur système **pgbouncer** dédié, alors que sur Debian et dérivées, il fonctionne sous l'utilisateur **postgres**.

Il est bien sûr possible de recompiler depuis les sources.

Sous Windows, le projet fournit une archive⁵ à décompresser.

17.6.3 PgBouncer : Fichier de configuration



- Format `ini`
- Un paramètre par ligne
- Aucune unité dans les valeurs
- Tous les temps sont exprimés en seconde
- Sections : `[databases]`, `[users]`, `[pgbouncer]`

⁴<https://www.pgouncer.org/faq.html>

⁵<https://github.com/pgbouncer/pgbouncer/releases/>

Les paquets binaires créent un fichier de configuration `/etc/pgbouncer/pgbouncer.ini`.

Une ligne de configuration concerne un seul paramètre, avec le format suivant :

`parametre = valeur`

PgBouncer n'accepte pas que l'utilisateur spécifie une unité pour les valeurs. L'unité prise en compte par défaut est la seconde.

Il y a plusieurs sections :

- les bases de données (`[databases]`), où on spécifie pour chaque base la chaîne de connexion à utiliser;
- les utilisateurs (`[users]`), pour des propriétés liées aux utilisateurs;
- le moteur (`[pgbouncer]`), où se fait tout le reste de la configuration de PgBouncer.

17.6.4 PgBouncer : Connexions



- TCP/IP
 - `listen_addr` : adresses
 - `listen_port` (6432)
- Socket Unix (`unix_socket_dir`, `unix_socket_mode`, `unix_socket_group`)
- Chiffrement TLS

PgBouncer accepte les connexions en mode socket Unix et via TCP/IP. Les paramètres disponibles ressemblent beaucoup à ce que PostgreSQL propose.

`listen_addr` correspond aux interfaces réseau sur lesquels PgBouncer va écouter. Il est par défaut configuré à la boucle locale, mais vous pouvez ajouter les autres interfaces disponibles, ou tout simplement une étoile pour écouter sur toutes les interfaces. `listen_port` précise le port de connexion : traditionnellement, c'est 6432, mais on peut le changer, par exemple à 5432 pour que la configuration de connexion des clients reste identique.



Si PostgreSQL se trouve sur le même serveur et que vous voulez utiliser le port 5432 pour PgBouncer, il faudra bien sûr changer le port de connexion de PostgreSQL.

Pour une connexion uniquement en local par la socket Unix, il est possible d'indiquer où le fichier socket doit être créé (paramètre `unix_socket_dir` : `/tmp` sur Red Hat/CentOS, `/var/run/postgresql` sur Debian et dérivés), quel groupe doit lui être affecté (`unix_socket_group`) et les droits du fichier (`unix_socket_mode`). Si un groupe est indiqué, il est nécessaire que l'utilisateur détenteur du processus `pgbouncer` soit membre de ce groupe.

Cela est pris en compte par les paquets binaires d'installation.

PgBouncer supporte également le chiffrement TLS.

17.6.5 PgBouncer : Définition des accès aux bases



- Section `[databases]`
- Une ligne par base sous la forme libpq :

```
data1 = host=localhost port=5433 dbname=data1 pool_size=50
```

- Paramètres de connexion :
 - `host`, `port`, `dbname`, `user`, `password`
 - `pool_size`, `pool_mode`, `connect_query`
 - `client_encoding`, `datestyle`, `timezone` ...
- Base par défaut :


```
+ = host=ip1 port=5432 dbname=data0
```
- `auth_hba_file` : équivalent à `pg_hba.conf`

Lorsque l'utilisateur cherche à se connecter à PostgreSQL, il va indiquer l'adresse IP du serveur où est installé PgBouncer et le numéro de port où écoute PgBouncer. Il va aussi indiquer d'autres informations comme la base qu'il veut utiliser, le nom d'utilisateur pour la connexion, son mot de passe, etc.

Lorsque PgBouncer reçoit cette requête de connexion, il extrait le nom de la base et va chercher dans la section `[databases]` si cette base de données est indiquée. Si oui, il remplacera tous les paramètres de connexion qu'il trouve dans son fichier de configuration et établira la connexion entre ce client et cette base. Si jamais la base n'est pas indiquée, il cherchera s'il existe une base de connexion par défaut (nom indiqué par une étoile) et l'utilisera dans ce cas.

Exemples de chaîne de connexion :

```
prod = host=p1 port=5432 dbname=erp pool_size=40 pool_mode=transaction
prod = host=p1 port=5432 dbname=erp pool_size=10 pool_mode=session
```

Il est donc possible de faire beaucoup de chose :

- n'accéder qu'à un serveur dont les bases sont décrites;
- accéder à différents serveurs PostgreSQL depuis un même serveur de pooling, suivant le nom de la base ou de l'utilisateur;
- remplacer l'utilisateur de connexion par celui défini par `user` ;
- etc.

Néanmoins, les variables `user` et `password` sont très peu utilisées.



La chaîne de connexion est du type libpq mais tout ce qu'accepte la libpq n'est pas forcément accepté par PgBouncer (notamment pas de variable service, pas de possibilité d'utiliser directement le fichier standard `.pgpass`).

Le paramètre `auth_hba_file` peut pointer vers un fichier de même format que `pg_hba.conf` pour filtrer les accès au niveau du pooler (en plus des bases).

17.6.6 PgBouncer : Définition par utilisateurs



- Section `[users]`
- Paramètres spécifiques
- `pool_size`, `max_user_connections`

La section `[users]` peut rester vide. On peut surcharger notamment les paramètres suivants si définis sur la base ou par défaut :

- `pool_mode` ;
- `pool_size` (version 1.23) : taille maximum des pools de toutes les bases pour un utilisateur donné ;
- `max_user_connections` : nombre maximum de connexions au niveau serveur pour un utilisateur donné, toutes bases confondues.

17.6.7 PgBouncer : Authentification par fichier de mots de passe



- Liste des utilisateurs contenue dans `userlist.txt`
- Contenu de ce fichier
 - `"utilisateur" "mot de passe"`
- Paramètres dans le fichier de configuration
 - `auth_type` : type d'authentification (`trust`, `md5`, `scram-sha-256` ...)
 - `auth_file` : emplacement de la liste des utilisateurs et mots de passe
 - `admin_users` : liste des administrateurs
 - `stats_users` : liste des utilisateurs de supervision

PgBouncer n'a pas accès à l'authentification de PostgreSQL. De plus, son rôle est de donner accès à des connexions déjà ouvertes à des clients. PgBouncer doit donc s'authentifier auprès de PostgreSQL à la place des clients, et vérifier lui-même les mots de passe de ces clients. (Ce mécanisme ne dispense évidemment pas les clients de fournir les mots de passe.)

La première méthode, et la plus simple, est de déclarer les utilisateurs dans le fichier pointé par le paramètre `auth_file`, par défaut `userlist.txt`. Les utilisateurs et mots de passe y sont stockés comme ci-dessous selon le type d'authentification, obligatoirement encadrés avec des guillemets doubles.

```
"guillaume" "supersecret"
"marc" "md59fa7827a30a483125ca3b7218bad6fee"
"pgbench" "SCRAM-SHA-256$4096:Rqk+MWaDN9rKXOLuoj8eCw==$ry5DD2Ptk...+6do76FN/ys="
```

Le type d'authentification est plus limité que ce que PostgreSQL propose. Le type `trust` indique que l'utilisateur sera accepté par PgBouncer quel que soit le mot de passe qu'il fournit; il faut que le serveur PostgreSQL soit configuré de la même façon. Cela est bien sûr déconseillé. `auth_type` peut prendre les valeurs `md5` ou `scram-sha-256` pour autoriser des mots de passe chiffrés. Pour des raisons de compatibilité descendante, `md5` permet aussi d'utiliser `scram-sha-256`.

Les paramètres de configuration `admin_users` et `stats_users` permettent d'indiquer la liste d'utilisateurs pouvant se connecter à PgBouncer directement pour obtenir des commandes de contrôle sur PgBouncer ainsi que des statistiques d'activité. Ils peuvent être déclarés dans le fichier des mots de passe avec un mot de passe arbitraire en clair.

`userlist.txt` est évidemment un fichier dont les accès doivent être les plus restreints possibles.

17.6.8 PgBouncer : Authentification par délégation



- Créer un rôle dédié
- Copier son hash de mot de passe dans `userlist.txt`
- Déclaration dans le pool avec `auth_user` :

```
prod = host=p1 port=5432 dbname=erp auth_user=frontend
```

- `auth_query` : requête pour vérifier le mot de passe via ce rôle
- => Plus la peine de déclarer les autres rôles

La maintenance du fichier de mots de passe peut vite devenir fastidieuse. Il est possible de déléguer un rôle à la recherche des mots de passe avec le paramètre `auth_user`, à poser globalement

```
auth_user = frontend
```

ou au niveau de la base :

```
prod = host=p1 port=5432 dbname=erp pool_mode=transaction auth_user=frontend
```

Ce rôle se connectera et ira valider dans l'instance le *hash* du mot de passe du client. Il sera donc inutile de déclarer d'autres rôles dans `userlist.txt`.

Le rôle d'authentification et son mot de passe se déclarent par exemple ainsi :

```
SET password_encryption = 'scram-sha-256' ;
CREATE ROLE frontend PASSWORD 'motdepassecompliqué' LOGIN ;
SELECT rolpassword FROM pg_authid WHERE rolname = 'frontend' \gx
```

Le hachage du mot de passe obtenu est recopié dans `userlist.txt` :


```
"frontend" "SCRAM-SHA-256$4096:LaN76vw5sMU/0kvs9j0NpA==$/ ... ="
```

L'utilisateur **frontend** va utiliser le paramètre `auth_query` pour savoir comment récupérer les identifiants de connexion de l'utilisateur applicatif qui veut se connecter. Par défaut, il s'agit simplement de requêter la vue `pg_shadow` :

```
auth_query = SELECT username, passwd FROM pg_shadow WHERE username=$1
```

D'autres variantes sont possibles, comme une requête plus élaborée sur `pg_authid`, ou une fonction avec les bons droits de consultation avec une clause `SECURITY DEFINER`. La documentation donne un exemple⁶ :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION pgbouncer.user_lookup
    (IN i_username text, OUT uname text, OUT phash text)
RETURNS record AS $$
BEGIN
    SELECT username, passwd FROM pg_catalog.pg_shadow
    WHERE username = i_username INTO uname, phash;
    RETURN;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;
REVOKE ALL ON FUNCTION pgbouncer.user_lookup(text) FROM public, pgbouncer;
GRANT EXECUTE ON FUNCTION pgbouncer.user_lookup(text) TO pgbouncer;
```

et cette fonction s'utilise ainsi :

```
auth_query = SELECT * FROM pgbouncer.user_lookup($1);
```

Il faut évidemment que l'utilisateur d'authentification (et seulement lui) ait les droits nécessaires, et cela dans toutes les bases impliquées.

La mise en place de cette configuration est facilement source d'erreur, il faut bien surveiller les traces de PostgreSQL et PgBouncer.

17.6.9 PgBouncer : autre authentification



L'authentification `peer` est possible depuis la version 1.23 et permet de se connecter plus facilement depuis un compte système sur le serveur.

⁶<http://www.pgbouncer.org/config.html#example>

17.6.10 PgBouncer : Nombre de connexions



- Côté client :
 - `max_client_conn` (100)
 - peut être » `max_connections` (100)
 - attention à `ulimit` !
 - `max_db_connections`
- Par utilisateur/base :
 - `default_pool_size` (20)
 - `min_pool_size` (0)
 - `reserve_pool_size` (0)

PostgreSQL dispose d'un nombre de connexions maximum (`max_connections` dans `postgresql.conf`, 100 par défaut). Il est un compromis entre le nombre de requêtes simultanément actives, leur complexité, le nombre de CPU, le nombre de processus gérables par l'OS... L'utilisation d'un pooler en multiplexage se justifie notamment quand des centaines, voire des milliers, de connexions simultanées sont nécessaires, celles-ci étant inactives la plus grande partie du temps. Même avec un nombre modeste de connexions, une application se connectant et se déconnectant très souvent peut profiter d'un pooler.

Les paramètres suivants de `pgbouncer.ini` permettent de paramétrer tout cela et de poser différentes limites. Les valeurs dépendent beaucoup de l'utilisation : *pooler* unique pour une seule base, *poolers* multiples pour plusieurs bases, utilisateur applicatif unique ou pas...

Nombre de connexions côté client :

Le paramètre de configuration `max_client_conn` permet d'indiquer le nombre total maximum de connexions clientes à PgBouncer. Sa valeur par défaut est de seulement 100, comme l'équivalent sous PostgreSQL (`max_connections`).

Un `max_client_conn` élevé permet d'accepter plus de connexions depuis les applications que n'en offrirait PostgreSQL. Si ce nombre de clients est dépassé, les applications se verront refuser les connexions. En dessous, PgBouncer accepte les connexions, et, au pire, les met en attente. Cela peut arriver si la base PostgreSQL, saturée en connexions, refuse la connexion ; ou si PgBouncer ne peut ouvrir plus de connexions à la base à cause d'une des autres limites ci-dessous. L'application subira donc une latence supplémentaire, mais évitera un refus de connexion qu'elle ne saura pas forcément bien gérer.

`max_db_connections` représente le maximum de connexions, tous utilisateurs confondus, à une base donnée, déclarée dans PgBouncer, donc du point de vue d'un client. Cela peut être modifié dans les chaînes de connexions pour arbitrer entre les différentes bases.

S'il n'y a qu'une base utile, côté serveur comme côté PgBouncer, et que tout l'applicatif passe par ce dernier, `max_db_connections` peut être proche du `max_connections`. Mais il faut laisser un peu de place aux connexions administratives, de supervision, etc.

Connexions côté serveur :

`default_pool_size` est le nombre maximum de connexions PgBouncer/PostgreSQL d'un *pool*. Un *pool* est un couple utilisateur/base de données côté PgBouncer. Il est possible de personnaliser cette valeur base par base, en ajoutant `pool_size=...` dans la chaîne de connexion. Si dans cette même chaîne il y a un paramètre `user` qui impose le nom, il n'y a plus qu'un *pool*.

S'il y a trop de demandes de connexion pour le pool, les transactions sont mises en attente. Cela peut être nécessaire pour équilibrer les ressources entre les différents utilisateurs, ou pour ne pas trop charger le serveur ; mais l'attente peut devenir intolérable pour l'application. Une « réserve » de connexions peut alors être définie avec `reserve_pool_size` : ces connexions sont utilisables dans une situation grave, c'est-à-dire si des connexions se retrouvent à attendre plus d'un certain délai, défini par `reserve_pool_timeout` secondes. Évidemment, cette option n'a pas d'intérêt si le serveur est déjà totalement surchargé par les connexions en place.

À l'inverse, pour faciliter les montées en charge rapides, `min_pool_size` définit un nombre de connexions qui seront immédiatement ouvertes dès que le pool voit sa première connexion, puis maintenues ouvertes.

Ces deux derniers paramètres peuvent aussi être globaux ou personnalisés dans les chaînes de connexion.

Descripteurs de fichiers :

PgBouncer utilise des descripteurs de fichiers pour les connexions. Le nombre de descripteurs peut être bien plus important que ce que n'autorise par défaut le système d'exploitation. Le maximum théorique est de :

```
max_client_conn + (max_pool_size * nombre de bases * nombre d'utilisateurs)
```

Le cas échéant (en pratique, au-delà de 1000 connexions au pooler), il faudra augmenter le nombre de descripteurs disponibles, sous peine d'erreurs de connexion :

```
ERROR accept() failed: Too many open files
```

Sur Debian et dérivés, un moyen simple est de rajouter cette commande dans `/etc/default/pgbouncer` :

```
ulimit -n 8192
```

Mais plus généralement, il est possible de modifier le service systemd ainsi :

```
sudo systemctl edit pgbouncer
```

ce qui revient à créer un fichier `/etc/systemd/system/pgbouncer.service.d/override.conf` contenant la nouvelle valeur :

```
[Service]
LimitNOFILE=8192
```

Puis il faut redémarrer le pooler :

```
sudo systemctl restart pgbouncer
```

et vérifier la prise en compte dans le fichier de traces de PgBouncer, nommé `pgbouncer.log` (dans `/var/log/postgresql/` sous Debian, `/var/log/pgbouncer/` sur CentOS/Red Hat) :

```
LOG kernel file descriptor limit: 8192 (hard: 8192);
max_client_conn: 4000, max expected fd use: 6712
```

17.6.11 PgBouncer : Types de connexions



- Mode de multiplexage
 - `pool_mode` (session)
- À la connexion
 - `ignore_startup_parameter = options`
 - attention à `PGOPTIONS` !
- À la déconnexion
 - `server_reset_query`
 - défaut : `DISCARD ALL`

Grâce au paramètre `pool_mode` (dans la chaîne de connexion à la base par exemple), PgBouncer accepte les différents modes de pooling :

- par **session**, pour économiser les temps de (dé)connexion : c'est le défaut;
- par **transaction**, pour optimiser les connexions en place;
- par **requête**, notamment si l'on peut se passer des transactions explicites (courant sur plusieurs ordres).

Les restrictions de chaque mode sont listées sur le site⁷.

Lorsqu'un client se connecte, il peut utiliser des paramètres de connexion que PgBouncer ne connaît pas ou ne sait pas gérer. Si PgBouncer détecte un paramètre de connexion qu'il ne connaît pas, il rejette purement et simplement la connexion. Le paramètre `ignore_startup_parameters` permet de changer ce comportement, d'ignorer le paramètre et de procéder à la connexion. Par exemple, une variable d'environnement `PGOPTIONS` interdit la connexion depuis psql, il faudra donc définir :

```
ignore_startup_parameters = options
```

ce qui malheureusement réduit à néant l'intérêt de cette variable pour modifier le comportement de PostgreSQL.

À la déconnexion du client, comme la connexion côté PostgreSQL peut être réutilisée par un autre client, il est nécessaire de réinitialiser la session : enlever la configuration de session, supprimer les tables temporaires, supprimer les curseurs, etc. Pour cela, PgBouncer exécute une liste de requêtes configurables ainsi :

```
server_reset_query = DISCARD ALL
```

⁷<https://www.pgbouncer.org/features.html>

Ce défaut suffira généralement. Il n'est en principe utile qu'en pooling de session, mais peut être forcé en pooling par transaction ou par requête :

```
server_reset_query_always = 1
```

17.6.12 PgBouncer : Instructions préparées



- En mode Transaction
 - prise en charge partielle des instructions préparées
 - depuis la 1.21 : `max_prepared_statements`
 - nécessite un connecteur PG compatible

En mode transactionnel, PgBouncer réutilise les mêmes connexions pour des transactions différentes et simultanées.

Chaque fois qu'une transaction commence (avec un `BEGIN`), se termine (avec un `COMMIT`), ou même lorsqu'une requête ordinaire est exécutée, PgBouncer maintient la même connexion pour un client donné. Mais dès la fin de la transaction, PgBouncer libère la connexion pour réutilisation par la prochaine transaction ou requête. (C'est la différence par rapport au mode session, où PgBouncer attend la fin de la session.)

Le mode transactionnel réduit notablement le nombre de connexions nécessaires.

Cependant, jusqu'à la version 1.21 de PgBouncer, l'utilisation d'instructions préparées n'était pas possible en mode transactionnel. On ne pouvait donc pas bénéficier de leurs avantages tels que la mise en cache des plans de requête. La version 1.21 de PgBouncer introduit le support des instructions préparées en mode transactionnel, et ceci est transparent pour les clients compatibles.

Le nouveau paramètre `max_prepared_statements` de PgBouncer permet de gérer le nombre d'instructions préparées pour chaque connexion. Cette valeur est par défaut à 0 (désactivé). La valeur 10 est recommandée comme point de départ avant tests. Il faudra ensuite contrôler l'utilisation de la mémoire et du CPU côté PgBouncer. La documentation⁸ de PgBouncer fournit des informations permettant d'estimer le besoin en mémoire.

Cependant, le mode transactionnel de PgBouncer n'est compatible qu'avec les instructions préparées au niveau du protocole. Autrement dit il ne fonctionne pas si les commandes préparées sont envoyées en SQL, avec `PREPARE`, `EXECUTE` et `DEALLOCATE`. PgBouncer n'intercepte au niveau SQL que `DEALLOCATE ALL` et `DISCARD ALL`. Des erreurs peuvent donc être observées⁹. La libpq ne corrige cela qu'à partir de la version 17¹⁰. Il s'agit bien de celle sur le client, indépendamment de celle du serveur.

⁸https://www.pgbouncer.org/config.html#max_prepared_statements

⁹<https://www.crunchydata.com/blog/prepared-statements-in-transaction-mode-for-pgbouncer#caveat-two-beware-of-deallocation>

¹⁰<https://github.com/postgres/postgres/commit/28b5726561841556dc3e00ffe26b01a8107ee654>

Vérifiez donc dans la documentation de votre connecteur PostgreSQL la compatibilité avec ce mode. Par exemple, à la date d'octobre 2024, PHP/PDO n'est pas compatible avec cette fonctionnalité¹¹. Java n'utilise pas la libpq et utilise le niveau protocole, et ne pose pas de souci. Avec Python, il faut une libpq en version 17 et psycopg 3.2¹².

17.6.13 PgBouncer : Durée de vie



- D'une tentative de connexion
 - `client_login_timeout`
 - `server_connect_timeout`
- D'une connexion
 - `server_lifetime`
 - `server_idle_timeout`
 - `client_idle_timeout`
- Pour recommencer une demande de connexion
 - `server_login_retry`
- D'une requête
 - `query_timeout = 0`

PgBouncer dispose d'un grand nombre de paramètres de durée de vie. Ils permettent d'éviter de conserver des connexions trop longues, notamment si elles sont inactives. C'est un avantage sur PostgreSQL qui ne dispose pas de ce type de paramétrage.

Les paramètres en `client_*` concernent les connexions entre le client et PgBouncer, ceux en `server_*` concernent les connexions entre PgBouncer et PostgreSQL.

Il est ainsi possible de libérer plus ou moins rapidement des connexions inutilisées, notamment s'il y a plusieurs *pools* concurrents, ou plusieurs sources de connexions à la base, ou si les pics de connexions sont irréguliers. Certains paramètres peuvent être surchargés au niveau de la base (comme `server_lifetime` en version 1.23).

Il faut cependant faire attention. Par exemple, interrompre les connexions inactives avec `client_idle_timeout` peut couper brutalement la connexion à une application cliente qui ne s'y attend pas.

¹¹<https://www.pgбouncer.org/faq.html#how-to-use-prepared-statements-with-transaction-pooling>

¹²<https://www.psycopg.org/psycopg3/docs/advanced/prepare.html#using-prepared-statements-with-pgbouncer>

17.6.14 PgBouncer : Traces



- Fichier
 - `logfile`
- Évènements tracés
 - `log_connections`
 - `log_disconnections`
 - `log_pooler_errors`
- Statistiques
 - `log_stats` (tous les `stats_period` s)

PgBouncer dispose de quelques options de configuration pour les traces.

Le paramètre `logfile` indique l'emplacement (par défaut `/var/log/pgbouncer` sur Red Hat/CentOS, `/var/log/postgres` sur Debian et dérivés). On peut rediriger vers `syslog`.

Ensuite, il est possible de configurer les événements tracés, notamment les connexions (avec `log_connections`) et les déconnexions (avec `log_disconnections`).

Par défaut, `log_stats` est activé : PgBouncer trace alors les statistiques sur les dernières 60 secondes (paramètres `stats_period`).

```
2020-11-30 19:10:07.839 CET [290804] LOG stats: 54 xacts/s, 380 queries/s,
in 23993 B/s, out 10128 B/s, xact 304456 us, query 43274 us, wait 14685821 us
```

17.6.15 PgBouncer : Administration



- Pseudo-base `pgbouncer` :

```
sudo -iu postgres psql -h /var/run/postgresql -p 6432 -d pgbouncer
```

- Administration
 - `RELOAD, PAUSE, SUSPEND, RESUME, SHUTDOWN`
- Supervision
 - `SHOW CONFIG|DATABASES|POOLS|CLIENTS|...`
 - `...|SERVERS|STATS|FDS|SOCKETS|...`
 - `...|ACTIVE_SOCKETS|LISTS|MEM`

PgBouncer possède une pseudo-base nommée `pgbouncer`. Il est possible de s'y connecter avec `psql` ou un autre outil. Il faut pour cela se connecter avec un utilisateur autorisé (déclaration par les para-

mètres `admin_users` et `stats_users`). Elle permet de répondre à quelques ordres d'administration et de consulter quelques vues.

Les utilisateurs « administrateurs » ont le droit d'exécuter des instructions de contrôle, comme recharger la configuration (`RELOAD`), mettre le système en pause (`PAUSE`), supprimer la pause (`RESUME`), forcer une déconnexion/reconnexion dès que possible (`RECONNECT`, le plus propre en cas de modification de configuration), tuer toutes les sessions d'une base (`KILL`), arrêter PgBouncer (`SHUTDOWN`), etc.

Les utilisateurs statistiques peuvent récupérer des informations sur l'activité de PgBouncer : statistiques sur les bases, les pools de connexions, les clients, les serveurs, etc. avec `SHOW STATS`, `SHOW STATS_AVERAGE`, `SHOW TOTALS`, `SHOW MEM`, etc.

```
# sudo -iu postgres psql -h /var/run/postgresql -p 6432 pgbouncer
psql (13.1 (Ubuntu 13.1-1.pgdg20.04+1), serveur 1.14.0/bouncer)
```

```
pgbouncer=# SHOW help ;
```

```
NOTICE: Console usage
```

```
DÉTAIL :
```

```
SHOW HELP|CONFIG|DATABASES|POOLS|CLIENTS|SERVERS|USERS|VERSION
SHOW FDS|SOCKETS|ACTIVE_SOCKETS|LISTS|MEM
SHOW DNS_HOSTS|DNS_ZONES
SHOW STATS|STATS_TOTALS|STATS_AVERAGES|TOTALS
SET key = arg
RELOAD
PAUSE [<db>]
RESUME [<db>]
DISABLE <db>
ENABLE <db>
RECONNECT [<db>]
KILL <db>
SUSPEND
SHUTDOWN
```

```
pgbouncer=# SHOW DATABASES \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
name          | pgbench_1000_sur_server3
host          | 192.168.74.5
port          | 13002
database      | pgbench_1000
force_user    |
pool_size     | 10
reserve_pool  | 7
pool_mode     | session
max_connections | 0
current_connections | 17
paused        | 0
disabled      | 0
-[ RECORD 2 ]-----+-----
...
```

```
pgbouncer=# SHOW POOLS \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
database | pgbench_1000_sur_server3
user     | pgbench
```



```
cl_active | 10
cl_waiting | 80
sv_active | 10
sv_idle | 0
sv_used | 0
sv_tested | 0
sv_login | 0
maxwait | 0
maxwait_us | 835428
pool_mode | session
-[ RECORD 2 ]-----
database | pgbouncer
user | pgbouncer
cl_active | 1
cl_waiting | 0
sv_active | 0
sv_idle | 0
sv_used | 0
sv_tested | 0
sv_login | 0
maxwait | 0
maxwait_us | 0
pool_mode | statement
```

`pgbouncer=# SHOW STATS \gx`

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
database | pgbench_1000_sur_server3
total_xact_count | 16444
total_query_count | 109711
total_received | 6862181
total_sent | 3041536
total_xact_time | 8885633095
total_query_time | 8873756132
total_wait_time | 14123238083
avg_xact_count | 103
avg_query_count | 667
avg_recv | 41542
avg_sent | 17673
avg_xact_time | 97189
avg_query_time | 14894
avg_wait_time | 64038262
-[ RECORD 2 ]-----+-----
database | pgbouncer
total_xact_count | 1
total_query_count | 1
total_received | 0
total_sent | 0
total_xact_time | 0
total_query_time | 0
total_wait_time | 0
avg_xact_count | 0
avg_query_count | 0
avg_recv | 0
avg_sent | 0
avg_xact_time | 0
avg_query_time | 0
avg_wait_time | 0
```

```
pgbouncer=# SHOW MEM ;
      name      | size | used | free | memtotal
-----+-----+-----+-----+-----
user_cache      | 360  | 11   | 39   | 18000
db_cache        | 208  | 5    | 73   | 16224
pool_cache      | 480  | 2    | 48   | 24000
server_cache    | 560  | 17   | 33   | 28000
client_cache    | 560  | 91   | 1509 | 896000
iobuf_cache     | 4112 | 74   | 1526 | 6579200
```

Toutes ces informations sont utilisées notamment par la sonde Nagios `check_postgres`¹³ pour permettre une supervision de cet outil.

L'outil d'audit `pgCluu`¹⁴ peut intégrer cette base à ses rapports. Il faudra penser à ajouter la chaîne de connexion à PgBouncer, souvent `--pgbouncer-args='-p 6432'`, aux paramètres de `pgcluu_collectd`.

¹³https://github.com/bucardo/check_postgres

¹⁴<https://pgcluu.darold.net>

17.7 CONCLUSION



- Un outil pratique :
 - pour parer à certaines limites de PostgreSQL
 - pour faciliter l'administration
- Limitations généralement tolérables
- Ne jamais installer un pooler sans être certain de son apport :
 - SPOF
 - complexité

Cette conférence de Laurenz Albe résume bien l'utilisation de PgBouncer pour gérer les accès à un serveur :

- How to handle 1000 application users¹⁵ (PDF¹⁶), Laurenz Albe, PGConf.eu 2022 à Berlin.

17.7.1 Questions



SELECT * **FROM** questions ;

¹⁵<https://www.postgresql.eu/events/pgconfeu2022/sessions/session/3811/>

¹⁶https://www.postgresql.eu/events/pgconfeu2022/sessions/session/3811/slides/327/1000_application_users.pdf

17.8 TRAVAUX PRATIQUES

La version en ligne des solutions de ces TP est disponible sur https://dali.bo/w6_solutions.

Créer un rôle PostgreSQL nommé **pooler** avec un mot de passe.

Pour mieux suivre les traces, activer `log_connections` et `log_disconnections`, et passer `log_min_duration_statement` à 0.

Installer PgBouncer. \ Configurer `/etc/pgbouncer/pgbouncer.ini` pour pouvoir se connecter à n'importe quelle base du serveur via PgBouncer (port 6432). \ Ajouter **pooler** dans `/etc/pgbouncer/userlist.txt`. \ L'authentification doit être `md5`. \ Ne pas oublier `pg_hba.conf`. \ Suivre le contenu de `/var/log/pgbouncer/pgbouncer.log`. \ Se connecter par l'intermédiaire du pooler sur une base locale.

Activer l'accès à la pseudo-base `pgbouncer` pour les utilisateurs **postgres** et **pooler**. \ Laisser la session ouverte pour suivre les connexions en cours.

17.8.1 Pooling par session

Ouvrir deux connexions sur le pooler. Combien de connexions sont-elles ouvertes côté serveur?

17.8.2 Pooling par transaction

Passer PgBouncer en pooling par transaction. Bien vérifier qu'il n'y a plus de connexions ouvertes.

Rouvrir deux connexions via PgBouncer. \ Cette fois, combien de connexions sont ouvertes côté serveur?

Successivement et à chaque fois dans une transaction, créer une table dans une des sessions ouvertes, puis dans l'autre insérer des données. Suivre le nombre de connexions ouvertes. \ Recommencer avec des transactions simultanées.

17.8.3 Pooling par requête

Passer le pooler en mode pooling par requête et tenter d'ouvrir une transaction.

Repasser PgBouncer en pooling par session.

17.8.4 pgbench

Créer une base nommée `bench` appartenant à **pooler**. \ Avec pgbench, l'initialiser avec un *scale factor* de 100.

Lancer des tests (lectures uniquement, avec `--select`) de 60 secondes avec 80 connexions : \ une fois sur le pooler, et une fois directement sur le serveur. Comparer les performances.

Refaire ce test en demandant d'ouvrir et fermer les connexions (`-C`), sur le serveur puis sur le pooler. Effectuer un `SHOW POOLS` pendant ce dernier test.

17.9 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

Créer un rôle PostgreSQL nommé **pooler** avec un mot de passe.

Les connexions se feront avec l'utilisateur **pooler** que nous allons créer avec le (trop évident) mot de passe « pooler » :

```
$ createuser --login --pwprompt --echo pooler
Saisir le mot de passe pour le nouveau rôle :
Le saisir de nouveau :
...
CREATE ROLE pooler PASSWORD 'md52a1394e4bcb2e9370746790c13ac33ac'
NOSUPERUSER NOCREATEDB NOCREATEROLE INHERIT LOGIN;
```

(NB : le hash sera beaucoup plus complexe si le chiffrement SCRAM-SHA-256 est activé, mais cela ne change rien au principe.)

Pour mieux suivre les traces, activer `log_connections` et `log_disconnections`, et passer `log_min_duration_statement` à 0.

PostgreSQL trace les rejets de connexion, mais, dans notre cas, il est intéressant de suivre aussi les connexions abouties.

Dans `postgresql.conf` :

```
log_connections = on
log_disconnections = on
log_min_duration_statement = 0
```

Puis on recharge la configuration :

```
sudo systemctl reload postgresql-14
```

En cas de problème, le suivi des connexions dans `/var/lib/pgsql/14/data/log` peut être très pratique.

Installer PgBouncer. \ Configurer `/etc/pgbouncer/pgbouncer.ini` pour pouvoir se connecter à n'importe quelle base du serveur via PgBouncer (port 6432). \ Ajouter **pooler** dans `/etc/pgbouncer/userlist.txt`. \ L'authentification doit être `md5`. \ Ne pas oublier `pg_hba.conf`. \ Suivre le contenu de `/var/log/pgbouncer/pgbouncer.log`. \ Se connecter par l'intermédiaire du pooler sur une base locale.

L'installation est simple :

```
sudo dnf install pgbouncer
```

La configuration se fait dans `/etc/pgbouncer/pgbouncer.ini`.

Dans la section `[databases]` on spécifie la chaîne de connexion à l'instance, pour toute base :

```
* = host=127.0.0.1 port=5432
```

Il faut ajouter l'utilisateur au fichier `/etc/pgbouncer/userlist.txt`. La syntaxe est de la forme `"user" "hachage du mot de passe"`. La commande `createuser` l'a renvoyé ci-dessus, mais généralement il faudra aller interroger la vue `pg_shadow` ou la table `pg_authid` de l'instance PostgreSQL :

```
SELECT username,passwd FROM pg_shadow WHERE username = 'pooler';
```

username	passwd
pooler	md52a1394e4bcb2e9370746790c13ac33ac

Le fichier `/etc/pgbouncer/userlist.txt` contiendra donc :

```
"pooler" "md52a1394e4bcb2e9370746790c13ac33ac"
```

Il vaut mieux que seul l'utilisateur système dédié (**pgbouncer** sur Red Hat/CentOS/Rocky Linux) voit ce fichier :

```
sudo chown pgbouncer: userlist.txt
```

De plus il faut préciser dans `pgbouncer.ini` que nous fournissons des mots de passe hachés :

```
auth_type = md5
auth_file = /etc/pgbouncer/userlist.txt
```

Si ce n'est pas déjà possible, il faut autoriser l'accès de **pooler** en local à l'instance PostgreSQL. Du point de vue de PostgreSQL, les connexions se feront depuis 127.0.0.1 (IP du pooler). Ajouter cette ligne dans le fichier `pg_hba.conf` et recharger la configuration de l'instance :

```
host      all             pooler          127.0.0.1/32      md5
```

```
sudo systemctl reload postgresql-14
```

Enfin, on peut démarrer le pooler :

```
sudo systemctl restart pgbouncer
```

Dans une autre session, on peut suivre les tentatives de connexion :

```
sudo tail -f /var/log/pgbouncer/pgbouncer.log
```

La connexion directement au pooler doit fonctionner :

```
psql -h 127.0.0.1 -p 6432 -U pooler -d postgres
```

Mot de passe pour l'utilisateur pooler :

```
psql (14.1)
```

Saisissez « help » pour l'aide.

```
postgres=>
```

Dans `pgbouncer.log` :

```
2020-12-02 08:42:35.917 UTC [2208] LOG C-0x152a490: postgres/pooler@127.0.0.1:55096
login attempt: db=postgres user=pooler tls=no
```

Noter qu'en cas d'erreur de mot de passe, l'échec apparaîtra dans ce dernier fichier, et pas dans `postgresql.log`.

Activer l'accès à la pseudo-base `pgbouncer` pour les utilisateurs **postgres** et **pooler**. \ Laisser la session ouverte pour suivre les connexions en cours.

```
; comma-separated list of users, who are allowed to change settings
admin_users = postgres, pooler

; comma-separated list of users who are just allowed to use SHOW command
stats_users = stats, postgres, pooler

sudo systemctl reload pgbouncer
```

```
$ psql -h 127.0.0.1 -p6432 -U pooler -d pgbouncer
Mot de passe pour l'utilisateur pooler :
psql (14.1, serveur 1.15.0/bouncer)
Saisissez « help » pour l'aide.
```

```
pgbouncer=# SHOW HELP ;
NOTICE: Console usage
DÉTAIL :
      SHOW HELP|CONFIG|DATABASES|POOLS|CLIENTS|SERVERS|USERS|VERSION
...
```

Si une connexion via PgBouncer est ouverte par ailleurs, on la retrouve ici :

```
pgbouncer=# SHOW POOLS \gx
-[ RECORD 1 ]-----
database    | pgbouncer
user        | pgbouncer
cl_active   | 1
cl_waiting  | 0
sv_active   | 0
sv_idle     | 0
sv_used     | 0
sv_tested   | 0
sv_login    | 0
maxwait     | 0
maxwait_us  | 0
pool_mode   | statement
-[ RECORD 2 ]-----
database    | postgres
user        | pooler
cl_active   | 1
cl_waiting  | 0
sv_active   | 1
sv_idle     | 0
sv_used     | 0
sv_tested   | 0
sv_login    | 0
maxwait     | 0
maxwait_us  | 0
pool_mode   | session
```


17.9.1 Pooling par session

Ouvrir deux connexions sur le pooler. Combien de connexions sont-elles ouvertes côté serveur ?

Le pooling par session est le mode par défaut de PgBouncer.

On se connecte dans 2 sessions différentes :

```
$ psql -h 127.0.0.1 -p6432 -U pooler -d postgres
psql (14.1)

postgres=>

$ psql -h 127.0.0.1 -p6432 -U pooler -d postgres
...
SELECT COUNT(*) FROM pg_stat_activity
WHERE backend_type='client backend' AND username='pooler' ;
count
-----
      2
```

Ici, PgBouncer a donc bien ouvert autant de connexions côté serveur que côté pooler.

17.9.2 Pooling par transaction

Passer PgBouncer en pooling par transaction. Bien vérifier qu'il n'y a plus de connexions ouvertes.

Il faut changer le `pool_mode` dans `pgbouncer.ini`, soit globalement :

```
; When server connection is released back to pool:
; session      - after client disconnects
; transaction  - after transaction finishes
; statement    - after statement finishes
pool_mode = transaction
```

soit dans la définition des connexions :

```
* = host=127.0.0.1 port=5432 pool_mode=transaction
```

En toute rigueur, il n'y a besoin que de recharger la configuration de PgBouncer, mais il y a le problème des connexions ouvertes. Dans notre cas, nous pouvons forcer une déconnexion brutale :

```
sudo systemctl restart pgbouncer
```

Rouvrir deux connexions via PgBouncer. \ Cette fois, combien de connexions sont ouvertes côté serveur ?

Après reconnexion de 2 sessions, la pseudo-base indique 2 connexions clientes, 1 serveur :

```
pgbouncer=# SHOW POOLS \gx
...
-[ RECORD 2 ]-----
database    | postgres
user        | pooler
cl_active   | 2
cl_waiting  | 0
sv_active   | 0
sv_idle     | 0
sv_used     | 1
sv_tested   | 0
sv_login    | 0
maxwait     | 0
maxwait_us  | 0
pool_mode   | transaction
```

Ce que l'on retrouve en demandant directement au serveur :

```
postgres=> SELECT COUNT(*) FROM pg_stat_activity
           WHERE backend_type='client backend' AND username='pooler' ;
count
-----
1
```

Successivement et à chaque fois dans une transaction, créer une table dans une des sessions ouvertes, puis dans l'autre insérer des données. Suivre le nombre de connexions ouvertes. \ Re-commencer avec des transactions simultanées.

Dans la première connexion ouvertes :

```
BEGIN ;
CREATE TABLE log (i timestampz) ;
COMMIT ;
```

Dans la deuxième :

```
BEGIN ;
INSERT INTO log SELECT now() ;
END ;
```

On a bien toujours une seule connexion :

```
pgbouncer=# SHOW POOLS \gx
...
-[ RECORD 2 ]-----
database    | postgres
user        | pooler
cl_active   | 2
cl_waiting  | 0
sv_active   | 0
sv_idle     | 0
sv_used     | 1
sv_tested   | 0
sv_login    | 0
maxwait     | 0
maxwait_us  | 0
pool_mode   | transaction
```

Du point de vue du serveur PostgreSQL, tout s'est passé dans la même session (même PID) :

```
... 10:01:45.448 UTC [2841] LOG:  duration: 0.025 ms  statement: BEGIN ;
... 10:01:45.450 UTC [2841] LOG:  duration: 0.631 ms  statement: CREATE TABLE log (i
    ↳ timestamptz) ;
... 10:01:45.454 UTC [2841] LOG:  duration: 4.037 ms  statement: COMMIT ;
... 10:01:49.128 UTC [2841] LOG:  duration: 0.053 ms  statement: BEGIN ;
... 10:01:49.129 UTC [2841] LOG:  duration: 0.338 ms  statement: INSERT INTO log SELECT
    ↳ now() ;
... 10:01:49.763 UTC [2841] LOG:  duration: 4.393 ms  statement: END ;
```

À présent, commençons la seconde transaction avant la fin de la première.

Session 1 :

```
BEGIN ; INSERT INTO log SELECT now() ;
```

Session 2 :

```
BEGIN ; INSERT INTO log SELECT now() ;
```

De manière transparente, une deuxième connexion au serveur a été créée :

```
pgbouncer=# show pools \gx
```

```
...
-[ RECORD 2 ]-----
database | postgres
user      | pooler
cl_active | 2
cl_waiting | 0
sv_active | 2
sv_idle   | 0
sv_used   | 0
sv_tested | 0
sv_login  | 0
maxwait   | 0
maxwait_us | 0
pool_mode | transaction
```

Ce que l'on voit dans les traces de PostgreSQL :

```
... 10:05:49.695 UTC [2841] LOG:  duration: 0.144 ms  statement: select 1
... 10:05:49.695 UTC [2841] LOG:  duration: 0.014 ms  statement: BEGIN ;
... 10:05:49.695 UTC [2841] LOG:  duration: 0.110 ms  statement: INSERT INTO log SELECT
    ↳ now() ;
... 10:05:52.320 UTC [2943] LOG:  connection received: host=127.0.0.1 port=50554
... 10:05:52.321 UTC [2943] LOG:  connection authorized: user=pooler database=postgres
... 10:05:52.323 UTC [2943] LOG:  duration: 0.171 ms  statement: SET
    ↳ application_name='psql';
... 10:05:52.323 UTC [2943] LOG:  duration: 0.015 ms  statement: BEGIN ;
... 10:05:52.324 UTC [2943] LOG:  duration: 0.829 ms  statement: INSERT INTO log SELECT
    ↳ now() ;
```

Du point de l'application, cela a été transparent.

Cette deuxième connexion va rester ouverte, mais elle n'est pas forcément associée à la deuxième session. Cela peut se voir simplement ainsi en demandant le PID du *backend* sur le serveur, qui sera le même dans les deux sessions :

```
postgres=> SELECT pg_backend_pid() ;
pg_backend_pid
-----
2841
```

17.9.3 Pooling par requête

Passer le pooler en mode pooling par requête et tenter d'ouvrir une transaction.

De la même manière que ci-dessus, soit :

```
pool_mode = statement
```

soit :

```
* = host=127.0.0.1 port=5432 pool_mode=statement
```

Redémarrage du pooler :

```
# systemctl restart pgbouncer
```

Si on essaie de démarrer une transaction :

```
BEGIN;
ERROR:  transaction blocks not allowed in statement pooling mode
la connexion au serveur a été coupée de façon inattendue
    Le serveur s'est peut-être arrêté anormalement avant ou durant le
    traitement de la requête.
La connexion au serveur a été perdue. Tentative de réinitialisation : Succès.
```

Le pooling par requête empêche l'utilisation de transactions.

Repasser PgBouncer en pooling par session.

Cela revient à revenir au mode par défaut (`pool_mode=session`).

17.9.4 Pgbench

Créer une base nommée `bench` appartenant à **pooler**. Avec `pgbench`, l'initialiser avec un *scale factor* de 100.

Le pooler n'est pas configuré pour que **postgres** puisse s'y connecter, il faut donc se connecter directement à l'instance pour créer la base :

```
postgres$ createdb -h /var/run/postgresql -p 5432 --owner pooler bench
```

La suite peut passer par le pooler :

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench -i -s 100 -U pooler -h 127.0.0.1 -p 6432 bench
Password:
dropping old tables...
NOTICE: table "pgbench_accounts" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_branches" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_history" does not exist, skipping
NOTICE: table "pgbench_tellers" does not exist, skipping
creating tables...
generating data (client-side)...
10000000 of 10000000 tuples (100%) done (elapsed 25.08 s, remaining 0.00 s)
vacuuming...
creating primary keys...
done in 196.24 s (drop tables 0.00 s, create tables 0.06 s, client-side generate
↳ 28.00 s, vacuum 154.35 s, primary keys 13.83 s).
```

Lancer des tests (lectures uniquement, avec `--select`) de 60 secondes avec 80 connexions : \ une fois sur le pooler, et une fois directement sur le serveur. Comparer les performances.

NB : Pour des résultats rigoureux, pgbench doit être utilisé sur une plus longue durée.

Sur le pooler, on lance :

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench \
--select -T 60 -c 80 -p 6432 -U pooler -h 127.0.0.1 -d bench 2>/dev/null
starting vacuum...end.
transaction type: <builtin: select only>
scaling factor: 100
query mode: simple
number of clients: 80
number of threads: 1
duration: 60 s
number of transactions actually processed: 209465
latency average = 22.961 ms
tps = 3484.222638 (including connections establishing)
tps = 3484.278500 (excluding connections establishing)
```

(Ces chiffres ont été obtenus sur un portable avec SSD.)

On recommence directement sur l'instance. (Si l'ordre échoue par saturation des connexions, il faudra attendre que PgBouncer relâche les 20 connexions qu'il a gardées ouvertes.)

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench \
--select -T 60 -c 80 -p 5432 -U pooler -h 127.0.0.1 -d bench 2>/dev/null
starting vacuum...end.
transaction type: <builtin: select only>
scaling factor: 100
query mode: simple
number of clients: 80
number of threads: 1
duration: 60 s
number of transactions actually processed: 241482
latency average = 19.884 ms
tps = 4023.255058 (including connections establishing)
tps = 4023.573501 (excluding connections establishing)
```

Le test n'est pas assez rigoureux (surtout sur une petite machine de test) pour dire plus que : les résultats sont voisins.

Refaire ce test en demandant d'ouvrir et fermer les connexions (`-C`), sur le serveur puis sur le pooler. Effectuer un `SHOW POOLS` pendant ce dernier test.

Sur le serveur :

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench \  
-C --select -T 60 -c 80 -p 5432 -U pooler -h 127.0.0.1 -d bench 2>/dev/null  
Password:  
transaction type: <builtin: select only>  
scaling factor: 100  
query mode: simple  
number of clients: 80  
number of threads: 1  
duration: 60 s  
number of transactions actually processed: 9067  
latency average = 529.654 ms  
tps = 151.041956 (including connections establishing)  
tps = 152.922609 (excluding connections establishing)
```

On constate une division par 26 du débit de transactions : le coût des connexions/déconnexions est énorme.

Si on passe par le pooler :

```
$ /usr/pgsql-14/bin/pgbench \  
-C --select -T 60 -c 80 -p 6432 -U pooler -h 127.0.0.1 -d bench 2>/dev/null  
Password:  
transaction type: <builtin: select only>  
scaling factor: 100  
query mode: simple  
number of clients: 80  
number of threads: 1  
duration: 60 s  
number of transactions actually processed: 49926  
latency average = 96.183 ms  
tps = 831.745556 (including connections establishing)  
tps = 841.461561 (excluding connections establishing)
```

On ne retrouve pas les performances originales, mais le gain est tout de même d'un facteur 5, puisque les connexions existantes sur le serveur PostgreSQL sont réutilisées et n'ont pas à être recréées.

Pendant ce dernier test, on peut consulter les connexions ouvertes : il n'y en que 20, pas 80. Noter le grand nombre de celles en attente.

```
pgbouncer=# SHOW POOLS \gx  
-[ RECORD 1 ]-----  
database | bench  
user     | pooler  
cl_active | 20  
cl_waiting | 54  
sv_active | 20  
sv_idle   | 0
```

```
sv_used      | 0
sv_tested    | 0
sv_login     | 0
maxwait      | 0
maxwait_us   | 73982
pool_mode    | session
...
```

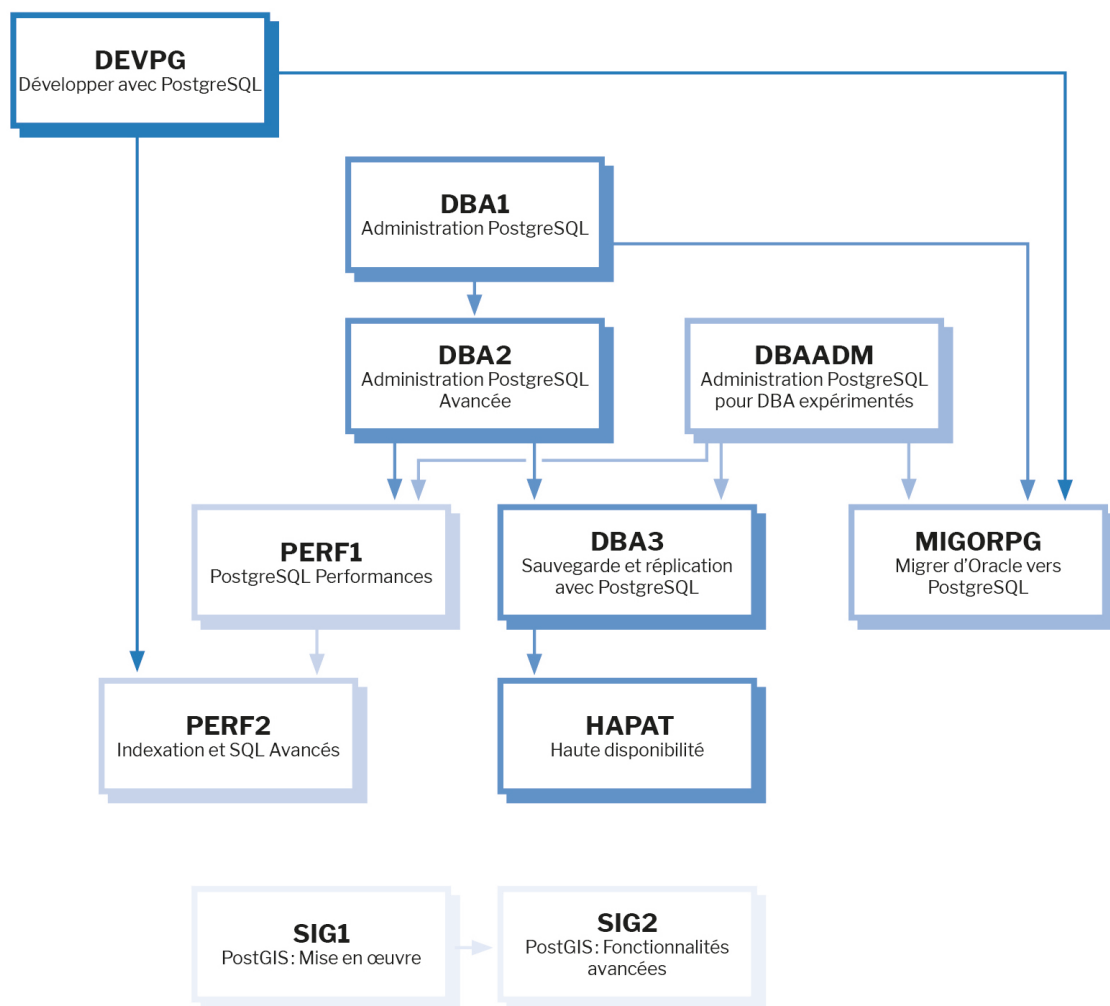
Ces tests n'ont pas pour objectif d'être représentatif mais juste de mettre en évidence le coût d'ouverture/fermeture de connexion. Dans ce cas, le pooler peut apporter un gain très significatif sur les performances.

Les formations Dalibo

Retrouvez nos formations et le calendrier sur <https://dali.bo/formation>

Pour toute information ou question, n'hésitez pas à nous écrire sur contact@dalibo.com.

Cursus des formations



Retrouvez nos formations dans leur dernière version :

- DBA1 : Administration PostgreSQL
<https://dali.bo/dba1>
- DBA2 : Administration PostgreSQL avancé
<https://dali.bo/dba2>
- DBA3 : Sauvegarde et réplication avec PostgreSQL
<https://dali.bo/dba3>
- DEVPG : Développer avec PostgreSQL
<https://dali.bo/devpg>
- PERF1 : PostgreSQL Performances
<https://dali.bo/perf1>
- PERF2 : Indexation et SQL avancés
<https://dali.bo/perf2>
- MIGORPG : Migrer d'Oracle à PostgreSQL
<https://dali.bo/migorgpg>
- HAPAT : Haute disponibilité avec PostgreSQL
<https://dali.bo/hapat>

Les livres blancs

- Migrer d'Oracle à PostgreSQL
<https://dali.bo/dlb01>
- Industrialiser PostgreSQL
<https://dali.bo/dlb02>
- Bonnes pratiques de modélisation avec PostgreSQL
<https://dali.bo/dlb04>
- Bonnes pratiques de développement avec PostgreSQL
<https://dali.bo/dlb05>

Téléchargement gratuit

Les versions électroniques de nos publications sont disponibles gratuitement sous licence open source ou sous licence Creative Commons.

