

Formation DBA2

PostgreSQL Avancé



23.09

Table des matières

Chers lectrices & lecteurs,	1
À propos de DALIBO	1
Remerciements	1
Licence Creative Commons CC-BY-NC-SA	2
Marques déposées	2
Sur ce document	2
1/ Architecture & fichiers de PostgreSQL	5
1.1 Au menu	6
1.2 Rappels sur l'installation	7
1.2.1 Paquets précompilés	7
1.2.2 Installons PostgreSQL	8
1.3 Processus de PostgreSQL	9
1.3.1 Processus d'arrière-plan	9
1.3.2 Processus d'arrière-plan (suite)	10
1.4 Processus par client (client backend)	12
1.5 Gestion de la mémoire	14
1.6 Fichiers	15
1.6.1 Répertoire de données	16
1.6.2 Fichiers de configuration	17
1.6.3 Autres fichiers dans PGDATA	17
1.6.4 Fichiers de données	19
1.6.5 Fichiers liés aux transactions	21
1.6.6 Fichiers liés à la réplication	23
1.6.7 Répertoire des tablespaces	24
1.6.8 Fichiers des statistiques d'activité	25
1.6.9 Autres répertoires	25
1.6.10 Les fichiers de traces (journaux)	26
1.7 Conclusion	27
1.7.1 Questions	27
1.8 Quiz	28
1.9 Installation de PostgreSQL depuis les paquets communautaires	29
1.9.1 Sur Rocky Linux 8	29
1.9.2 Sur Red Hat 7 / Cent OS 7	31
1.9.3 Sur Debian / Ubuntu	31
1.9.4 Accès à l'instance sur le serveur même	33
1.10 Travaux pratiques	36
1.10.1 Processus	36
1.10.2 Fichiers	37
1.11 Travaux pratiques (solutions)	38
1.11.1 Processus	38
1.11.2 Fichiers	41

2/ Configuration de PostgreSQL	47
2.1 Au menu	48
2.2 Paramètres en lecture seule	49
2.3 Fichiers de configuration	50
2.4 postgresql.conf	51
2.4.1 Surcharge des paramètres de postgresql.conf	52
2.4.2 Survol de postgresql.conf	55
2.5 pg_hba.conf et pg_ident.conf	57
2.6 Tablespaces	58
2.6.1 Tablespaces : mise en place	60
2.6.2 Tablespaces : configuration	61
2.7 Gestion des connexions	64
2.7.1 TCP	64
2.7.2 SSL	65
2.8 Statistiques sur l'activité	66
2.8.1 Statistiques d'activité collectées	68
2.8.2 Vues système	68
2.9 Statistiques sur les données	73
2.10 Optimiseur	76
2.10.1 Optimisation par les coûts	77
2.10.2 Paramètres supplémentaires de l'optimiseur (1)	79
2.10.3 Paramètres supplémentaires de l'optimiseur (2)	80
2.10.4 Débogage de l'optimiseur	81
2.11 Conclusion	85
2.11.1 Questions	85
2.12 Quiz	86
2.13 Travaux pratiques	87
2.13.1 Tablespace	87
2.13.2 Statistiques d'activités, tables et vues système	87
2.13.3 Statistiques sur les données	88
2.14 Travaux pratiques (solutions)	90
2.14.1 Tablespace	90
2.14.2 Statistiques d'activités, tables et vues système	91
2.14.3 Statistiques sur les données	94
3/ Mémoire et journalisation dans PostgreSQL	97
3.1 Au menu	98
3.2 Mémoire partagée	99
3.3 Mémoire par processus	101
3.4 Shared buffers	104
3.4.1 Notions essentielles de gestion du cache	106
3.4.2 Ring buffer	107
3.4.3 Contenu du cache	108
3.4.4 Synchronisation en arrière plan	109

3.5	Journalisation	111
3.5.1	Journaux de transaction (rappels)	111
3.5.2	Checkpoint	112
3.5.3	Déclenchement & comportement des checkpoints - 1	113
3.5.4	Déclenchement & comportement des checkpoints - 2	115
3.5.5	WAL buffers : journalisation en mémoire	116
3.5.6	Compression des journaux	117
3.5.7	Limiter le coût de la journalisation	117
3.6	Au-delà de la journalisation	119
3.6.1	L'archivage des journaux	119
3.6.2	Réplication	120
3.7	Conclusion	122
3.7.1	Questions	122
3.8	Quiz	123
3.9	Introduction à pgbench	124
3.9.1	Installation	124
3.9.2	Générer de l'activité	124
3.10	Travaux pratiques	126
3.10.1	Mémoire partagée	126
3.10.2	Mémoire de tri	126
3.10.3	Cache disque de PostgreSQL	127
3.10.4	Journaux	128
3.11	Travaux pratiques (solutions)	129
3.11.1	Mémoire partagée	129
3.11.2	Mémoire de tri	131
3.11.3	Cache disque de PostgreSQL	132
3.11.4	Journaux	136
4/	Mécanique du moteur transactionnel & MVCC	139
4.1	Introduction	140
4.2	Au menu	141
4.3	Présentation de MVCC	142
4.3.1	Alternative à MVCC : un seul enregistrement en base	142
4.3.2	Implémentation de MVCC par <i>undo</i>	143
4.3.3	L'implémentation MVCC de PostgreSQL	144
4.4	Niveaux d'isolation	146
4.4.1	Niveau READ UNCOMMITTED	146
4.4.2	Niveau READ COMMITTED	147
4.4.3	Niveau REPEATABLE READ	147
4.4.4	Niveau SERIALIZABLE	148
4.5	Structure d'un bloc	150
4.6	xmin & xmax	152
4.6.1	xmin & xmax (suite)	152
4.6.2	xmin & xmax (suite)	153
4.6.3	xmin & xmax (suite)	153

4.7	CLOG	155
4.8	Avantages du MVCC PostgreSQL	156
4.9	Inconvénients du MVCC PostgreSQL	157
4.9.1	Le problème du wraparound	158
4.10	Optimisations de MVCC	160
4.11	Verrouillage et MVCC	161
4.11.1	Le gestionnaire de verrous	161
4.11.2	Verrous sur enregistrement	162
4.11.3	La vue pg_locks	163
4.11.4	Verrous - Paramètres	164
4.12	Mécanisme TOAST	167
4.13	Conclusion	173
4.13.1	Questions	173
4.14	Quiz	174
4.15	Travaux pratiques	175
4.15.1	Niveaux d'isolation READ COMMITTED et REPEATABLE READ	175
4.15.2	Niveau d'isolation SERIALIZABLE (Optionnel)	175
4.15.3	Effets de MVCC	177
4.15.4	Verrous	178
4.16	Travaux pratiques (solutions)	180
4.16.1	Niveaux d'isolation READ COMMITTED et REPEATABLE READ	180
4.16.2	Niveau d'isolation SERIALIZABLE (Optionnel)	182
4.16.3	Effets de MVCC	187
4.16.4	Verrous	192
5/	VACUUM et autovacuum	197
5.1	Au menu	198
5.2	VACUUM et autovacuum	199
5.3	Fonctionnement de VACUUM	200
5.3.1	Fonctionnement de VACUUM (suite)	201
5.3.2	Fonctionnement de VACUUM (suite)	202
5.4	Les options de VACUUM	203
5.4.1	Autres options de VACUUM	204
5.5	Suivi du VACUUM	207
5.5.1	Progression du VACUUM	208
5.6	Autovacuum	210
5.6.1	Paramétrage du déclenchement de l'autovacuum	210
5.6.2	Déclenchement de l'autovacuum	211
5.6.3	Déclenchement de l'autovacuum (suite)	212
5.7	Paramétrage de VACUUM & autovacuum	214
5.7.1	VACUUM vs autovacuum	214
5.7.2	Mémoire	215
5.7.3	Bridage du VACUUM et de l'autovacuum	216
5.7.4	Paramétrage du FREEZE	217

5.8	Autres problèmes courants	221
5.8.1	Arrêter un VACUUM ?	221
5.8.2	Ce qui peut bloquer le VACUUM FREEZE	222
5.9	Résumé des conseils sur l'autovacuum (1/2)	224
5.10	Résumé des conseils sur l'autovacuum (2/2)	225
5.11	Conclusion	226
5.11.1	Questions	226
5.12	Quiz	227
5.13	Travaux pratiques	228
5.13.1	Traiter la fragmentation	228
5.13.2	Détecter la fragmentation	229
5.13.3	Gestion de l'autovacuum	230
5.14	Travaux pratiques (solutions)	232
5.14.1	Traiter la fragmentation	232
5.14.2	Détecter la fragmentation	235
5.14.3	Gestion de l'autovacuum	237
6/	Partitionnement déclaratif (introduction)	243
6.1	Principe & intérêts du partitionnement	244
6.2	Partitionnement déclaratif	246
6.2.1	Partitionnement par liste	247
6.2.2	Partitionnement par intervalle	247
6.2.3	Partitionnement par hachage	248
6.3	Performances & partitionnement	249
6.3.1	Attacher/détacher une partition	251
6.3.2	Supprimer une partition	251
6.3.3	Limitations principales du partitionnement déclaratif	252
6.4	Conclusion	253
6.5	Quiz	254
7/	Sauvegarde physique à chaud et PITR	255
7.1	Introduction	256
7.1.1	Au menu	256
7.2	PITR	258
7.2.1	Principes	258
7.2.2	Avantages	259
7.2.3	Inconvénients	260
7.3	Copie physique à chaud ponctuelle avec pg_basebackup	261
7.4	Sauvegarde PITR	264
7.4.1	Méthodes d'archivage	264
7.4.2	Choix du répertoire d'archivage	265
7.4.3	Processus archiver : configuration	265
7.4.4	Processus archiver : lancement	268
7.4.5	Processus archiver : supervision	269
7.4.6	pg_receivewal	271
7.4.7	pg_receivewal - configuration serveur	272

7.4.8	pg_receivewal - redémarrage du serveur	273
7.4.9	pg_receivewal - lancement de l'outil	274
7.4.10	Avantages et inconvénients	275
7.5	Sauvegarde PITR manuelle	276
7.5.1	Sauvegarde manuelle - 1/3 : pg_backup_start	277
7.5.2	Sauvegarde manuelle - 2/3 : copie des fichiers	278
7.5.3	Sauvegarde manuelle - 3/3 : pg_backup_stop	280
7.5.4	Sauvegarde de base à chaud : pg_basebackup	281
7.5.5	Fréquence de la sauvegarde de base	282
7.5.6	Suivi de la sauvegarde de base	282
7.6	Restaurer une sauvegarde PITR	283
7.6.1	Restaurer une sauvegarde PITR (1/5)	283
7.6.2	Restaurer une sauvegarde PITR (2/5)	283
7.6.3	Restaurer une sauvegarde PITR (3/5)	284
7.6.4	Restaurer une sauvegarde PITR (4/5)	285
7.6.5	Restaurer une sauvegarde PITR (5/5)	287
7.6.6	Restauration PITR : durée	288
7.6.7	Restauration PITR : différentes timelines	289
7.6.8	Restauration PITR : illustration des timelines	291
7.6.9	Après la restauration	293
7.7	Pour aller plus loin	294
7.7.1	Compresser les journaux de transactions	294
7.7.2	Outils de sauvegarde PITR dédiés	295
7.7.3	pgBackRest	295
7.7.4	barman	296
7.7.5	pitriery	297
7.8	Conclusion	298
7.8.1	Questions	298
7.9	Quiz	299
7.10	Travaux pratiques	300
7.10.1	pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration	300
7.10.2	pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration des journaux suivants	301
7.11	Travaux pratiques (solutions)	303
7.11.1	pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration	303
7.11.2	pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration des journaux suivants	307
8/	PostgreSQL : Gestion d'un sinistre	313
8.1	Introduction	314
8.1.1	Au menu	314
8.2	Anticiper les désastres	315
8.2.1	Documentation	315
8.2.2	Procédures et scripts	316
8.2.3	Supervision et historisation	317
8.2.4	Automatisation	318

8.3	Réagir aux désastres	319
8.3.1	Symptômes d'un désastre	319
8.3.2	Bons réflexes 1	320
8.3.3	Bons réflexes 2	321
8.3.4	Bons réflexes 3	322
8.3.5	Bons réflexes 4	323
8.3.6	Bons réflexes 5	323
8.3.7	Bons réflexes 6	324
8.3.8	Bons réflexes 7	325
8.3.9	Bons réflexes 8	326
8.3.10	Mauvais réflexes 1	327
8.3.11	Mauvais réflexes 2	328
8.3.12	Mauvais réflexes 3	329
8.4	Rechercher l'origine du problème	330
8.4.1	Prérequis	330
8.4.2	Recherche d'historique	330
8.4.3	Matériel	331
8.4.4	Virtualisation	332
8.4.5	Système d'exploitation 1	333
8.4.6	Système d'exploitation 2	333
8.4.7	Système d'exploitation 3	334
8.4.8	PostgreSQL	335
8.4.9	Paramétrage de PostgreSQL : écriture des fichiers	336
8.4.10	Paramétrage de PostgreSQL : les sommes de contrôle	337
8.4.11	Erreur de manipulation	338
8.5	Outils	340
8.5.1	Outils - pg_controldata	340
8.5.2	Outils - export/import de données	342
8.5.3	Outils - pageinspect	344
8.5.4	Outils - pg_resetwal	347
8.5.5	Outils - Extension pg_surgery	348
8.5.6	Outils - Vérification d'intégrité	349
8.6	Cas type de désastres	351
8.6.1	Avertissement	351
8.6.2	Corruption de blocs dans des index	352
8.6.3	Corruption de blocs dans des tables 1	352
8.6.4	Corruption de blocs dans des tables 2	353
8.6.5	Corruption de blocs dans des tables 3	354
8.6.6	Corruption des WAL 1	355
8.6.7	Corruption des WAL 2	355
8.6.8	Corruption du fichier de contrôle	356
8.6.9	Corruption du CLOG	357
8.6.10	Corruption du catalogue système	357
8.7	Conclusion	359
8.8	Quiz	360

8.9	Travaux pratiques	361
8.9.1	Corruption d'un bloc de données	361
8.9.2	Corruption d'un bloc de données et incohérences	362
8.10	Travaux pratiques (solution)	364
8.10.1	Corruption d'un bloc de données	364
8.10.2	Corruption d'un bloc de données et incohérences	367
Les formations Dalibo		371
	Cursus des formations	371
	Les livres blancs	372
	Téléchargement gratuit	372

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>

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 :

Jean-Paul Argudo, Alexandre Anriot, Carole Arnaud, Alexandre Baron, David Bidoc, Sharon Bonan, Franck Boudehen, Arnaud Bruniquel, Pierrick Chovelon, Damien Clochard, Christophe Courtois, Marc Cousin, Gilles Darold, Jehan-Guillaume de Rorthais, Ronan Dunklau, Vik Fearing, Stefan Fercot, Pierre Giraud, Nicolas Gollet, Dimitri Fontaine, 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, Julien Rouhaud, Stéphane Schildknecht, Julien Tachaires, Nicolas Thauvin, Be Hai Tran, Christophe Truffier, Cédric Villemain, Thibaud Walkowiak, Frédéric Yhuel.

¹<mailto:formation@dalibo.com>

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>

Cela inclut les diapositives, les manuels eux-mêmes et les travaux pratiques.

Cette formation peut également contenir quelques images 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.

Sur ce document

Formation	Formation DBA2
Titre	PostgreSQL Avancé
Révision	23.09
ISBN	N/A
PDF	https://dali.bo/dba2_pdf

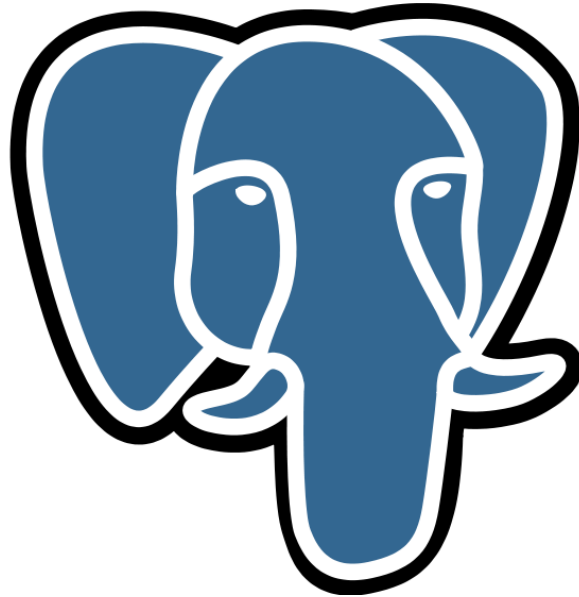
²<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/legalcode>

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

EPUB	https://dali.bo/dba2_epub
HTML	https://dali.bo/dba2_html
Slides	https://dali.bo/dba2_slides

Vous trouverez en ligne les différentes versions complètes de ce document. La version imprimée ne contient pas les travaux pratiques. Ils sont présents dans la version numérique (PDF ou HTML).

1/ Architecture & fichiers de PostgreSQL



1.1 AU MENU



- Rappels sur l'installation
- Les processus
- Les fichiers

Le présent module vise à donner un premier aperçu global du fonctionnement interne de PostgreSQL.

Après quelques rappels sur l'installation, nous verrons essentiellement les processus et les fichiers utilisés.

1.2 RAPPELS SUR L'INSTALLATION



- Plusieurs possibilités
 - paquets Linux précompilés
 - outils externes d'installation
 - code source
- Chacun ses avantages et inconvénients
 - Dalibo recommande fortement les paquets précompilés

Nous recommandons très fortement l'utilisation des paquets Linux précompilés. Dans certains cas, il ne sera pas possible de faire autrement que de passer par des outils externes, comme l'installateur d'EnterpriseDB sous Windows.

1.2.1 Paquets précompilés



- Paquets Debian ou Red Hat suivant la distribution utilisée
- Préférence forte pour ceux de la communauté
- Installation du paquet
 - installation des binaires
 - création de l'utilisateur postgres
 - initialisation d'une instance (Debian seulement)
 - lancement du serveur (Debian seulement)
- (Red Hat) Script de création de l'instance

Debian et Red Hat fournissent des paquets précompilés adaptés à leur distribution. Dalibo recommande d'installer les paquets de la communauté, ces derniers étant bien plus à jour que ceux des distributions.

L'installation d'un paquet provoque la création d'un utilisateur système nommé postgres et l'installation des binaires. Suivant les distributions, l'emplacement des binaires change. Habituellement, tout est placé dans `/usr/pgsql-<version majeure>` pour les distributions Red Hat et dans `/usr/lib/postgresql/<version majeure>` pour les distributions Debian.

Dans le cas d'une distribution Debian, une instance est immédiatement créée dans `/var/lib/postgresql/<version majeure>/main`. Elle est ensuite démarrée.

Dans le cas d'une distribution Red Hat, aucune instance n'est créée automatiquement. Il faudra utiliser un script (dont le nom dépend de la version de la distribution) pour créer l'instance, puis nous pourrons utiliser le script de démarrage pour lancer le serveur.

1.2.2 Installons PostgreSQL



- Prenons un moment pour
 - installer PostgreSQL
 - créer une instance
 - démarrer l'instance
- Pas de configuration spécifique pour l'instant

L'annexe ci-dessous décrit l'installation de PostgreSQL sans configuration particulière pour suivre le reste de la formation.

1.3 PROCESSUS DE POSTGRESQL



- PostgreSQL est :
 - multi-processus (et non multi-thread)
 - à mémoire partagée
 - client-serveur

L'architecture PostgreSQL est une architecture multi-processus et non multi-thread.

Cela signifie que chaque processus de PostgreSQL s'exécute dans un contexte mémoire isolé, et que la communication entre ces processus repose sur des mécanismes systèmes inter-processus : sémaphores, zones de mémoire partagée, sockets. Ceci s'oppose à l'architecture multi-thread, où l'ensemble du moteur s'exécute dans un seul processus, avec plusieurs threads (contextes) d'exécution, où tout est partagé par défaut.

Le principal avantage de cette architecture multi-processus est la stabilité : un processus, en cas de problème, ne corrompt que sa mémoire (ou la mémoire partagée), le plantage d'un processus n'affecte pas directement les autres. Son principal défaut est une allocation statique des ressources de mémoire partagée : elles ne sont pas redimensionnables à chaud.

Tous les processus de PostgreSQL accèdent à une zone de « mémoire partagée ». Cette zone contient les informations devant être partagées entre les clients, comme un cache de données, ou des informations sur l'état de chaque session par exemple.

PostgreSQL utilise une architecture client-serveur. Nous ne nous connectons à PostgreSQL qu'à travers d'un protocole bien défini, nous n'accédons jamais aux fichiers de données.

1.3.1 Processus d'arrière-plan



```
# ps f -e --format=pid,command | grep -E "postgres|postmaster"
96122 /usr/pgsql-15/bin/postmaster -D /var/lib/pgsql/15/data/
96123 \_ postgres: logger
96125 \_ postgres: checkpointer
96126 \_ postgres: background writer
96127 \_ postgres: walwriter
96128 \_ postgres: autovacuum launcher
96131 \_ postgres: logical replication launcher
```

(sous Rocky Linux 8)

Nous constatons que plusieurs processus sont présents dès le démarrage de PostgreSQL. Nous allons les détailler.

NB : sur Debian, le postmaster est nommé *postgres* comme ses processus fils ; sous Windows les noms des processus sont par défaut moins verbeux.

1.3.2 Processus d'arrière-plan (suite)



- Les processus présents au démarrage :
 - Un processus père : *postmaster*
 - *background writer*
 - *checkpointer*
 - *walwriter*
 - *autovacuum launcher*
 - *stats collector* (avant la v15)
 - *logical replication launcher*
- et d'autres selon la configuration et le moment :
 - dont les *background workers* : parallélisation, extensions...

Le *postmaster* est responsable de la supervision des autres processus, ainsi que de la prise en compte des connexions entrantes.

Le *background writer* et le *checkpointer* s'occupent d'effectuer les écritures en arrière plan, évitant ainsi aux sessions des utilisateurs de le faire.

Le *walwriter* écrit le journal de transactions de façon anticipée, afin de limiter le travail de l'opération COMMIT.

L'*autovacuum launcher* pilote les opérations d'« autovacuum ».

Avant la version 15, le *stats collector* collecte les statistiques d'activité du serveur. À partir de la version 15, ces informations sont conservées en mémoire jusqu'à l'arrêt du serveur où elles sont stockées sur disque jusqu'au prochain démarrage.

Le *logical replication launcher* est un processus dédié à la réplication logique, activé par défaut à partir de la version 10.

Des processus supplémentaires peuvent apparaître, comme un *walsender* dans le cas où la base est le serveur primaire du cluster de réplication, un *logger* si PostgreSQL doit gérer lui-même les fichiers de traces (par défaut sous Red Hat, mais pas sous Debian), ou un *archiver* si l'instance est paramétrée pour générer des archives de ses journaux de transactions.

Ces différents processus seront étudiés en détail dans d'autres modules de formation.

Aucun de ces processus ne traite de requête pour le compte des utilisateurs. Ce sont des processus d'arrière-plan effectuant des tâches de maintenance.

Il existe aussi les *background workers* (processus d'arrière-plan), lancés par PostgreSQL, mais aussi par des extensions tierces. Par exemple, la parallélisation des requêtes se base sur la création temporaire de *background workers* épaulant le processus principal de la requête. La réplication logique utilise des *background workers* à plus longue durée de vie. De nombreuses extensions en utilisent pour des raisons très diverses. Le paramètre `max_worker_processes` régule le nombre de ces *workers*. Ne descendez pas en-dessous du défaut (8). Il faudra même parfois monter plus haut.

1.4 PROCESSUS PAR CLIENT (CLIENT BACKEND)



- Pour chaque client, nous avons un processus :
 - créé à la connexion
 - dédié au client...
 - ...et qui dialogue avec lui
 - détruit à la déconnexion
- Un processus gère une requête
 - peut être aidé par d'autres processus (≥ 9.6)
- Le nombre de processus est régi par les paramètres :
 - `max_connections` (défaut : 100)
 - `superuser_reserved_connections` (3)

* compromis	nombre	requêtes	actives/nombre
	cœurs/complexité/mémoire		

Pour chaque nouvelle session à l'instance, le processus postmaster crée un processus fils qui s'occupe de gérer cette session.

Ce processus reçoit les ordres SQL, les interprète, exécute les requêtes, trie les données, et enfin retourne les résultats. À partir de la version 9.6, dans certains cas, il peut demander le lancement d'autres processus pour l'aider dans l'exécution d'une requête en lecture seule (parallélisme).

Il y a un processus dédié à chaque connexion cliente, et ce processus est détruit à fin de cette connexion.

Le dialogue entre le client et ce processus respecte un protocole réseau bien défini. Le client n'a jamais accès aux données par un autre moyen que par ce protocole.

Le nombre maximum de connexions à l'instance simultanées, actives ou non, est limité par le paramètre `max_connections`. Le défaut est 100. Afin de permettre à l'administrateur de se connecter à l'instance si cette limite était atteinte, `superuser_reserved_connections` sont réservées aux superutilisateurs de l'instance.

Une prise en compte de la modification de ces deux paramètres impose un redémarrage complet de l'instance, puisqu'ils ont un impact sur la taille de la mémoire partagée entre les processus PostgreSQL.

La valeur 100 pour `max_connections` est généralement suffisante. Il peut être intéressant de la diminuer pour monter `work_mem` et autoriser plus de mémoire de tri. Il est possible de l'augmenter pour qu'un plus grand nombre d'utilisateurs puisse se connecter en même temps.

Il s'agit aussi d'arbitrer entre le nombre de requêtes à exécuter à un instant t , le nombre de CPU disponibles, la complexité des requêtes, et le nombre de processus que peut gérer l'OS.

Cela est encore compliqué par le parallélisme et la limitation de la bande passante des disques.

Intercaler un « pooler » entre les clients et l'instance peut se justifier dans certains cas :

- connexions/déconnexions très fréquentes (la connexion a un coût) ;
- centaines, voire milliers, de connexions généralement inactives.

Le plus réputé est PgBouncer.

1.5 GESTION DE LA MÉMOIRE



Structure de la mémoire sous PostgreSQL

- Zone de mémoire partagée :
 - *shared buffers* surtout
 - ...
- Zone de chaque processus
 - tris en mémoire (*work_mem*)
 - ...

La gestion de la mémoire dans PostgreSQL mérite un module de formation à lui tout seul.

Pour le moment, bornons-nous à la séparer en deux parties : la mémoire partagée et celle attribuée à chacun des nombreux processus.

La mémoire partagée stocke principalement le cache des données de PostgreSQL (*shared buffers*, paramètre *shared_buffers*), et d'autres zones plus petites : cache des journaux de transactions, données de sessions, les verrous, etc.

La mémoire propre à chaque processus sert notamment aux tris en mémoire (définie en premier lieu par le paramètre *work_mem*), au cache de tables temporaires, etc.

1.6 FICHIERS



- Une instance est composée de fichiers :
 - Répertoire de données
 - Fichiers de configuration
 - Fichier PID
 - Tablespaces
 - Statistiques
 - Fichiers de trace

Une instance est composée des éléments suivants :

Le répertoire de données :

Il contient les fichiers obligatoires au bon fonctionnement de l'instance : fichiers de données, journaux de transaction....

Les fichiers de configuration :

Selon la distribution, ils sont stockés dans le répertoire de données (Red Hat et dérivés comme CentOS ou Rocky Linux), ou dans `/etc/postgresql` (Debian et dérivés).

Un fichier PID :

Il permet de savoir si une instance est démarrée ou non, et donc à empêcher un second jeu de processus d'y accéder.

Le paramètre `external_pid_file` permet d'indiquer un emplacement où PostgreSQL créera un second fichier de PID, généralement à l'extérieur de son répertoire de données.

Des tablespaces :

Ils sont totalement optionnels. Ce sont des espaces de stockage supplémentaires, stockés habituellement dans d'autres systèmes de fichiers.

Le fichier de statistiques d'exécution :

Généralement dans `pg_stat_tmp/`.

Les fichiers de trace :

Typiquement, des fichiers avec une variante du nom `postgresql.log`, souvent datés. Ils sont par défaut dans le répertoire de l'instance, sous `log/`. Sur Debian, ils sont redirigés vers la sortie d'erreur du système. Ils peuvent être redirigés vers un autre mécanisme du système d'exploitation (syslog sous Unix, journal des événements sous Windows),

1.6.1 Répertoire de données



```
postgres$ ls $PGDATA
base                pg_ident.conf      pg_stat            pg_xact
current_logfiles    pg_logical          pg_stat_tmp        postgresql.auto.conf
global              pg_multixact        pg_subtrans        postgresql.conf
log                 pg_notify           pg_tblspc          postmaster.opts
pg_commit_ts        pg_replslot         pg_twophase        postmaster.pid
pg_dynshmem         pg_serial           PG_VERSION
pg_hba.conf         pg_snapshots        pg_wal
```

Le répertoire de données est souvent appelé PGDATA, du nom de la variable d'environnement que l'on peut faire pointer vers lui pour simplifier l'utilisation de nombreux utilitaires PostgreSQL. Il est possible aussi de le connaître, une fois connecté à une base de l'instance, en interrogeant le paramètre `data_directory`.

```
SHOW data_directory;

      data_directory
-----
/var/lib/pgsql/15/data
```



Ce répertoire ne doit être utilisé que par une seule instance (processus) à la fois ! PostgreSQL vérifie au démarrage qu'aucune autre instance du même serveur n'utilise les fichiers indiqués, mais cette protection n'est pas absolue, notamment avec des accès depuis des systèmes différents. Faites donc bien attention de ne lancer PostgreSQL qu'une seule fois sur un répertoire de données.

Il est recommandé de ne jamais créer ce répertoire PGDATA à la racine d'un point de montage, quel que soit le système d'exploitation et le système de fichiers utilisé. Si un point de montage est dédié à l'utilisation de PostgreSQL, positionnez-le toujours dans un sous-répertoire, voire deux niveaux en dessous du point de montage. (par exemple `<point de montage>/<version majeure>/<nom instance>`).

Voir à ce propos le chapitre *Use of Secondary File Systems* dans la documentation officielle : <https://www.postgresql.org/docs/current/creating-cluster.html>.

Vous pouvez trouver une description de tous les fichiers et répertoires dans la documentation officielle¹.

¹<https://www.postgresql.org/docs/current/static/storage-file-layout.html>

1.6.2 Fichiers de configuration



- `postgresql.conf`
- `postgresql.auto.conf`
- `pg_hba.conf`
- `pg_ident.conf`

Les fichiers de configuration sont de simples fichiers textes. Habituellement, ce sont les suivants.

`postgresql.conf` contient une liste de paramètres, sous la forme `paramètre=valeur`. Tous les paramètres sont modifiables (et présents) dans ce fichier. Selon la configuration, il peut inclure d'autres fichiers, mais ce n'est pas le cas par défaut.

`postgresql.auto.conf` stocke les paramètres de configuration fixés en utilisant la commande `ALTER SYSTEM`. Il surcharge donc `postgresql.conf`. Il est déconseillé de le modifier à la main.

`pg_hba.conf` contient les règles d'authentification à la base selon leur identité, la base, la provenance, etc.

`pg_ident.conf` est plus rarement utilisé. Il complète `pg_hba.conf`, par exemple pour rapprocher des utilisateurs système ou propres à PostgreSQL.

Leur utilisation est décrite dans notre première formation².

1.6.3 Autres fichiers dans PGDATA



- `PG_VERSION` : fichier contenant la version majeure de l'instance
- `postmaster.pid`
 - nombreuses informations sur le processus père
 - fichier externe possible, paramètre `external_pid_file`
- `postmaster.opts`

`PG_VERSION` est un fichier. Il contient en texte lisible la version majeure devant être utilisée pour accéder au répertoire (par exemple 15). On trouve ces fichiers `PG_VERSION` à de nombreux endroits de l'arborescence de PostgreSQL, par exemple dans chaque répertoire de base du répertoire `PGDATA/base/` ou à la racine de chaque tablespace.

²https://dali.bo/f_html

Le fichier `postmaster.pid` est créé au démarrage de PostgreSQL. PostgreSQL y indique le PID du processus père sur la première ligne, l'emplacement du répertoire des données sur la deuxième ligne et la date et l'heure du lancement de `postmaster` sur la troisième ligne ainsi que beaucoup d'autres informations. Par exemple :

```
~$ cat /var/lib/postgresql/15/data/postmaster.pid
7771
/var/lib/postgresql/15/data
1503584802
5432
/tmp
localhost
  5432001  54919263
ready

$ ps -HFC postgres
UID  PID  SZ   RSS  PSR  STIME  TIME  CMD
pos  7771  0 42486 16536   3 16:26 00:00 /usr/local/pgsql/bin/postgres
                                -D /var/lib/postgresql/15/data
pos  7773  0 42486  4656   0 16:26 00:00 postgres: checkpointer
pos  7774  0 42486  5044   1 16:26 00:00 postgres: background writer
pos  7775  0 42486  8224   1 16:26 00:00 postgres: walwriter
pos  7776  0 42850  5640   1 16:26 00:00 postgres: autovacuum launcher
pos  7777  0 42559  3684   0 16:26 00:00 postgres: logical replication launcher

$ ipcs -p |grep 7771
54919263  postgres  7771          10640

$ ipcs | grep 54919263
0x0052e2c1 54919263  postgres  600          56          6
```

Le processus père de cette instance PostgreSQL a comme PID le 7771. Ce processus a bien réclamé une sémaphore d'identifiant 54919263. Cette sémaphore correspond à des segments de mémoire partagée pour un total de 56 octets. Le répertoire de données se trouve bien dans `/var/lib/postgresql/15/data`.

Le fichier `postmaster.pid` est supprimé lors de l'arrêt de PostgreSQL. Cependant, ce n'est pas le cas après un arrêt brutal. Dans ce genre de cas, PostgreSQL détecte le fichier et indique qu'il va malgré tout essayer de se lancer s'il ne trouve pas de processus en cours d'exécution avec ce PID. Un fichier supplémentaire peut être créé ailleurs grâce au paramètre `external_pid_file`, c'est notamment le défaut sous Debian :

```
external_pid_file = '/var/run/postgresql/15-main.pid'
```

Par contre, ce fichier ne contient que le PID du processus père.

Quant au fichier `postmaster.opts`, il contient les arguments en ligne de commande correspondant au dernier lancement de PostgreSQL. Il n'est jamais supprimé. Par exemple :

```
$ cat $PGDATA/postmaster.opts
/usr/local/pgsql/bin/postgres "-D" "/var/lib/postgresql/15/data"
```

1.6.4 Fichiers de données



- `base/` : contient les fichiers de données
 - un sous-répertoire par base de données
 - `pgsql_tmp` : fichiers temporaires
- `global/` : contient les objets globaux à toute l'instance

`base/` contient les fichiers de données (tables, index, vues matérialisées, séquences). Il contient un sous-répertoire par base, le nom du répertoire étant l'OID de la base dans `pg_database`. Dans ces répertoires, nous trouvons un ou plusieurs fichiers par objet à stocker. Ils sont nommés ainsi :

- Le nom de base du fichier correspond à l'attribut `relfilenode` de l'objet stocké, dans la table `pg_class` (une table, un index...). Il peut changer dans la vie de l'objet (par exemple lors d'un `VACUUM FULL`, un `TRUNCATE`...)
- Si le nom est suffixé par un « . » suivi d'un chiffre, il s'agit d'un fichier d'extension de l'objet : un objet est découpé en fichiers de 1 Go maximum.
- Si le nom est suffixé par `_fsm`, il s'agit du fichier stockant la *Free Space Map* (liste des blocs réutilisables).
- Si le nom est suffixé par `_vm`, il s'agit du fichier stockant la *Visibility Map* (liste des blocs intégralement visibles, et donc ne nécessitant pas de traitement par `VACUUM`).

Un fichier `base/1247/14356.1` est donc le second segment de l'objet ayant comme `relfilenode` 14356 dans le catalogue `pg_class`, dans la base d'OID 1247 dans la table `pg_database`.

Savoir identifier cette correspondance ne sert que dans des cas de récupération de base très endommagée. Vous n'aurez jamais, durant une exploitation normale, besoin d'obtenir cette correspondance. Si, par exemple, vous avez besoin de connaître la taille de la table `test` dans une base, il vous suffit d'exécuter la fonction `pg_table_size()`. En voici un exemple complet :

```
CREATE TABLE test (id integer);
INSERT INTO test SELECT generate_series(1, 5000000);
SELECT pg_table_size('test');
```

```
pg_table_size
-----
181305344
```

Depuis la ligne de commande, il existe un utilitaire nommé `oid2name`, dont le but est de faire la liaison entre le nom de fichier et le nom de l'objet PostgreSQL. Il a besoin de se connecter à la base :

```
$ pwd
/var/lib/pgsql/15/data/base/16388

$ /usr/pgsql-15/bin/oid2name -f 16477 -d employes
From database "employes":
```

FileNode	Table Name
16477	employees_big_pkey

Le répertoire base peut aussi contenir un répertoire `pgsql_tmp`. Ce répertoire contient des fichiers temporaires utilisés pour stocker les résultats d'un tri ou d'un hachage. À partir de la version 12, il est possible de connaître facilement le contenu de ce répertoire en utilisant la fonction `pg_ls_tmpdir()`, ce qui peut permettre de suivre leur consommation.

Si nous demandons au sein d'une première session :

```
SELECT * FROM generate_series(1,1e9) ORDER BY random() LIMIT 1 ;
```

alors nous pourrions suivre les fichiers temporaires depuis une autre session :

```
SELECT * FROM pg_ls_tmpdir() ;
```

name	size	modification
pgsql_tmp12851.16	1073741824	2020-09-02 15:43:27+02
pgsql_tmp12851.11	1073741824	2020-09-02 15:42:32+02
pgsql_tmp12851.7	1073741824	2020-09-02 15:41:49+02
pgsql_tmp12851.5	1073741824	2020-09-02 15:41:29+02
pgsql_tmp12851.9	1073741824	2020-09-02 15:42:11+02
pgsql_tmp12851.0	1073741824	2020-09-02 15:40:36+02
pgsql_tmp12851.14	1073741824	2020-09-02 15:43:06+02
pgsql_tmp12851.4	1073741824	2020-09-02 15:41:19+02
pgsql_tmp12851.13	1073741824	2020-09-02 15:42:54+02
pgsql_tmp12851.3	1073741824	2020-09-02 15:41:09+02
pgsql_tmp12851.1	1073741824	2020-09-02 15:40:47+02
pgsql_tmp12851.15	1073741824	2020-09-02 15:43:17+02
pgsql_tmp12851.2	1073741824	2020-09-02 15:40:58+02
pgsql_tmp12851.8	1073741824	2020-09-02 15:42:00+02
pgsql_tmp12851.12	1073741824	2020-09-02 15:42:43+02
pgsql_tmp12851.10	1073741824	2020-09-02 15:42:21+02
pgsql_tmp12851.6	1073741824	2020-09-02 15:41:39+02
pgsql_tmp12851.17	546168976	2020-09-02 15:43:32+02

Le répertoire `global/` contient notamment les objets globaux à toute une instance, comme la table des bases de données, celle des rôles ou celle des tablespaces ainsi que leurs index.

1.6.5 Fichiers liés aux transactions



- pg_wal/ : journaux de transactions
 - pg_xlog/ avant la v10
 - sous-répertoire archive_status
 - nom : *timeline*, journal, segment
 - ex : 00000002 00000142 000000FF
- pg_xact/ : état des transactions
 - pg_clog/ avant la v10
- mais aussi : pg_commit_ts/, pg_multixact/, pg_serial/
pg_snapshots/, pg_subtrans/, pg_twophase/
- **Ces fichiers sont vitaux !**

Le répertoire pg_wal contient les journaux de transactions. Ces journaux garantissent la durabilité des données dans la base, en traçant toute modification devant être effectuée **AVANT** de l'effectuer réellement en base.



Les fichiers contenus dans pg_wal ne doivent **jamais** être effacés manuellement. Ces fichiers sont cruciaux au bon fonctionnement de la base. PostgreSQL gère leur création et suppression. S'ils sont toujours présents, c'est que PostgreSQL en a besoin.

Par défaut, les fichiers des journaux font tous 16 Mo. Ils ont des noms sur 24 caractères, comme par exemple :

```
$ ls -l
total 2359320
...
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007C
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007D
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007E
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007F
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 000000020000014300000000
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 000000020000014300000001
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 000000020000014300000002
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 000000020000014300000003
...
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001430000001D
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001430000001E
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001430000001F
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 000000020000014300000020
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000021
```

```
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000022
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000023
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000024
drwx----- 2 postgres postgres    16384 Mar 26 16:28 archive_status
```

La première partie d'un nom de fichier (ici 00000002) correspond à la *timeline* (« ligne de temps »), qui ne s'incrémente que lors d'une restauration de sauvegarde ou une bascule entre serveurs primaire et secondaire. La deuxième partie (ici 00000142 puis 00000143) correspond au numéro de journal à proprement parler, soit un ensemble de fichiers représentant 4 Go. La dernière partie correspond au numéro du segment au sein de ce journal. Selon la taille du segment fixée à l'initialisation, il peut aller de 00000000 à 000000FF (256 segments de 16 Mo, configuration par défaut, soit 4 Go), à 00000FFF (4096 segments de 1 Mo), ou à 0000007F (128 segments de 32 Mo, exemple ci-dessus), etc. Une fois ce maximum atteint, le numéro de journal au centre est incrémenté et les numéros de segments reprennent à zéro.

L'ordre d'écriture des journaux est numérique (en hexadécimal), et leur archivage doit suivre cet ordre. Il ne faut pas se fier à la date des fichiers pour le tri : pour des raisons de performances, PostgreSQL recycle généralement les fichiers en les renommant. Dans l'exemple ci-dessus, le dernier journal écrit est 000000020000014300000020 et non 000000020000014300000024. À partir de la version 12, ce mécanisme peut toutefois être désactivé en passant `wal_recycle` à `off` (ce qui a un intérêt sur certains systèmes de fichiers comme ZFS).

Dans le cadre d'un archivage PITR et/ou d'une réplication par *log shipping*, le sous-répertoire `pg_wal/archive_status` indique l'état des journaux dans le contexte de l'archivage. Les fichiers `.ready` indiquent les journaux restant à archiver (normalement peu nombreux), les `.done` ceux déjà archivés.

À partir de la version 12, il est possible de connaître facilement le contenu de ce répertoire en utilisant la fonction `pg_ls_archive_statusdir()` :

```
# SELECT * FROM pg_ls_archive_statusdir() ORDER BY 1 ;
```

name	size	modification
00000001000000000000000067.done	0	2020-09-02 15:52:57+02
00000001000000000000000068.done	0	2020-09-02 15:52:57+02
00000001000000000000000069.done	0	2020-09-02 15:52:58+02
0000000100000000000000006A.ready	0	2020-09-02 15:53:53+02
0000000100000000000000006B.ready	0	2020-09-02 15:53:53+02
0000000100000000000000006C.ready	0	2020-09-02 15:53:54+02
0000000100000000000000006D.ready	0	2020-09-02 15:53:54+02
0000000100000000000000006E.ready	0	2020-09-02 15:53:54+02
0000000100000000000000006F.ready	0	2020-09-02 15:53:54+02
00000001000000000000000070.ready	0	2020-09-02 15:53:55+02
00000001000000000000000071.ready	0	2020-09-02 15:53:55+02

Le répertoire `pg_xact` contient l'état de toutes les transactions passées ou présentes sur la base (validées, annulées, en sous-transaction ou en cours), comme nous le détaillerons dans le module « Mécanique du moteur transactionnel ».



Les fichiers contenus dans le répertoire `pg_xact` ne doivent **jamais** être effacés. Ils sont cruciaux au bon fonctionnement de la base.

D'autres répertoires contiennent des fichiers essentiels à la gestion des transactions :

- `pg_commit_ts` contient l'horodatage de la validation de chaque transaction ;
- `pg_multixact` est utilisé dans l'implémentation des verrous partagés (`SELECT ... FOR SHARE`) ;
- `pg_serial` est utilisé dans l'implémentation de SSI (`Serializable Snapshot Isolation`) ;
- `pg_snapshots` est utilisé pour stocker les snapshots exportés de transactions ;
- `pg_subtrans` stocke l'imbrication des transactions lors de sous-transactions (les `SAVEPOINTS`) ;
- `pg_twophase` est utilisé pour l'implémentation du *Two-Phase Commit*, aussi appelé transaction préparée, 2PC, ou transaction XA dans le monde Java par exemple.



La version 10 a été l'occasion du changement de nom de quelques répertoires pour des raisons de cohérence et pour réduire les risques de fausses manipulations. Jusqu'en 9.6, `pg_wal` s'appelait `pg_xlog`, `pg_xact` s'appelait `pg_clog`. Les fonctions et outils ont été renommés en conséquence :

- dans les noms de fonctions et d'outils, `xlog` a été remplacé par `wal` (par exemple `pg_switch_xlog` est devenue `pg_switch_wal`) ;
- toujours dans les fonctions, `location` a été remplacé par `lsn`.

1.6.6 Fichiers liés à la réplication



- `pg_logical/`
- `pg_replslot/`

`pg_logical` contient des informations sur la réplication logique.

`pg_replslot` contient des informations sur les slots de répliquations, qui sont un moyen de fiabiliser la réplication physique ou logique.

Sans réplication en place, ces répertoires sont quasi-vides. Là encore, il ne faut pas toucher à leur contenu.

1.6.7 Répertoire des tablespaces



- pg_tblspc/ : tablespaces
 - si vraiment nécessaires
 - liens symboliques ou points de jonction
 - totalement optionnels

Dans PGDATA, le sous-répertoire pg_tblspc contient les *tablespaces*, c'est-à-dire des espaces de stockage.

Sous Linux, ce sont des liens symboliques vers un simple répertoire extérieur à PGDATA. Chaque lien symbolique a comme nom l'OID du tablespace (table système pg_tablespace). PostgreSQL y crée un répertoire lié aux versions de PostgreSQL et du catalogue, et y place les fichiers de données.

```
postgres=# \db+
```

Liste des tablespaces					
Nom	Propriétaire	Emplacement	...	Taille	...
froid	postgres	/HDD/tbl/froid		3576 kB	
pg_default	postgres			6536 MB	
pg_global	postgres			587 kB	

```
sudo ls -R /HDD/tbl/froid
```

```
/HDD/tbl/froid:
PG_15_202209061
```

```
/HDD/tbl/froid/PG_15_202209061:
5
```

```
/HDD/tbl/froid/PG_15_202209061/5:
142532 142532_fsm 142532_vm
```

Sous Windows, les liens sont à proprement parler des *Reparse Points* (ou *Junction Points*) :

```
postgres=# \db
```

Liste des tablespaces		
Nom	Propriétaire	Emplacement
pg_default	postgres	
pg_global	postgres	
tbl1	postgres	T:\TBL1

```
PS P:\PGDATA13> dir 'pg_tblspc/*' | ?{$_.LinkType} | select FullName,LinkType,Target
```

```
FullName          LinkType Target
-----
P:\PGDATA13\pg_tblspc\105921 Junction {T:\TBL1}
```

Par défaut, `pg_tblspc/` est vide. N'existent alors que les tablespaces `pg_global` (sous-répertoire `global/` des objets globaux à l'instance) et `pg_default` (soit `base/`).



La création d'autres tablespaces est totalement optionnelle.

Leur utilité et leur gestion seront abordés plus loin.

1.6.8 Fichiers des statistiques d'activité



Statistiques d'activité :

- collecteur (< v15) + extensions
- `pg_stat_tmp/` : temporaires
- `pg_stat/` : définitif

`pg_stat_tmp` est, jusqu'en version 15, le répertoire par défaut de stockage des statistiques d'activité de PostgreSQL, comme les entrées-sorties ou les opérations de modifications sur les tables. Ces fichiers pouvant générer une grande quantité d'entrées-sorties, l'emplacement du répertoire peut être modifié avec le paramètre `stats_temp_directory`. Par exemple, Debian place ce paramètre par défaut en `tmpfs` :

```
-- jusque v14
SHOW stats_temp_directory;

          stats_temp_directory
-----
/var/run/postgresql/14-main.pg_stat_tmp
```

À l'arrêt, les fichiers sont copiés dans le répertoire `pg_stat/`.

PostgreSQL gérant ces statistiques en mémoire partagée à partir de la version 15, le collecteur n'existe plus. Mais les deux répertoires sont encore utilisés par des extensions comme `pg_stat_statements` ou `pg_stat_kcache`.

1.6.9 Autres répertoires



- `pg_dynshmem/`
- `pg_notify/`

`pg_dynshmem` est utilisé par les extensions utilisant de la mémoire partagée dynamique.

`pg_notify` est utilisé par le mécanisme de gestion de notification de PostgreSQL (`LISTEN` et `NOTIFY`) qui permet de passer des messages de notification entre sessions.

1.6.10 Les fichiers de traces (journaux)



- Fichiers texte traçant l'activité
- Très paramétrables
- Gestion des fichiers soit :
 - par PostgreSQL
 - délégués au système d'exploitation (*syslog*, *eventlog*)

Le paramétrage des journaux est très fin. Leur configuration est le sujet est évoquée dans notre première formation³.

Si `logging_collector` est activé, c'est-à-dire que PostgreSQL collecte lui-même ses traces, l'emplacement de ces journaux se paramètre grâce aux paramètres `log_directory`, le répertoire où les stocker, et `log_filename`, le nom de fichier à utiliser, ce nom pouvant utiliser des échappements comme `%d` pour le jour de la date, par exemple. Les droits attribués au fichier sont précisés par le paramètre `log_file_mode`.

Un exemple pour `log_filename` avec date et heure serait :

```
log_filename = 'postgresql-%Y-%m-%d_%H%M%S.log'
```

La liste des échappements pour le paramètre `log_filename` est disponible dans la page de manuel de la fonction `strftime` sur la plupart des plateformes de type UNIX.

³https://dali.bo/h1_html

1.7 CONCLUSION



- PostgreSQL est complexe, avec de nombreux composants
- Une bonne compréhension de cette architecture est la clé d'une bonne administration.

1.7.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

1.8 QUIZ



https://dali.bo/m1_quiz

1.9 INSTALLATION DE POSTGRESQL DEPUIS LES PAQUETS COMMUNAUTAIRES

L'installation est détaillée ici pour Rocky Linux 8 (similaire à Red Hat 8), Red Hat/CentOS 7, et Debian/Ubuntu.

Elle ne dure que quelques minutes.



ATTENTION : Red Hat et CentOS 6 et 7, comme Rocky 8, fournissent par défaut des versions de PostgreSQL qui ne sont plus supportées. Ne jamais installer les packages `postgresql`, `postgresql-client` et `postgresql-server` !
L'utilisation des dépôts du PGDG est donc obligatoire.

1.9.1 Sur Rocky Linux 8

Installation du dépôt communautaire :

Sauf précision, tout est à effectuer en tant qu'utilisateur **root**.

Les dépôts de la communauté sont sur <https://yum.postgresql.org/>. Les commandes qui suivent peuvent être générées par l'assistant sur <https://www.postgresql.org/download/linux/redhat/>, en précisant :

- la version majeure de PostgreSQL (ici la 15) ;
- la distribution (ici Rocky Linux 8) ;
- l'architecture (ici x86_64, la plus courante).

Il faut installer le dépôt et désactiver le module PostgreSQL par défaut :

```
# dnf install -y https://download.postgresql.org/pub/repos/yum/reposrpsms\
/EL-8-x86_64/pgdg-redhat-repo-latest.noarch.rpm
```

```
# dnf -qy module disable postgresql
```

Installation de PostgreSQL 15 :

```
# dnf install -y postgresql15-server postgresql15-contrib
```

Les outils clients et les bibliothèques nécessaires seront automatiquement installés.

Tout à fait optionnellement, une fonctionnalité avancée, le JIT (*Just In Time compilation*), nécessite un paquet séparé, qui lui-même nécessite des paquets du dépôt EPEL :

```
# dnf install postgresql15-llvmjit
```

Création d'une première instance :

Il est conseillé de déclarer `PG_SETUP_INITDB_OPTIONS`, notamment pour mettre en place les sommes de contrôle et forcer les traces en anglais :

```
# export PGSETUP_INITDB_OPTIONS='--data-checksums --lc-messages=C'
# /usr/pgsql-15/bin/postgresql-15-setup initdb
# cat /var/lib/pgsql/15/initdb.log
```

Ce dernier fichier permet de vérifier que tout s'est bien passé.

Chemins :

Objet	Chemin
Binaires	/usr/pgsql-15/bin
Répertoire de l'utilisateur postgres	/var/lib/pgsql
PGDATA par défaut	/var/lib/pgsql/15/data
Fichiers de configuration	dans PGDATA/
Traces	dans PGDATA/log

Configuration :

Modifier `postgresql.conf` est facultatif pour un premier essai.

Démarrage/arrêt de l'instance, rechargement de configuration :

```
# systemctl start postgresql-15
# systemctl stop postgresql-15
# systemctl reload postgresql-15
```

Test rapide de bon fonctionnement et connexion à psql

```
# systemctl --all |grep postgres
# sudo -iu postgres psql
```

Démarrage de l'instance au démarrage du système d'exploitation :

```
# systemctl enable postgresql-15
```

Consultation de l'état de l'instance :

```
# systemctl status postgresql-15
```

Ouverture du *firewall* pour le port 5432 :

Si le *firewall* est actif (dans le doute, consulter `systemctl status firewalld`):

```
# firewall-cmd --zone=public --add-port=5432/tcp --permanent
# firewall-cmd --reload
# firewall-cmd --list-all
```

Création d'autres instances :

Si des instances de *versions majeures différentes* doivent être installées, il faudra installer les binaires pour chacune, et l'instance par défaut de chaque version vivra dans un sous-répertoire différent de `/var/lib/pgsql` automatiquement créé à l'installation. Il faudra juste modifier les ports dans les `postgresql.conf`.

Si plusieurs instances d'une même version majeure (forcément de la même version mineure) doivent cohabiter sur le même serveur, il faudra les installer dans des PGDATA différents.

- Ne pas utiliser de tiret dans le nom d'une instance (problèmes potentiels avec systemd).
- Respecter les normes et conventions de l'OS : placer les instances dans un sous-répertoire de `/var/lib/pgsql/15/` (ou l'équivalent pour d'autres versions majeures).
- Création du fichier service de la deuxième instance :

```
# cp /lib/systemd/system/postgresql-15.service \  
    /etc/systemd/system/postgresql-15-secondaire.service
```

- Modification du fichier avec le nouveau chemin :

`Environment=PGDATA=/var/lib/pgsql/15/secondaire`

- Option 1 : création d'une nouvelle instance vierge :

```
# /usr/pgsql-15/bin/postgresql-15-setup initdb postgresql-15-secondaire
```

- Option 2 : restauration d'une sauvegarde : la procédure dépend de votre outil.
- Adaptation de `postgresql.conf` (port !), `recovery.conf`...
- Commandes de maintenance :

```
# systemctl [start|stop|reload|status] postgresql-15-secondaire  
# systemctl [enable|disable] postgresql-15-secondaire
```

- Ouvrir un port dans le firewall au besoin.

1.9.2 Sur Red Hat 7 / Cent OS 7

Fondamentalement, le principe reste le même qu'en version 8. Il faudra utiliser `yum` plutôt que `dnf`. Il n'y a pas besoin de désactiver de module `AppStream`. Le JIT (*Just In Time compilation*), nécessite un paquet séparé, qui lui-même nécessite des paquets du dépôt EPEL :

```
# yum install epel-release  
# yum install postgresql15-llvmjit
```

La création de l'instance et la suite sont identiques.

1.9.3 Sur Debian / Ubuntu

Sauf précision, tout est à effectuer en tant qu'utilisateur **root**.

Installation du dépôt communautaire :

Référence : <https://apt.postgresql.org/>

- Import des certificats et de la clé :

```
# apt install curl ca-certificates gnupg
# curl https://www.postgresql.org/media/keys/ACCC4CF8.asc | gpg --dearmor | \
    sudo tee /etc/apt/trusted.gpg.d/apt.postgresql.org.gpg >/dev/null
```

- Création du fichier du dépôt `/etc/apt/sources.list.d/pgdg.list` (ici pour Debian 11 « bullseye » ; adapter au nom de code de la version de Debian ou Ubuntu correspondante : **stretch, bionic, focal...**) :

```
deb http://apt.postgresql.org/pub/repos/apt bullseye-pgdg main
```

Installation de PostgreSQL 15 :

La méthode la plus propre consiste à modifier la configuration par défaut avant l'installation :

```
# apt update
# apt install postgresql-common
```

Dans `/etc/postgresql-common/createcluster.conf`, paramétrer au moins les sommes de contrôle et les traces en anglais :

```
initdb_options = '--data-checksums --lc-messages=C'
```

Puis installer les paquets serveur et clients et leurs dépendances :

```
# apt install postgresql-15 postgresql-client-15
```

(Pour les versions 9.x, installer aussi le paquet `postgresql-contrib-9.x`).

La première instance est automatiquement créée, démarrée et déclarée comme service à lancer au démarrage du système. Elle est immédiatement accessible par l'utilisateur système **postgres**.

Chemins :

Objet	Chemin
Binaires	<code>/usr/lib/postgresql/15/bin/</code>
Répertoire de l'utilisateur postgres	<code>/var/lib/postgresql</code>
PGDATA de l'instance par défaut	<code>/var/lib/postgresql/15/main</code>
Fichiers de configuration	dans <code>/etc/postgresql/15/main/</code>
Traces	dans <code>/var/log/postgresql/</code>

Configuration

Modifier `postgresql.conf` est facultatif pour un premier essai.

Démarrage/arrêt de l'instance, rechargement de configuration :

Debian fournit ses propres outils :

```
# pg_ctlcluster 15 main [start|stop|reload|status]
```

Démarrage de l'instance au lancement :

C'est en place par défaut, et modifiable dans `/etc/postgresql/15/main/start.conf`.

Ouverture du firewall :

Debian et Ubuntu n'installent pas de firewall par défaut.

Statut des instances :

```
# pg_lsclusters
```

Test rapide de bon fonctionnement

```
# systemctl --all |grep postgres
# sudo -iu postgres psql
```

Destruction d'une instance :

```
# pg_dropcluster 15 main
```

Création d'autres instances :

Ce qui suit est valable pour remplacer l'instance par défaut par une autre, par exemple pour mettre les *checksums* en place :

- les paramètres de création d'instance dans `/etc/postgresql-common/createcluster.conf` peuvent être modifiés, par exemple ici pour : les *checksums*, les messages en anglais, l'authentification sécurisée, le format des traces et un emplacement séparé pour les journaux :

```
initdb_options = '--data-checksums --lc-messages=C --auth-host=scram-sha-256
↳ --auth-local=peer'
log_line_prefix = '%t [%p]: [%l-1] user=%u,db=%d,app=%a,client=%h '
waldir = '/var/lib/postgresql/wal/%v/%c/pg_wal'
```

- création de l'instance, avec possibilité là aussi de préciser certains paramètres du `postgresql.conf` voire de modifier les chemins des fichiers (déconseillé si vous pouvez l'éviter) :

```
# pg_createcluster 15 secondaire \
--port=5433 \
--datadir=/PGDATA/11/basedecisionnelle \
--pgoption shared_buffers='8GB' --pgoption work_mem='50MB' \
-- --data-checksums --waldir=/ssd/postgresql/11/basedecisionnelle/journaux
```

- démarrage :

```
# pg_ctlcluster 15 secondaire start
```

1.9.4 Accès à l'instance sur le serveur même

Par défaut, l'instance n'est accessible que par l'utilisateur système `postgres`, qui n'a pas de mot de passe. Un détour par `sudo` est nécessaire :

```
$ sudo -iu postgres psql
psql (15.1)
Saisissez « help » pour l'aide.
postgres=#
```

Ce qui suit permet la connexion directement depuis un utilisateur du système :

Pour des tests (pas en production !), il suffit de passer à `trust` le type de la connexion en local dans le `pg_hba.conf` :

```
local    all             postgres                                trust
```

La connexion en tant qu'utilisateur `postgres` (ou tout autre) n'est alors plus sécurisée :

```
dalibo:~$ psql -U postgres
psql (15.1)
Saisissez « help » pour l'aide.
postgres=#
```

Une authentification par mot de passe est plus sécurisée :

- dans `pg_hba.conf`, mise en place d'une authentification par mot de passe (md5 par défaut) pour les accès à `localhost` :

```
# IPv4 local connections:
host      all             all             127.0.0.1/32          md5
# IPv6 local connections:
host      all             all             ::1/128               md5
```

(une authentification `scram-sha-256` est plus conseillée mais elle impose que `password_encryption` soit à cette valeur dans `postgresql.conf` avant de définir les mots de passe).

- ajout d'un mot de passe à l'utilisateur `postgres` de l'instance ;

```
dalibo:~$ sudo -iu postgres psql
psql (15.1)
Saisissez « help » pour l'aide.
postgres=# \password
Saisissez le nouveau mot de passe :
Saisissez-le à nouveau :
postgres=# \q
```

```
dalibo:~$ psql -h localhost -U postgres
Mot de passe pour l'utilisateur postgres :
psql (15.1)
Saisissez « help » pour l'aide.
postgres=#
```

- pour se connecter sans taper le mot de passe, un fichier `.pgpass` dans le répertoire personnel doit contenir les informations sur cette connexion :

```
localhost:5432:*:postgres:motdepasse très long
```

- ce fichier doit être protégé des autres utilisateurs :

```
$ chmod 600 ~/.pgpass
```

- pour n'avoir à taper que `psql`, on peut définir ces variables d'environnement dans la session voire dans `~/.bashrc` :

```
export PGUSER=postgres
export PGDATABASE=postgres
export PGHOST=localhost
```

Rappels :

- en cas de problème, consulter les traces (dans `/var/lib/pgsql/15/data/log` ou `/var/log/postgresql/`);
- toute modification de `pg_hba.conf` implique de recharger la configuration par une de ces trois méthodes selon le système :

```
root:~# systemctl reload postgresql-15
```

```
root:~# pg_ctlcluster 15 main reload
```

```
postgres:~$ psql -c 'SELECT pg_reload_conf();'
```

1.10 TRAVAUX PRATIQUES

1.10.1 Processus



But : voir quelques processus de PostgreSQL

Si ce n'est pas déjà fait, démarrer l'instance PostgreSQL.

Lister les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

Se connecter à l'instance PostgreSQL.

Dans un autre terminal lister de nouveau les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

Créer une nouvelle base de données nommée **b0**.

Se connecter à la base de données **b0** et créer une table **t1** avec une colonne **id** de type **integer**.

Insérer 10 millions de lignes dans la table **t1** avec :

```
INSERT INTO t1 SELECT generate_series(1, 10000000) ;
```

Dans un autre terminal lister de nouveau les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

Configurer la valeur du paramètre **max_connections** à 15.

Redémarrer l'instance PostgreSQL.

Vérifier que la modification de la valeur du paramètre **max_connections** a été prise en compte.

Se connecter 15 fois à l'instance PostgreSQL sans fermer les sessions, par exemple en lançant plusieurs fois :

```
psql -c 'SELECT pg_sleep(1000)' &
```

Se connecter une seizième fois à l'instance PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

Configurer la valeur du paramètre `max_connections` à sa valeur initiale.

1.10.2 Fichiers



But : voir les fichiers de PostgreSQL

Aller dans le répertoire des données de l'instance PostgreSQL. Lister les fichiers.

Aller dans le répertoire base. Lister les fichiers.

À quelle base est lié chaque répertoire présent dans le répertoire base ? (Voir l'oid de la base dans `pg_database` ou l'utilitaire en ligne de commande `oid2name`)

Créer une nouvelle base de données nommée **b1**. Qu'observe-t-on dans le répertoire base ?

Se connecter à la base de données **b1**. Créer une table `t1` avec une colonne `id` de type `integer`.

Récupérer le chemin vers le fichier correspondant à la table `t1` (il existe une fonction `pg_relation_filepath`).

Regarder la taille du fichier correspondant à la table `t1`. Pourquoi est-il vide ?

Insérer une ligne dans la table `t1`. Quelle taille fait le fichier de la table `t1` ?

Insérer 500 lignes dans la table `t1` avec `generate_series`. Quelle taille fait le fichier de la table `t1` ?

Pourquoi cette taille pour simplement 501 entiers de 4 octets chacun ?

1.11 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

1.11.1 Processus

Si ce n'est pas déjà fait, démarrer l'instance PostgreSQL.

Sous Rocky Linux, CentOS ou Red Hat en tant qu'utilisateur **root** :

```
# systemctl start postgresql-15
```

Lister les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

En tant qu'utilisateur **postgres** :

```
$ ps -o pid,cmd fx
  PID CMD
 27886 -bash
 28666 \_ ps -o pid,cmd fx
 27814 /usr/pgsql-15/bin/postmaster -D /var/lib/pgsql/15/data/
 27815 \_ postgres: logger
 27816 \_ postgres: checkpointer
 27817 \_ postgres: background writer
 27819 \_ postgres: walwriter
 27820 \_ postgres: autovacuum launcher
 27821 \_ postgres: logical replication launcher
```

Se connecter à l'instance PostgreSQL.

```
$ psql postgres
psql (15.0)
Type "help" for help.
```

```
postgres=#
```

Dans un autre terminal lister de nouveau les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

```
$ ps -o pid,cmd fx
  PID CMD
 28746 -bash
 28779 \_ psql
 27886 -bash
 28781 \_ ps -o pid,cmd fx
 27814 /usr/pgsql-15/bin/postmaster -D /var/lib/pgsql/15/data/
 27815 \_ postgres: logger
 27816 \_ postgres: checkpointer
 27817 \_ postgres: background writer
 27819 \_ postgres: walwriter
 27820 \_ postgres: autovacuum launcher
 27821 \_ postgres: logical replication launcher
 28780 \_ postgres: postgres postgres [local] idle
```

Il y a un nouveau processus (ici PID 28780) qui va gérer l'exécution des requêtes du client psql.

Créer une nouvelle base de données nommée **b0**.

Depuis le shell, en tant que **postgres** :

```
$ createdb b0
```

Alternativement, depuis la session déjà ouverte dans `psql` :

```
CREATE DATABASE b0;
```

Se connecter à la base de données **b0** et créer une table **t1** avec une colonne **id** de type **integer**.

Pour se connecter depuis le shell :

```
psql b0
```

ou depuis la session `psql` :

```
\c b0
```

Création de la table :

```
CREATE TABLE t1 (id integer);
```

Insérer 10 millions de lignes dans la table **t1** avec :

```
INSERT INTO t1 SELECT generate_series(1, 10000000) ;
```

```
INSERT INTO t1 SELECT generate_series(1, 10000000);
```

```
INSERT 0 10000000
```

Dans un autre terminal lister de nouveau les processus du serveur PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

```
$ ps -o pid,cmd fx
  PID CMD
 28746 -bash
 28779 \_ psql
 27886 -bash
 28781 \_ ps -o pid,cmd fx
 27814 /usr/pgsql-15/bin/postmaster -D /var/lib/pgsql/15/data/
 27815 \_ postgres: logger
 27816 \_ postgres: checkpointer
 27817 \_ postgres: background writer
 27819 \_ postgres: walwriter
 27820 \_ postgres: autovacuum launcher
 27821 \_ postgres: logical replication launcher
 28780 \_ postgres: postgres postgres [local] INSERT
```

Le processus serveur exécute l'INSERT, ce qui se voit au niveau du nom du processus. Seul est affiché le dernier ordre SQL (*ie* le mot INSERT et non pas la requête complète).

Configurer la valeur du paramètre `max_connections` à 15.

Pour cela, il faut ouvrir le fichier de configuration `postgresql.conf` et modifier la valeur du paramètre `max_connections` à 15.

Alternativement :

```
ALTER SYSTEM SET max_connections TO 15 ;
```

Ce dernier ordre écrira dans le fichier `/var/lib/pgsql/15/data/postgresql.auto.conf`.

Cependant, la prise en compte n'est pas automatique. Pour ce paramètre, il faut redémarrer l'instance PostgreSQL.

Redémarrer l'instance PostgreSQL.

En tant qu'utilisateur **root** :

```
# systemctl restart postgresql-15
```

Vérifier que la modification de la valeur du paramètre `max_connections` a été prise en compte.

```
postgres=# SHOW max_connections ;
max_connections
-----
15
```

Se connecter 15 fois à l'instance PostgreSQL sans fermer les sessions, par exemple en lançant plusieurs fois :

```
psql -c 'SELECT pg_sleep(1000)' &
```

Il est possible de le faire manuellement ou de l'automatiser avec ce petit script shell :

```
$ for i in $(seq 1 15); do psql -c "SELECT pg_sleep(1000);" postgres & done
[1] 998
[2] 999
...
[15] 1012
```

Se connecter une seizième fois à l'instance PostgreSQL. Qu'observe-t-on ?

```
$ psql postgres
psql: FATAL:  sorry, too many clients already
```

Il est impossible de se connecter une fois que le nombre de connexions a atteint sa limite configurée avec `max_connections`. Il faut donc attendre que les utilisateurs se déconnectent pour accéder de nouveau au serveur.

Configurer la valeur du paramètre `max_connections` à sa valeur initiale.

Dans le fichier de configuration `postgresql.conf`, restaurer la valeur du paramètre `max_connections` à 100.

Si l'autre méthode `ALTER SYSTEM` a été utilisée, dans le fichier de configuration `/var/lib/pgsql/15/data/postgresql.conf`, supprimer la ligne avec le paramètre `max_connections` puis redémarrer l'instance PostgreSQL.



Il est déconseillé de modifier `postgresql.auto.conf` à la main, mais pour le TP, nous nous permettons quelques libertés.

Toutefois si l'instance est démarrée et qu'il est encore possible de s'y connecter, le plus propre est ceci :

```
ALTER SYSTEM RESET max_connections ;
```

Puis redémarrer PostgreSQL : toutes les connexions en cours vont être coupées.

```
# systemctl restart postgresql-15
FATAL:  terminating connection due to administrator command
server closed the connection unexpectedly
        This probably means the server terminated abnormally
        before or while processing the request.
[...]
FATAL:  terminating connection due to administrator command
server closed the connection unexpectedly
        This probably means the server terminated abnormally
        before or while processing the request.
connection to server was lost
```

Il est à présent possible de se reconnecter. Vérifier que cela a été pris en compte :

```
postgres=# SHOW max_connections ;
```

```
max_connections
-----
100
```

1.11.2 Fichiers

Aller dans le répertoire des données de l'instance PostgreSQL. Lister les fichiers.

En tant qu'utilisateur système **postgres** :

```
echo $PGDATA
/var/lib/pgsql/15/data

$ cd $PGDATA
```

```
$ ls -al
total 68
drwx-----. 7 postgres postgres 59 Nov 4 09:55 base
-rw-----. 1 postgres postgres 30 Nov 4 10:38 current_logfiles
drwx-----. 2 postgres postgres 4096 Nov 4 10:38 global
drwx-----. 2 postgres postgres 58 Nov 4 07:58 log
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_commit_ts
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_dynshmem
-rw-----. 1 postgres postgres 4658 Nov 4 09:50 pg_hba.conf
-rw-----. 1 postgres postgres 1685 Nov 3 14:16 pg_ident.conf
drwx-----. 4 postgres postgres 68 Nov 4 10:38 pg_logical
drwx-----. 4 postgres postgres 36 Nov 3 14:11 pg_multixact
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_notify
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_replslot
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_serial
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_snapshots
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 4 10:38 pg_stat
drwx-----. 2 postgres postgres 35 Nov 4 10:38 pg_stat_tmp
drwx-----. 2 postgres postgres 18 Nov 3 14:11 pg_subtrans
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_tblspc
drwx-----. 2 postgres postgres 6 Nov 3 14:11 pg_twophase
-rw-----. 1 postgres postgres 3 Nov 3 14:11 PG_VERSION
drwx-----. 3 postgres postgres 92 Nov 4 09:55 pg_wal
drwx-----. 2 postgres postgres 18 Nov 3 14:11 pg_xact
-rw-----. 1 postgres postgres 88 Nov 3 14:11 postgresql.auto.conf
-rw-----. 1 postgres postgres 29475 Nov 4 09:36 postgresql.conf
-rw-----. 1 postgres postgres 58 Nov 4 10:38 postmaster.opts
-rw-----. 1 postgres postgres 104 Nov 4 10:38 postmaster.pid
```

Allez dans le répertoire base. Lister les fichiers.

```
$ cd base

$ ls -al
total 60
drwx----- 8 postgres postgres 78 Nov 4 16:21 .
drwx----- 20 postgres postgres 4096 Nov 4 15:33 ..
drwx-----. 2 postgres postgres 8192 Nov 4 10:38 1
drwx-----. 2 postgres postgres 8192 Nov 4 09:50 16404
drwx-----. 2 postgres postgres 8192 Nov 3 14:11 4
drwx-----. 2 postgres postgres 8192 Nov 4 10:39 5
drwx----- 2 postgres postgres 6 Nov 3 15:58 pgsql_tmp
```

À quelle base est lié chaque répertoire présent dans le répertoire base ? (Voir l'oid de la base dans pg_database ou l'utilitaire en ligne de commande oid2name)

Chaque répertoire correspond à une base de données. Le numéro indiqué est un identifiant système (OID). Il existe deux moyens pour récupérer cette information :

- directement dans le catalogue système pg_database :

```
$ psql postgres

psql (15.0)
Type "help" for help.
```

```
postgres=# SELECT oid, datname FROM pg_database ORDER BY oid::text;
```

```

oid | datname
-----+-----
    1 | template1
16404 | b0
    4 | template0
    5 | postgres

```

- avec l'outil oid2name (à installer au besoin via le paquet postgresql15-contrib):

```

$ /usr/pgsql-15/bin/oid2name
All databases:
  Oid  Database Name  Tablespace
-----+-----
16404          b0   pg_default
    5      postgres pg_default
    4   template0   pg_default
    1   template1   pg_default

```

Donc ici, le répertoire 1 correspond à la base template1, et le répertoire 5 à la base postgres (ces nombres peuvent changer suivant l'installation).

Créer une nouvelle base de données nommée **b1**. Qu'observe-t-on dans le répertoire base ?

```

$ createdb b1

$ ls -al
total 60
drwx-----  8 postgres postgres   78 Nov  4 16:21 .
drwx----- 20 postgres postgres 4096 Nov  4 15:33 ..
drwx-----  2 postgres postgres 8192 Nov  4 10:38 1
drwx-----  2 postgres postgres 8192 Nov  4 09:50 16404
drwx-----  2 postgres postgres 8192 Nov  4 09:55 16405
drwx-----  2 postgres postgres 8192 Nov  3 14:11 4
drwx-----  2 postgres postgres 8192 Nov  4 10:39 5
drwx-----  2 postgres postgres   6 Nov  3 15:58 pgsql_tmp

```

Un nouveau sous-répertoire est apparu, nommé 16405. Il correspond bien à la base b1 d'après oid2name.

Se connecter à la base de données **b1**. Créer une table t1 avec une colonne id de type integer.

```

$ psql b1
psql (15.0)
Type "help" for help.

b1=# CREATE TABLE t1(id integer);
CREATE TABLE

```

Récupérer le chemin vers le fichier correspondant à la table t1 (il existe une fonction pg_relation_filepath).

La fonction a pour définition :

```
b1=# \df pg_relation_filepath
```

List of functions				
Schema	Name	Result data type	Argument data types	Type
pg_catalog	pg_relation_filepath	text	regclass	func

L'argument `regclass` peut être l'OID de la table, ou son nom.

L'emplacement du fichier sur le disque est donc :

```
b1=# SELECT current_setting('data_directory') || '/' || pg_relation_filepath('t1')
↪ AS chemin;
```

```

-----
chemin
-----
/var/lib/pgsql/15/data/base/16405/16406
```

Regarder la taille du fichier correspondant à la table `t1`. Pourquoi est-il vide ?

```
$ ls -l /var/lib/pgsql/15/data/base/16393/16398
-rw-----. 1 postgres postgres 0 Nov  4 10:42
↪ /var/lib/pgsql/15/data/base/16405/16406
```

La table vient d'être créée. Aucune donnée n'a encore été ajoutée. Les métadonnées se trouvent dans d'autres tables (des catalogues systèmes). Donc il est logique que le fichier soit vide.

Insérer une ligne dans la table `t1`. Quelle taille fait le fichier de la table `t1` ?

```
b1=# INSERT INTO t1 VALUES (1);
INSERT 0 1
```

```
$ ls -l /var/lib/pgsql/15/data/base/16393/16398
-rw-----. 1 postgres postgres 8192 Nov  4 12:40
↪ /var/lib/pgsql/15/data/base/16405/16406
```

Il fait à présent 8 ko. En fait, PostgreSQL travaille par blocs de 8 ko. Si une ligne ne peut être placée dans un espace libre d'un bloc existant, un bloc entier est ajouté à la table.

Vous pouvez consulter le fichier avec la commande `hexdump -x <nom du fichier>` (faites un CHECKPOINT avant pour être sûr qu'il soit écrit sur le disque).

Insérer 500 lignes dans la table `t1` avec `generate_series`. Quelle taille fait le fichier de la table `t1` ?

```
b1=# INSERT INTO t1 SELECT generate_series(1, 500);
INSERT 0 500
```

```
$ ls -l /var/lib/pgsql/15/data/base/16393/16398
-rw-----. 1 postgres postgres 24576 Nov  4 12:41
↪ /var/lib/pgsql/15/data/base/16405/16406
```

Le fichier fait maintenant 24 ko, soit 3 blocs de 8 ko.

Pourquoi cette taille pour simplement 501 entiers de 4 octets chacun ?

Nous avons enregistré 501 entiers dans la table. Un entier de type `int4` prend 4 octets. Donc nous avons 2004 octets de données utilisateurs. Et pourtant, nous arrivons à un fichier de 24 ko.

En fait, PostgreSQL enregistre aussi dans chaque bloc des informations systèmes en plus des données utilisateurs. Chaque bloc contient un en-tête, des pointeurs, et l'ensemble des lignes du bloc. Chaque ligne contient les colonnes utilisateurs mais aussi des colonnes système. La requête suivante permet d'en savoir plus sur les colonnes présentes dans la table :

```
b1=# SELECT CASE WHEN attnum<0 THEN 'systeme' ELSE 'utilisateur' END AS type,
      attname, attnum, typname, typen,
      sum(typen) OVER (PARTITION BY attnum<0) AS longueur_tot
FROM   pg_attribute a
JOIN   pg_type t ON t.oid=a.atttypid
WHERE  attrelid = 't1'::regclass
ORDER BY attnum;
```

type	attname	attnum	typname	typen	longueur_tot
systeme	tableoid	-6	oid	4	26
systeme	cmax	-5	cid	4	26
systeme	xmax	-4	xid	4	26
systeme	cmin	-3	cid	4	26
systeme	xmin	-2	xid	4	26
systeme	ctid	-1	tid	6	26
utilisateur	id	1	int4	4	4

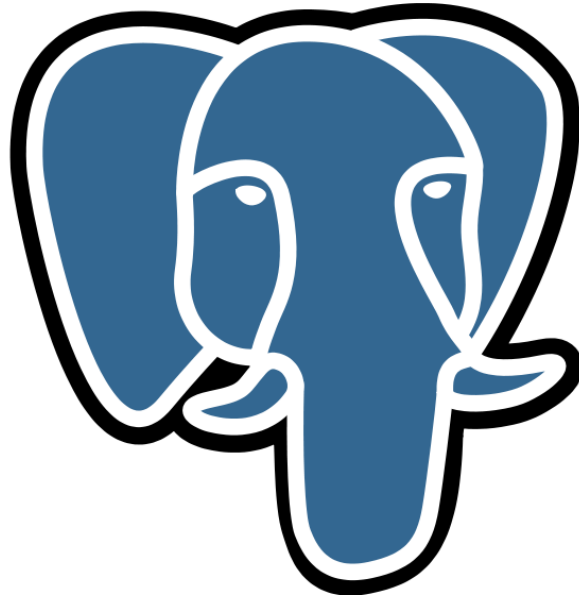
Vous pouvez voir ces colonnes système en les appelant explicitement :

```
SELECT cmin, cmax, xmin, xmax, ctid, *
FROM t1 ;
```

L'en-tête de chaque ligne pèse 26 octets dans le cas général (avant PostgreSQL 12, un éventuel champ `oid` pouvait ajouter 4 octets). Dans notre cas très particulier avec une seule petite colonne, c'est très défavorable mais ce n'est généralement pas le cas.

Avec 501 lignes de 26+4 octets, nous obtenons 15 ko. Chaque bloc possède quelques informations de maintenance : nous dépassons alors 16 ko, ce qui explique pourquoi nous en sommes à 24 ko (3 blocs).

2/ Configuration de PostgreSQL



2.1 AU MENU



- Les paramètres en lecture seule
- Les différents fichiers de configuration
 - survol du contenu
- Quelques paramétrages importants :
 - tablespaces
 - connexions
 - statistiques
 - optimiseur

2.2 PARAMÈTRES EN LECTURE SEULE



- Options de compilation ou lors d'initdb
- Quasiment jamais modifiés
- Tailles de bloc ou de fichier
 - `block_size`: 8 ko
 - `wal_block_size`: 8 ko
 - `segment_size`: 1 Go
 - `wal_segment_size`: 16 Mo (option `--wal-segsize` d'initdb en v11)

Ces paramètres sont en lecture seule, mais peuvent être consultés par la commande `SHOW`, ou en interrogeant la vue `pg_settings`. Il est possible aussi d'obtenir l'information via la commande `pg_controldata`.

- `block_size` est la taille d'un bloc de données de la base, par défaut 8192 octets ;
- `wal_block_size` est la taille d'un bloc de journal, par défaut 8192 octets ;
- `segment_size` est la taille maximum d'un fichier de données, par défaut 1 Go ;
- `wal_segment_size` est la taille d'un fichier de journal de transactions (WAL), par défaut 16 Mo.

Ces paramètres sont tous fixés à la compilation, sauf `wal_segment_size` à partir de la version 11 : `initdb` accepte alors l'option `--wal-segsize` et l'on peut monter la taille des journaux de transactions à 1 Go. Cela n'a d'intérêt que pour des instances générant énormément de journaux.

Recompiler avec une taille de bloc de 32 ko s'est déjà vu sur de très grosses installations (comme le rapporte par exemple Christophe Pettus (San Francisco, 2023)¹) avec un `shared_buffers` énorme, mais cette configuration est très peu testée, nous la déconseillons dans le cas général.



Un moteur compilé avec des options non standard ne pourra pas ouvrir des fichiers n'ayant pas les mêmes valeurs pour ces options.



Des tailles non standard vous exposent à rencontrer des problèmes avec des outils s'attendant à des blocs de 8 ko. (Remontez alors le bug.)

¹<https://thebuild.com/blog/2023/02/08/xtreme-postgresql/>

2.3 FICHIERS DE CONFIGURATION



- `postgresql.conf`
- `postgresql.auto.conf`
- `pg_hba.conf`
- `pg_ident.conf`

Les fichiers de configuration sont habituellement les 4 suivants :

- `postgresql.conf` : il contient une liste de paramètres, sous la forme `paramètre=valeur`. Tous les paramètres énoncés précédemment sont modifiables (et présents) dans ce fichier ;
- `pg_hba.conf` : il contient les règles d'authentification à la base.
- `pg_ident.conf` : il complète `pg_hba.conf`, quand nous déciderons de nous reposer sur un mécanisme d'authentification extérieur à la base (identification par le système ou par un annuaire par exemple) ;
- `postgresql.auto.conf` : il stocke les paramètres de configuration fixés en utilisant la commande `ALTER SYSTEM` et surcharge donc `postgresql.conf`.

2.4 POSTGRESQL.CONF



Fichier principal de configuration :

- Emplacement :
 - défaut/Red Hat & dérivés : répertoires des données (/var/lib/...)
 - Debian : /etc/postgresql/<version>/<nom>/postgresql.conf
- Format clé = valeur
- Sections, commentaires (redémarrage !)

C'est le fichier le plus important. Il contient le paramétrage de l'instance. PostgreSQL le cherche au démarrage dans le PGDATA. Par défaut, dans les versions compilées, ou depuis les paquets sur Red Hat, CentOS ou Rocky Linux, il sera dans le répertoire principal avec les données (/var/lib/pgsql/15/data/postgresql.conf par exemple). Debian le place dans /etc (/etc/postgresql/15/main/postgresql.conf pour l'instance par défaut).

Dans le doute, il est possible de consulter la valeur du paramètre `config_file`, ici dans la configuration par défaut sur Rocky Linux :

```
# SHOW config_file;

               config_file
-----
/var/lib/postgresql/15/data/postgresql.conf
```

Ce fichier contient un paramètre par ligne, sous le format :

clé = valeur

Les commentaires commencent par « # » (croisillon) et les chaînes de caractères doivent être encadrées de « ' » (*single quote*). Par exemple :

```
data_directory = '/var/lib/postgresql/15/main'
listen_addresses = 'localhost'
port = 5432
shared_buffers = 128MB
```



Les valeurs de ce fichier ne seront pas forcément les valeurs actives !

Nous allons en effet voir que l'on peut les surcharger.

2.4.1 Surcharge des paramètres de postgresql.conf



- pg_ctl
- Inclusion externe : `include`, `include_if_exists`
- Surcharge :
 - `ALTER SYSTEM SET ...` (renseigne `postgresql.auto.conf`)
 - paramètres de `pg_ctl`
 - `ALTER DATABASE | ROLE ... SET paramètre = ...`
 - `SET / SET LOCAL`
- Consulter :
 - `SHOW`
 - `pg_settings`
 - `pg_file_settings`

En effet, si des options sont passées en arguments à `pg_ctl`, elles seront prises en compte en priorité par rapport à celles du fichier de configuration.

Nous pouvons aussi inclure d'autres fichiers dans le fichier `postgresql.conf` grâce à l'une de ces directives :

```
include = 'nom_fichier'
include_if_exists = 'nom_fichier'
include_dir = 'répertoire'      # contient des fichiers .conf
```

Le ou les fichiers indiqués sont alors inclus à l'endroit où la directive est positionnée. Avec `include`, si le fichier n'existe pas, une erreur FATAL est levée ; au contraire la directive `include_if_exists` permet de ne pas s'arrêter si le fichier n'existe pas. Ces directives permettent notamment des ajustements de configuration propres à plusieurs machines d'un ensemble primaire/secondaires dont le `postgresql.conf` de base est identique, ou de gérer la configuration hors de `postgresql.conf`.

Si des paramètres sont répétés dans `postgresql.conf`, éventuellement suite à des inclusions, la dernière occurrence écrase les précédentes. Si un paramètre est absent, la valeur par défaut s'applique.

Le fichier `postgresql.auto.conf` contient le résultat des commandes de ce type :

```
ALTER SYSTEM SET paramètre = valeur ;
```

qui sont principalement utilisés par les administrateurs et les outils n'ayant pas accès au système de fichiers.

Il est possible de surcharger les options modifiables à chaud par utilisateur, par base, et par combinaison « utilisateur+base », avec par exemple :

```
ALTER ROLE nagios SET log_min_duration_statement TO '1min';
ALTER DATABASE dwh SET work_mem TO '1GB';
ALTER ROLE patron IN DATABASE dwh SET work_mem TO '2GB';
```

Ces surcharges sont visibles dans la table `pg_db_role_setting` ou via la commande `\drds` de `psql`.

Ensuite, un utilisateur peut changer à volonté les valeurs de beaucoup de paramètres dans sa session :

```
SET parametre = valeur ;
```

ou une transaction :

```
SET LOCAL parametre = valeur ;
```

Au final, l'ordre des surcharges est le suivant :

```
paramètre par défaut
-> postgresql.conf
-> ALTER SYSTEM SET (postgresql.auto.conf)
-> option de pg_ctl / postmaster
-> paramètre par base
-> paramètre par rôle
-> paramètre base+rôle
-> paramètre dans la chaîne de connexion
-> paramètre de session (SET)
-> paramètre de transaction (SET LOCAL)
```

La meilleure source d'information sur les valeurs actives est la vue `pg_settings` :

```
SELECT name, source, context, setting, boot_val, reset_val
FROM pg_settings
WHERE name IN ('client_min_messages', 'log_checkpoints', 'wal_segment_size');
```

name	source	context	setting	boot_val	reset_val
client_min_messages	default	user	notice	notice	notice
log_checkpoints	default	sighup	off	off	off
wal_segment_size	override	internal	16777216	16777216	16777216

Nous constatons par exemple que, dans la session ayant effectué la requête, la valeur du paramètre `client_min_messages` a été modifiée à la valeur `debug`. Nous pouvons aussi voir le contexte dans lequel le paramètre est modifiable : le `client_min_messages` est modifiable par l'utilisateur dans sa session. Le `log_checkpoints` seulement par `sighup`, c'est-à-dire par un `pg_ctl reload`, et le `wal_segment_size` n'est pas modifiable après l'initialisation de l'instance.

De nombreuses autres colonnes sont disponibles dans `pg_settings`, comme une description détaillée du paramètre, l'unité de la valeur, ou le fichier et la ligne d'où provient le paramètre. Le champ `pending_restart` indique si un paramètre a été modifié mais attend encore un redémarrage pour être appliqué.

Il existe aussi une vue `pg_file_settings`, qui indique la configuration présente dans les fichiers de configuration (mais pas forcément active !). Elle peut être utile lorsque la configuration est répartie dans plusieurs fichiers. Par exemple, suite à un `ALTER SYSTEM`, les paramètres sont ajoutés dans

postgresql.auto.conf mais un rechargement de la configuration n'est pas forcément suffisant pour qu'ils soient pris en compte :

```
ALTER SYSTEM SET work_mem TO '16MB' ;
ALTER SYSTEM SET max_connections TO 200 ;

SELECT pg_reload_conf() ;
```

```
pg_reload_conf
-----
t
```

```
SELECT * FROM pg_file_settings
WHERE name IN ('work_mem','max_connections')
ORDER BY name ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
sourcefile | /var/lib/postgresql/15/data/postgresql.conf
sourceline | 64
seqno      | 2
name       | max_connections
setting    | 100
applied    | f
error      |
-[ RECORD 2 ]-----
sourcefile | /var/lib/postgresql/15/data/postgresql.auto.conf
sourceline | 4
seqno      | 17
name       | max_connections
setting    | 200
applied    | f
error      | setting could not be applied
-[ RECORD 3 ]-----
sourcefile | /var/lib/postgresql/15/data/postgresql.auto.conf
sourceline | 3
seqno      | 16
name       | work_mem
setting    | 16MB
applied    | t
error      |
```


2.4.2 Survol de `postgresql.conf`



- Emplacement de fichiers
- Connections & authentification
- Ressources (hors journaux de transactions)
- Journaux de transactions
- Réplication
- Optimisation de requête
- Traces
- Statistiques d'activité
- Autovacuum
- Paramétrage client par défaut
- Verrous
- Compatibilité

`postgresql.conf` contient environ 300 paramètres. Il est séparé en plusieurs sections, dont les plus importantes figurent ci-dessous. Il n'est pas question de les détailler toutes.

La plupart des paramètres ne sont jamais modifiés. Les défauts sont souvent satisfaisants pour une petite installation. Les plus importants sont supposés acquis (au besoin, voir la formation DBA1²).

Les principales sections sont :

Connections and authentication

S'y trouveront les classiques `listen_addresses`, `port`, `max_connections`, `password_encryption`, ainsi que les paramétrages TCP (*keepalive*) et SSL.

Resource usage (except WAL)

Cette partie fixe des limites à certaines consommations de ressources.

Sont normalement déjà bien connus `shared_buffers`, `work_mem` et `maintenance_work_mem` (qui seront couverts extensivement plus loin).

On rencontre ici aussi le paramétrage du VACUUM (pas directement de l'autovacuum !), du *background writer*, du parallélisme dans les requêtes.

Write-Ahead Log

Les journaux de transaction sont gérés ici. Cette partie sera également détaillée dans un autre module.

Depuis la version 10, tout est prévu pour faciliter la mise en place d'une réplication sans modification de cette partie sur le primaire (notamment `wal_level`).

²<https://dali.bo/dba1.html>

Dans la partie *Archiving*, l'archivage des journaux peut être activé pour une sauvegarde PITR ou une réplication par *log shipping*.

Depuis la version 12, tous les paramètres de restauration (qui peuvent servir à la réplication) figurent aussi dans les sections *Archive Recovery* et *Recovery Target*. Auparavant, ils figuraient dans un fichier `recovery.conf` séparé.

Replication

Cette partie fournit le nécessaire pour alimenter un secondaire en réplication par *streaming*, physique ou logique.

Ici encore, depuis la version 12, l'essentiel du paramétrage nécessaire à un secondaire physique ou logique est intégré dans ce fichier.

Query tuning

Les paramètres qui peuvent influencer l'optimiseur sont à définir dans cette partie, notamment `seq_page_cost` et `random_page_cost` en fonction des disques, et éventuellement le parallélisme, le niveau de finesse des statistiques, le JIT...

Reporting and logging

Si le paramétrage par défaut des traces ne convient pas, le modifier ici. Il faudra généralement augmenter leur verbosité. Quelques paramètres `log_*` figurent dans d'autres sections.

Autovacuum

L'autovacuum fonctionne généralement convenablement, et des ajustements se font généralement table par table. Il arrive cependant que certains paramètres doivent être modifiés globalement.

Client connection defaults

Cette partie un peu fourre-tout définit le paramétrage au niveau d'un client : langue, fuseau horaire, extensions à précharger, tablespaces par défaut...

Lock management

Les paramètres de cette section sont rarement modifiés.

2.5 PG_HBA.CONF ET PG_IDENT.CONF



- Authentification multiple :
 - utilisateur / base / source de connexion
- Fichiers :
 - `pg_hba.conf` (*Host Based Authentication*)
 - `pg_ident.conf` : si mécanisme externe d'authentification
 - paramètres : `hba_file` et `ident_file`

L'authentification est paramétrée au moyen du fichier `pg_hba.conf`. Dans ce fichier, pour une tentative de connexion à une base donnée, pour un utilisateur donné, pour un transport (IP, IPV6, Socket Unix, SSL ou non), et pour une source donnée, ce fichier permet de spécifier le mécanisme d'authentification attendu.

Si le mécanisme d'authentification s'appuie sur un système externe (LDAP, Kerberos, Radius...), des tables de correspondances entre utilisateur de la base et utilisateur demandant la connexion peuvent être spécifiées dans `pg_ident.conf`.

Ces noms de fichiers ne sont que les noms par défaut. Ils peuvent tout à fait être remplacés en spécifiant de nouvelles valeurs de `hba_file` et `ident_file` dans `postgresql.conf` (les installations Red Hat et Debian utilisent là aussi des emplacements différents, comme pour `postgresql.conf`).

Leur utilisation est décrite dans notre première formation³.

³https://dali.bo/f_html

2.6 TABLESPACES



- Espace de stockage physique d'objets
 - et non logique !
- Simple répertoire (**hors de PGDATA**) + lien symbolique
- Pour :
 - répartir I/O et volumétrie
 - quotas (par le FS, mais pas en natif)
 - tri sur disque séparé
- Utilisation selon des droits

Par défaut, PostgreSQL se charge du placement des objets sur le disque, dans son répertoire des données, mais il est possible de créer des répertoires de stockage supplémentaires, nommés *tablespaces*.

Un *tablespace*, vu de PostgreSQL, est un espace de stockage des objets (tables et index principalement). Son rôle est purement physique, il n'a pas à être utilisé pour une séparation *logique* des tables (c'est le rôle des bases et des schémas), encore moins pour gérer des droits.

Pour le système d'exploitation, il s'agit juste d'un répertoire, déclaré ainsi :

```
CREATE TABLESPACE ssd LOCATION '/var/lib/postgresql/tbl_ssd';
```

Ce répertoire doit **impérativement être placé hors de PGDATA**. Certains outils poseraient problème sinon.

Si ce conseil n'est pas suivi, PostgreSQL crée le tablespace mais renvoie un avertissement :

```
WARNING: tablespace location should not be inside the data directory
CREATE TABLESPACE
```



Attention, pour des raisons de sécurité et de fiabilité, le répertoire choisi **ne doit pas** être à la racine d'un point de montage. (Cela vaut aussi pour les répertoires PGDATA ou `pg_wal`). Positionnez toujours les données dans un sous-répertoire, voire deux niveaux en-dessous du point de montage.

Par exemple, déclarez votre PGDATA dans `/<point de montage>/<version majeure>/<nom instance>` plutôt que directement dans `/<point de montage>`. Et un tablespace ira dans `/<autre point de montage>/<nom répertoire>/` plutôt que directement dans `/<autre point de montage>/`.

(Voir *Utilisation de systèmes de fichiers secondaires*⁴ dans la documentation officielle, ou le bug à l'origine de ce conseil⁵.)

Il est aussi déconseillé de mettre le numéro de version de PostgreSQL dans le chemin du tablespace. PostgreSQL le gère à l'intérieur du tablespace, et en tient notamment compte dans les migrations avec `pg_upgrade`.

L'idée est de séparer les objets suivant leur utilisation. Les cas d'utilisation des tablespaces dans PostgreSQL sont :

- la saturation de la partition du PGDATA sans possibilité de l'étendre (préférer une intervention au niveau du système, LVM ou de la baie) ;
- la répartition des entrées-sorties... si le SAN ou la virtualisation permet encore d'agir à ce niveau ;
- le déport des fichiers temporaires vers un tablespace dédié, pour la performance ou éviter qu'ils saturent le PGDATA ;
- la séparation entre données froides et chaudes sur des disques de performances différentes, ou encore des index et des tables ;
- la séparation des index et des tables, pour répartir les écritures ;
- les quotas : PostgreSQL ne disposant pas d'un système de quotas, les tablespaces peuvent permettre de contourner cette limitation ; une transaction voulant étendre un fichier sera alors annulée avec l'erreur `cannot extend file`.



Sans un réel besoin, il n'y a pas besoin de créer des tablespaces, et de complexifier l'administration.

Il n'existe pas de notion de tablespace en lecture seule, ni de tablespace transportable entre deux bases ou deux instances.

⁴<https://doc.postgresql.fr/current/creating-cluster.html#CREATING-CLUSTER-MOUNT-POINTS>

⁵https://bugzilla.redhat.com/show_bug.cgi?id=1247477#c1

2.6.1 Tablespaces : mise en place



```
CREATE TABLESPACE chaud LOCATION '/SSD/tbl/chaud';  
  
CREATE DATABASE nom TABLESPACE 'chaud';  
  
ALTER DATABASE nom SET default_tablespace TO 'chaud';  
  
GRANT CREATE ON TABLESPACE chaud TO un_utilisateur ;  
  
CREATE TABLE une_table (...) TABLESPACE chaud ;  
  
ALTER TABLE une_table SET TABLESPACE chaud ; -- verrou !  
  
ALTER INDEX une_table_i_idx SET TABLESPACE chaud ; -- pas automatique
```

Le répertoire du tablespace doit exister et les accès ouverts et restreints à l'utilisateur système sous lequel tourne l'instance (en général **postgres** sous Linux, **Network Service** sous Windows) :

```
# mkdir /SSD/tbl/chaud  
# chown postgres:postgres /SSD/tbl/chaud  
# chmod 700 /SSD/tbl/chaud
```

Les ordres SQL plus haut permettent de :

- créer un tablespace simplement en indiquant son emplacement dans le système de fichiers du serveur ;
- créer une base de données dont le tablespace par défaut sera celui indiqué ;
- modifier le tablespace par défaut d'une base ;
- donner le droit de créer des tables dans un tablespace à un utilisateur (c'est nécessaire avant de l'utiliser) ;
- créer une table dans un tablespace ;
- déplacer une table dans un tablespace ;
- déplacer un index dans un tablespace.

Quelques choses à savoir :



- La table ou l'index est totalement verrouillé le temps du déplacement.
- Les index existants ne « suivent » pas automatiquement une table déplacée, il faut les déplacer séparément.
- Par défaut, les nouveaux index ne sont **pas** créés automatiquement dans le même tablespace que la table, mais en fonction de `default_tablespace`.

Les tablespaces des tables sont visibles dans la vue système `pg_tables`, dans `\d+` sous `psql`, et dans `pg_indexes` pour les index :

```
SELECT schemaname, indexname, tablespace
FROM   pg_indexes
WHERE  tablename = 'ma_table';
```

schemaname	indexname	tablespace
public	matable_idx	chaud
public	matable_pkey	

2.6.2 Tablespaces : configuration



- `default_tablespace`
- `temp_tablespaces`
- Droits à ouvrir :

```
GRANT CREATE ON TABLESPACE ssd_tri TO dupont ;
```

- Performances :
 - `seq_page_cost`, `random_page_cost`
 - `effective_io_concurrency`, `maintenance_io_concurrency`

```
ALTER TABLESPACE chaud SET ( random_page_cost = 1 );
ALTER TABLESPACE chaud SET ( effective_io_concurrency = 500,
                             maintenance_io_concurrency = 500 ) ;
```

Données :

Le paramètre `default_tablespace` permet d'utiliser un autre tablespace que celui par défaut dans PGDATA. En plus du `postgresql.conf`, il peut être défini au niveau rôle, base, ou le temps d'une session :

```
ALTER DATABASE critique SET default_tablespace TO 'chaud' ; -- base
ALTER ROLE etl SET default_tablespace TO 'chaud' ; -- rôle
SET default_tablespace TO 'chaud' ; -- session
```

Tri :

Les opérations de tri et les tables temporaires peuvent être déplacées vers un ou plusieurs tablespaces dédiés grâce au paramètre `temp_tablespaces`. Le premier intérêt est de dédier aux tris une partition rapide (SSD, disque local...). Un autre est de ne plus risquer de saturer la partition du PGDATA en cas de fichiers temporaires énormes dans `base/pgsql_tmp/`.



Ne jamais utiliser de ramdisk (comme `tmpfs`) pour des tablespaces de tri : la mémoire de la machine ne doit servir qu'aux applications et outils, au cache de l'OS, et aux tris en RAM. Favorisez ces derniers en jouant sur `work_mem`. En cas de redémarrage, ce tablespace ne serait d'ailleurs plus utilisable. Un ramdisk est encore plus dangereux pour les tablespaces de données, bien sûr.

Il faudra ouvrir les droits aux utilisateurs ainsi :

```
GRANT CREATE ON TABLESPACE ssd_tri TO dupont ;
```

Si plusieurs tablespaces de tri sont paramétrés, chaque transaction en choisira un de façon aléatoire à la création d'un objet temporaire, puis utilisera alternativement chaque tablespace. Un gros tri sera donc étalé sur plusieurs de ces tablespaces. afin de répartir la charge.

Paramètres de performances :

Dans le cas de disques de performances différentes, il faut adapter les paramètres concernés aux caractéristiques du tablespace si la valeur par défaut ne convient pas. Ce sont des paramètres classiques qui ne seront pas décrits en détail ici :

- `seq_page_cost` (coût d'accès à un bloc pendant un parcours) ;
- `random_page_cost` (coût d'accès à un bloc isolé) ;
- `effective_io_concurrency` (nombre d'I/O simultanées) et `maintenance_io_concurrency` (idem, pour une opération de maintenance).

Notamment : `effective_io_concurrency` a pour but d'indiquer le nombre d'opérations disques possibles en même temps pour un client (*prefetch*). Seuls les parcours *Bitmap Scan* sont impactés par ce paramètre. Selon la documentation⁶, pour un système disque utilisant un RAID matériel, il faut le configurer en fonction du nombre de disques utiles dans le RAID (n s'il s'agit d'un RAID 1, $n-1$ s'il s'agit d'un RAID 5 ou 6, $n/2$ s'il s'agit d'un RAID 10). Avec du SSD, il est possible de monter à plusieurs centaines, étant donné la rapidité de ce type de disque. À l'inverse, il faut tenir compte du nombre de requêtes simultanées qui utiliseront ce nœud. Le défaut est seulement de 1, et la valeur maximale est 1000. Attention, à partir de la version 13, le principe reste le même, mais la valeur exacte de ce paramètre doit être 2 à 5 fois plus élevée qu'auparavant, selon la formule des notes de version⁷.

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/runtime-config-resource.html#GUC-EFFECTIVE-IO-CONCURRENCY>

⁷<https://docs.postgresql.fr/13/release.html>

Toujours en version 13 apparaît `maintenance_io_concurrency`. similaire à `effective_io_concurrency`, mais pour les opérations de maintenance. Celles-ci peuvent ainsi se voir accorder plus de ressources qu'une simple requête. Le défaut est de 10, et il faut penser à le monter aussi si on adapte `effective_io_concurrency`.

Par exemple, sur un système paramétré pour des disques classiques, un tablespace sur un SSD peut porter ces paramètres :

```
ALTER TABLESPACE chaud SET ( random_page_cost = 1 );
ALTER TABLESPACE chaud SET ( effective_io_concurrency = 500,
                             maintenance_io_concurrency = 500 ) ;
```

2.7 GESTION DES CONNEXIONS



- L'accès à la base se fait par un protocole réseau clairement défini :
 - sockets TCP (IPV4 ou IPV6)
 - sockets Unix (Unix uniquement)
- Les demandes de connexion sont gérées par le *postmaster*.
- Paramètres : `port`, `listen_adresses`, `unix_socket_directories`, `unix_socket_group` et `unix_socket_permissions`

Le processus *postmaster* est en écoute sur les différentes sockets déclarées dans la configuration. Cette déclaration se fait au moyen des paramètres suivants :

- `port` : le port TCP. Il sera aussi utilisé dans le nom du fichier socket Unix (par exemple : `/tmp/.s.PGSQL.5432` ou `/var/run/postgresql/.s.PGSQL.5432` selon les distributions) ;
- `listen_adresses` : la liste des adresses IP du serveur auxquelles s'attacher ;
- `unix_socket_directories` : le répertoire où sera stocké la socket Unix ;
- `unix_socket_group` : le groupe (système) autorisé à accéder à la socket Unix ;
- `unix_socket_permissions` : les droits d'accès à la socket Unix.

Les connexions par socket Unix ne sont possibles sous Windows qu'à partir de la version 13.

2.7.1 TCP



- Paramètres de keepalive TCP
 - `tcp_keepalives_idle`
 - `tcp_keepalives_interval`
 - `tcp_keepalives_count`
- Paramètre de vérification de connexion
 - `client_connection_check_interval`

Il faut bien faire la distinction entre session TCP et session de PostgreSQL. Si une session TCP sert de support à une requête particulièrement longue, laquelle ne renvoie pas de données pendant plu-

sièurs minutes, alors le firewall peut considérer la session inactive, même si le statut du backend dans `pg_stat_activity` est active.

Il est possible de préciser les propriétés *keepalive* des sockets TCP, pour peu que le système d'exploitation les gère. Le *keepalive* est un mécanisme de maintien et de vérification des sessions TCP, par l'envoi régulier de messages de vérification sur une session TCP inactive. `tcp_keepalives_idle` est le temps en secondes d'inactivité d'une session TCP avant l'envoi d'un message de *keepalive*. `tcp_keepalives_interval` est le temps entre un *keepalive* et le suivant, en cas de non-réponse. `tcp_keepalives_count` est le nombre maximum de paquets sans réponse accepté avant que la session ne soit déclarée comme morte.

Les valeurs par défaut (0) reviennent à utiliser les valeurs par défaut du système d'exploitation.

Le mécanisme de *keepalive* a deux intérêts :

- il permet de détecter les clients déconnectés même si ceux-ci ne notifient pas la déconnexion (plantage du système d'exploitation, fermeture de la session par un firewall...);
- il permet de maintenir une session active au travers de firewalls, qui seraient fermées sinon : la plupart des firewalls ferment une session inactive après 5 minutes, alors que la norme TCP prévoit plusieurs jours.

Un autre cas peut survenir. Parfois, un client lance une requête. Cette requête met du temps à s'exécuter et le client quitte la session avant de récupérer les résultats. Dans ce cas, le serveur continue à exécuter la requête et ne se rendra compte de l'absence du client qu'au moment de renvoyer les premiers résultats. Depuis la version 14, il est possible d'autoriser la vérification de la connexion pendant l'exécution d'une requête. Il faut pour cela définir la durée d'intervalle entre deux vérifications avec le paramètre `client_connection_check_interval`. Par défaut, cette option est désactivée et sa valeur est de 0.

2.7.2 SSL



- Paramètres SSL
 - `ssl`, `ssl_ciphers`, `ssl_renegotiation_limit`

Il existe des options pour activer SSL et le paramétrer. `ssl` vaut `on` ou `off`, `ssl_ciphers` est la liste des algorithmes de chiffrement autorisés, et `ssl_renegotiation_limit` le volume maximum de données échangées sur une session avant renégociation entre le client et le serveur. Le paramétrage SSL impose aussi la présence d'un certificat. Pour plus de détails, consultez la documentation officielle⁸.

⁸<https://docs.postgresql.fr/current/ssl-tcp.html>

2.8 STATISTIQUES SUR L'ACTIVITÉ



- Collectées par chaque session durant son travail
- (Ne pas confondre avec statistiques sur les données !)
- Comportement avant la v15
 - remontées au processus *stats collector*
 - enregistrées régulièrement dans plusieurs fichiers
- Comportement à partir de la v15
 - enregistrées en mémoire
 - stockées dans un fichier à l'arrêt du service
- Statistiques consultable par des vues systèmes
- Paramètres :
 - `track_activities`, `track_activity_query_size`
 - `track_counts`, `track_io_timing` et `track_functions`
 - `update_process_title`
 - `stats_temp_directory` (<v15)

Les différents processus de PostgreSQL collectent des statistiques d'activité qui ont pour but de mesurer l'activité de la base. Notamment :

- combien de fois cette table a-t-elle été parcourue séquentiellement ?
- combien de blocs ont été trouvés dans le cache pour ce parcours d'index, et combien ont dû être demandés au système d'exploitation ?
- Quelles sont les requêtes en cours d'exécution ?
- Combien de buffers ont été écrits par le processus *background writer* ? Par les processus *background* eux-mêmes ? durant un checkpoint ?

Il ne faut pas confondre les statistiques d'activité avec celles sur les données (taille des tables, des enregistrements, fréquences des valeurs...), qui sont à destination de l'optimiseur de requête !

Chaque session collecte des statistiques, dès qu'elle effectue une opération. Avant la version 15, ces informations, si elles sont transitoires, comme la requête en cours, sont directement stockées dans la mémoire partagée de PostgreSQL. Si elles doivent être agrégées et stockées, elles sont remontées au processus responsable de cette tâche, le *Stats Collector*. À partir de la version 15, ce collecteur disparaît. Toutes les informations sont enregistrées en mémoire pendant toute la durée d'exécution du service. Quand PostgreSQL est arrêté, il enregistre sur disque les statistiques qui se trouvaient en mémoire. Au redémarrage, il peut ainsi retrouver les statistiques sur disque.

Voici les paramètres concernés par cette collecte d'informations.

`track_activities` (on par défaut) précise si les processus doivent mettre à jour leur activité dans `pg_stat_activity`.

`track_counts` (on par défaut) indique que les processus doivent collecter des informations sur leur activité. Il est vital pour le déclenchement de l'autovacuum.

`track_activity_query_size` est la taille maximale du texte de requête pouvant être stocké dans `pg_stat_activity`. 1024 caractères est un défaut souvent insuffisant, à monter vers 10 000 si les requêtes sont longues, voire plus ; cette modification nécessite un redémarrage vu qu'elle touche au dimensionnement de la mémoire partagée.

Disponible depuis la version 14, `compute_query_id` permet d'activer le calcul de l'identifiant de la requête. Ce dernier sera visible dans le champ `query_id` de la vue `pg_stat_activity`, ainsi que dans les traces.

`track_io_timing` (off par défaut) précise si les processus doivent collecter des informations de chronométrage sur les lectures et écritures, pour compléter les champs `blk_read_time` et `blk_write_time` des vues `pg_stat_database` et `pg_stat_statements`, ainsi que les plans d'exécutions appelés avec `EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS)` et les traces de l'autovacuum (pour un `VACUUM` comme un `ANALYZE`). Avant de l'activer sur une machine peu performante, vérifiez l'impact avec l'outil `pg_test_timing` (il doit montrer des durées de chronométrage essentiellement sous la microseconde).

`track_functions` indique si les processus doivent aussi collecter des informations sur l'exécution des routines stockées. Les valeurs sont `none` (par défaut), `pl` pour ne tracer que les routines en langages procéduraux, `all` pour tracer aussi les routines en C et en SQL.

`update_process_title` permet de modifier le titre du processus, visible par exemple avec `ps -ef` sous Unix. Il est à on par défaut sous Unix, mais il faut le laisser à `off` sous Windows pour des raisons de performance.

Avant la version 15, `stats_temp_directory` servait à indiquer le répertoire de stockage temporaire des statistiques, avant copie dans `pg_stat/` lors d'un arrêt propre. Ce répertoire peut devenir gros, est réécrit fréquemment, et peut devenir source de contention. Il est conseillé de le stocker ailleurs que dans le répertoire de l'instance PostgreSQL, par exemple sur un *ramdisk* ou *tmpfs* (c'est le défaut sous Debian).

Ce répertoire existe toujours en version 15, notamment si vous utilisez le module `pg_stat_statements`. Cependant, en dehors de ce module, rien d'autre ne l'utilise. Quant au paramètre `stats_temp_directory`, il a disparu.

2.8.1 Statistiques d'activité collectées



- Accès logiques (INSERT, SELECT...) par table et index
- Accès physiques (blocs) par table, index et séquence
- Activité du *Background Writer*
- Activité par base
- Liste des sessions et informations sur leur activité

2.8.2 Vues système



- Supervision / métrologie
- Diagnostiquer
- Vues système :
 - pg_stat_user_*
 - pg_statio_user_*
 - pg_stat_activity : requêtes
 - pg_stat_bgwriter
 - pg_locks

PostgreSQL propose de nombreuses vues, accessibles en SQL, pour obtenir des informations sur son fonctionnement interne. Il est possible d'avoir des informations sur le fonctionnement des bases, des processus d'arrière-plan, des tables, les requêtes en cours...

Pour les statistiques aux objets, le système fournit à chaque fois trois vues différentes :

- Une pour tous les objets du type. Elle contient *all* dans le nom, pg_statio_all_tables par exemple ;
- Une pour uniquement les objets systèmes. Elle contient *sys* dans le nom, pg_statio_sys_tables par exemple ;
- Une pour uniquement les objets non-systèmes. Elle contient *user* dans le nom, pg_statio_user_tables par exemple.

Les accès logiques aux objets (tables, index et routines) figurent dans les vues pg_stat_xxx_tables, pg_stat_xxx_indexes et pg_stat_user_functions.

Les accès physiques aux objets sont visibles dans les vues `pg_statio_xxx_tables`, `pg_statio_xxx_indexes` et `pg_statio_xxx_sequences`.

Des statistiques globales par base sont aussi disponibles, dans `pg_stat_database` : le nombre de transactions validées et annulées, quelques statistiques sur les sessions, et quelques statistiques sur les accès physiques et en cache, ainsi que sur les opérations logiques.

`pg_stat_bgwriter` stocke les statistiques d'écriture des buffers des Background Writer, Checkpointer et des sessions elles-mêmes.

`pg_stat_activity` est une des vues les plus utilisées et est souvent le point de départ d'une recherche : elle donne des informations sur les processus en cours sur l'instance, que ce soit des processus en tâche de fond ou des processus backends associés aux clients : numéro de processus, adresse et port, date de début d'ordre, de transaction, de session, requête en cours, état, ordre SQL et nom de l'application si elle l'a renseigné. (Noter qu'avant la version 10, cette vue n'affichait que les processus backend ; à partir de la version 10 apparaissent des workers, le checkpointer, le walwriter... ; à partir de la version 14 apparaît le processus d'archivage).

```
=# SELECT datname, pid, username, application_name, backend_start, state,
   ↪ backend_type, query
   FROM pg_stat_activity \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
datname      | 
pid          | 26378
username     | 
application_name | 
backend_start | 2019-10-24 18:25:28.236776+02
state        | 
backend_type  | autovacuum launcher
query        | 
-[ RECORD 2 ]-----+-----
datname      | 
pid          | 26380
username     | postgres
application_name | 
backend_start | 2019-10-24 18:25:28.238157+02
state        | 
backend_type  | logical replication launcher
query        | 
-[ RECORD 3 ]-----+-----
datname      | pgbench
pid          | 22324
username     | test_performance
application_name | pgbench
backend_start | 2019-10-28 10:26:51.167611+01
state        | active
backend_type  | client backend
query        | UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + -3810 WHERE...
-[ RECORD 4 ]-----+-----
datname      | postgres
pid          | 22429
username     | postgres
application_name | psql
backend_start | 2019-10-28 10:27:09.599426+01
```

```

state          | active
backend_type   | client backend
query          | select datname, pid, username, application_name, backend_start...
-[ RECORD 5 ]-----+-----
datname        | pgbench
pid            | 22325
username       | test_performance
application_name | pgbench
backend_start  | 2019-10-28 10:26:51.172585+01
state          | active
backend_type   | client backend
query          | UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + 4360 WHERE...
-[ RECORD 6 ]-----+-----
datname        | pgbench
pid            | 22326
username       | test_performance
application_name | pgbench
backend_start  | 2019-10-28 10:26:51.178514+01
state          | active
backend_type   | client backend
query          | UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + 2865 WHERE...
-[ RECORD 7 ]-----+-----
datname        | 
pid            | 26376
username       | 
application_name | 
backend_start  | 2019-10-24 18:25:28.235574+02
state          | 
backend_type   | background writer
query          | 
-[ RECORD 8 ]-----+-----
datname        | 
pid            | 26375
username       | 
application_name | 
backend_start  | 2019-10-24 18:25:28.235064+02
state          | 
backend_type   | checkpointer
query          | 
-[ RECORD 9 ]-----+-----
datname        | 
pid            | 26377
username       | 
application_name | 
backend_start  | 2019-10-24 18:25:28.236239+02
state          | 
backend_type   | walwriter
query          | 

```

Cette vue fournit aussi des informations sur ce que chaque session attend. Pour les détails sur `wait_event_type` (type d'événement en attente) et `wait_event` (nom de l'événement en attente), voir le tableau des événements d'attente⁹.

```
# SELECT datname, pid, wait_event_type, wait_event, query FROM pg_stat_activity
```

⁹<https://docs.postgresql.fr/current/monitoring-stats.html#wait-event-table>

WHERE backend_type='client backend' **AND** wait_event **IS NOT NULL** \gx

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
datname      | pgbench
pid          | 1590
state        | idle in transaction
wait_event_type | Client
wait_event    | ClientRead
query        | UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + 1438 WHERE...
-[ RECORD 2 ]-----+-----
datname      | pgbench
pid          | 1591
state        | idle
wait_event_type | Client
wait_event    | ClientRead
query        | END;
-[ RECORD 3 ]-----+-----
datname      | pgbench
pid          | 1593
state        | idle in transaction
wait_event_type | Client
wait_event    | ClientRead
query        | INSERT INTO pgbench_history (tid, bid, aid, delta, mtime) VALUES...
-[ RECORD 4 ]-----+-----
datname      | postgres
pid          | 1018
state        | idle in transaction
wait_event_type | Client
wait_event    | ClientRead
query        | delete from t1 ;
-[ RECORD 5 ]-----+-----
datname      | postgres
pid          | 1457
state        | active
wait_event_type | Lock
wait_event    | transactionid
query        | delete from t1 ;

```

Des vues plus spécialisées existent :

`pg_stat_replication` donne des informations sur les serveurs secondaires connectés. Les statistiques sur les conflits entre application de la réplication et requêtes en lecture seule sont disponibles dans `pg_stat_database_conflicts`.

`pg_stat_ssl` donne des informations sur les connexions SSL : version SSL, suite de chiffrement, nombre de bits pour l'algorithme de chiffrement, compression, Distinguished Name (DN) du certificat client.

`pg_locks` permet de voir les verrous posés sur les objets (principalement les relations comme les tables et les index).

`pg_stat_progress_vacuum`, `pg_stat_progress_analyze`, `pg_stat_progress_create_index`, `pg_stat_progress_cluster`, `pg_stat_progress_basebackup` et `pg_stat_progress_copy` donnent respectivement des informations sur la progression des VACUUM, des ANALYZE, des créations d'index, des commandes de VACUUM FULL et CLUSTER, de la commande de réplication

BASE BACKUP et des COPY.

`pg_stat_archiver` donne des informations sur l'archivage des wals et notamment sur les erreurs d'archivage.

2.9 STATISTIQUES SUR LES DONNÉES



- Statistiques sur les données : `pg_stats`
 - collectées par échantillonnage (`default_statistics_target`)
 - `ANALYZE table`
 - table par table (et pour certains index)
 - colonne par colonne
 - pour de meilleurs plans d'exécution
- Affiner :
 - Échantillonnage


```
ALTER TABLE matable ALTER COLUMN macolonne SET statistics 300 ;
```
 - Statistiques multicolonnes sur demande


```
CREATE STATISTICS nom ON champ1, champ2... FROM nom_table ;
```

Afin de calculer les plans d'exécution des requêtes au mieux, le moteur a besoin de statistiques sur les données qu'il va interroger. Il est très important pour lui de pouvoir estimer la sélectivité d'une clause `WHERE`, l'augmentation ou la diminution du nombre d'enregistrements entraînée par une jointure, tout cela afin de déterminer le coût approximatif d'une requête, et donc de choisir un bon plan d'exécution.

Il ne faut pas les confondre avec les statistiques d'activité, vues précédemment !

Les statistiques sont collectées dans la table `pg_statistic`. La vue `pg_stats` affiche le contenu de cette table système de façon plus accessible.

Les statistiques sont collectées sur :

- chaque colonne de chaque table ;
- les index fonctionnels.

Le recueil des statistiques s'effectue quand on lance un ordre `ANALYZE` sur une table, ou que l'autovacuum le lance de son propre chef.

Les statistiques sont calculées sur un échantillon égal à 300 fois le paramètre `STATISTICS` de la colonne (ou, s'il n'est pas précisé, du paramètre `default_statistics_target`, 100 par défaut).

La vue `pg_stats` affiche les statistiques collectées :

```
\d pg_stats
```

```

View "pg_catalog.pg_stats"
Column | Type | Collation | Nullable | Default
```

schemaname	name			
tablename	name			
attname	name			
inherited	boolean			
null_frac	real			
avg_width	integer			
n_distinct	real			
most_common_vals	anyarray			
most_common_freqs	real[]			
histogram_bounds	anyarray			
correlation	real			
most_common_elems	anyarray			
most_common_elem_freqs	real[]			
elem_count_histogram	real[]			

- `inherited` : la statistique concerne-t-elle un objet utilisant l'héritage (table parente, dont héritent plusieurs tables) ;
- `null_frac` : fraction d'enregistrements dont la colonne vaut NULL ;
- `avg_width` : taille moyenne de cet attribut dans l'échantillon collecté ;
- `n_distinct` : si positif, nombre de valeurs distinctes, si négatif, fraction de valeurs distinctes pour cette colonne dans la table. Il est possible de forcer le nombre de valeurs distinctes, s'il est constaté que la collecte des statistiques n'y arrive pas : `ALTER TABLE xxx ALTER COLUMN yyy SET (n_distinct = -0.5) ; ANALYZE xxx` ; par exemple indique à l'optimiseur que chaque valeur apparaît statistiquement deux fois ;
- `most_common_vals` et `most_common_freqs` : les valeurs les plus fréquentes de la table, et leur fréquence. Le nombre de valeurs collectées est au maximum celui indiqué par le paramètre `STATISTICS` de la colonne, ou à défaut par `default_statistics_target`. Le défaut de 100 échantillons sur 30 000 lignes peut être modifié par `ALTER TABLE matable ALTER COLUMN macolonne SET statistics 300` ; (avec une évolution proportionnelle du nombre de lignes consultées) sachant que le temps de planification augmente exponentiellement et qu'il vaut mieux ne pas dépasser la valeur 1000 ;
- `histogram_bounds` : les limites d'histogramme sur la colonne. Les histogrammes permettent d'évaluer la sélectivité d'un filtre par rapport à sa valeur précise. Ils permettent par exemple à l'optimiseur de déterminer que 4,3 % des enregistrements d'une colonne noms commencent par un A, ou 0,2 % par AL. Le principe est de regrouper les enregistrements triés dans des groupes de tailles approximativement identiques, et de stocker les limites de ces groupes (on ignore les `most_common_vals`, pour lesquelles il y a déjà une mesure plus précise). Le nombre d'`histogram_bounds` est calculé de la même façon que les `most_common_vals` ;
- `correlation` : le facteur de corrélation statistique entre l'ordre physique et l'ordre logique des enregistrements de la colonne. Il vaudra par exemple 1 si les enregistrements sont physiquement stockés dans l'ordre croissant, -1 si ils sont dans l'ordre décroissant, ou 0 si ils sont totalement aléatoirement répartis. Ceci sert à affiner le coût d'accès aux enregistrements ;
- `most_common_elems` et `most_common_elems_freqs` : les valeurs les plus fréquentes si la colonne est un tableau (NULL dans les autres cas), et leur fréquence. Le nombre de valeurs collectées est au maximum celui indiqué par le paramètre `STATISTICS` de la colonne, ou à défaut par `default_statistics_target` ;

- `elem_count_histogram` : les limites d'histogramme sur la colonne si elle est de type tableau.

Parfois, il est intéressant de calculer des statistiques sur un ensemble de colonnes ou d'expressions. Dans ce cas, il faut créer un objet statistique en indiquant les colonnes et/ou expressions à traiter et le type de statistiques à calculer (voir la documentation de `CREATE STATISTICS`).

2.10 OPTIMISEUR



- SQL est un langage déclaratif :
 - décrit le résultat attendu (projection, sélection, jointure, etc.)...
 - ...mais pas comment l'obtenir
 - c'est le rôle de l'optimiseur

Le langage SQL décrit le résultat souhaité. Par exemple :

```
SELECT path, filename
FROM file
JOIN path ON (file.pathid=path.pathid)
WHERE path LIKE '/usr/%'
```

Cet ordre décrit le résultat souhaité. Nous ne précisons pas au moteur comment accéder aux tables `path` et `file` (par index ou parcours complet par exemple), ni comment effectuer la jointure (PostgreSQL dispose de plusieurs méthodes). C'est à l'optimiseur de prendre la décision, en fonction des informations qu'il possède.

Les informations les plus importantes pour lui, dans le contexte de cette requête, seront :

- quelle fraction de la table `path` est ramenée par le critère `path LIKE '/usr/%'` ?
- y a-t-il un index utilisable sur cette colonne ?
- y a-t-il des index utilisables sur `file.pathid`, sur `path.pathid` ?
- quelles sont les tailles des deux tables ?

La stratégie la plus efficace ne sera donc pas la même suivant les informations retournées par toutes ces questions.

Par exemple, il pourrait être intéressant de charger les deux tables séquentiellement, supprimer les enregistrements de `path` ne correspondant pas à la clause `LIKE`, trier les deux jeux d'enregistrements et fusionner les deux jeux de données triés (cette technique est un *merge join*). Cependant, si les tables sont assez volumineuses, et que le `LIKE` est très discriminant (il ramène peu d'enregistrements de la table `path`), la stratégie d'accès sera totalement différente : nous pourrions préférer récupérer les quelques enregistrements de `path` correspondant au `LIKE` par un index, puis pour chacun de ces enregistrements, aller chercher les informations correspondantes dans la table `file` (c'est un *nested loop*).

2.10.1 Optimisation par les coûts



- L'optimiseur évalue les coûts respectifs des différents plans
- Il calcule tous les plans possibles tant que c'est possible
- Le coût de planification exhaustif est exponentiel par rapport au nombre de jointures de la requête
- Il peut falloir d'autres stratégies
- Paramètres principaux :
 - `seq_page_cost`, `random_page_cost`, `cpu_tuple_cost`, `cpu_index_tuple_cost`, `cpu_operator_cost`
 - `parallel_setup_cost`, `parallel_tuple_cost`
 - `effective_cache_size`

Afin de choisir un bon plan, le moteur essaie des plans d'exécution. Il estime, pour chacun de ces plans, le coût associé. Afin d'évaluer correctement ces coûts, il utilise plusieurs informations :

- Les statistiques sur les données, qui lui permettent d'estimer le nombre d'enregistrements ramenés par chaque étape du plan et le nombre d'opérations de lecture à effectuer pour chaque étape de ce plan ;
- Des informations de paramétrage lui permettant d'associer un coût arbitraire à chacune des opérations à effectuer. Ces informations sont les suivantes :
 - `seq_page_cost` (1 par défaut) : coût de la lecture d'une page disque de façon séquentielle (au sein d'un parcours séquentiel de table par exemple) ;
 - `random_page_cost` (4 par défaut) : coût de la lecture d'une page disque de façon aléatoire (lors d'un accès à une page d'index par exemple) ;
 - `cpu_tuple_cost` (0,01 par défaut) : coût de traitement par le processeur d'un enregistrement de table ;
 - `cpu_index_tuple_cost` (0,005 par défaut) : coût de traitement par le processeur d'un enregistrement d'index ;
 - `cpu_operator_cost` (0,0025 par défaut) : coût de traitement par le processeur de l'exécution d'un opérateur.

Ce sont les coûts relatifs de ces différentes opérations qui sont importants : l'accès à une page de façon aléatoire est par défaut 4 fois plus coûteux que de façon séquentielle, du fait du déplacement des têtes de lecture sur un disque dur. Ceci prend déjà en considération un potentiel effet du cache. Sur une base fortement en cache, il est donc possible d'être tenté d'abaisser le `random_page_cost` à 3, voire 2,5, ou des valeurs encore bien moindres dans le cas de bases totalement en mémoire.

Le cas des disques SSD est particulièrement intéressant. Ces derniers n'ont pas à proprement parler de tête de lecture. De ce fait, comme les paramètres `seq_page_cost` et `random_page_cost` sont principalement là pour différencier un accès direct et un accès après déplacement de la tête de lecture,

la différence de configuration entre ces deux paramètres n'a pas lieu d'être si les index sont placés sur des disques SSD. Dans ce cas, une configuration très basse et pratiquement identique (voire identique) de ces deux paramètres est intéressante.

`effective_io_concurrency` a pour but d'indiquer le nombre d'opérations disques possibles en même temps pour un client (*prefetch*). Seuls les parcours *Bitmap Scan* sont impactés par ce paramètre. Selon la documentation¹⁰, pour un système disque utilisant un RAID matériel, il faut le configurer en fonction du nombre de disques utiles dans le RAID (n s'il s'agit d'un RAID 1, n-1 s'il s'agit d'un RAID 5 ou 6, n/2 s'il s'agit d'un RAID 10). Avec du SSD, il est possible de monter à plusieurs centaines, étant donné la rapidité de ce type de disque. À l'inverse, il faut tenir compte du nombre de requêtes simultanées qui utiliseront ce nœud. Le défaut est seulement de 1, et la valeur maximale est 1000. Attention, à partir de la version 13, le principe reste le même, mais la valeur exacte de ce paramètre doit être 2 à 5 fois plus élevée qu'auparavant, selon la formule des notes de version¹¹.

Toujours à partir de la version 13, un nouveau paramètre apparaît : `maintenance_io_concurrency`. Il a le même sens que `effective_io_concurrency`, mais pour les opérations de maintenance, non les requêtes. Celles-ci peuvent ainsi se voir accorder plus de ressources qu'une simple requête. Le défaut est de 10, et il faut penser à le monter aussi si nous adaptons `effective_io_concurrency`.

`seq_page_cost`, `random_page_cost`, `effective_io_concurrency` et `maintenance_io_concurrency` peuvent être paramétrés par `tablespace`, afin de refléter les caractéristiques de disques différents.

La mise en place du parallélisme dans une requête représente un coût : il faut mettre en place une mémoire partagée, lancer des processus... Ce coût est pris en compte par le planificateur à l'aide du paramètre `parallel_setup_cost`. Par ailleurs, le transfert d'enregistrement entre un worker et le processus principal a également un coût représenté par le paramètre `parallel_tuple_cost`.

Ainsi une lecture complète d'une grosse table peut être moins coûteuse sans parallélisation du fait que le nombre de lignes retournées par les workers est très important. En revanche, en filtrant les résultats, le nombre de lignes retournées peut être moins important, la répartition du filtrage entre différents processeurs devient « rentable » et le planificateur peut être amené à choisir un plan comprenant la parallélisation.

Certaines autres informations permettent de nuancer les valeurs précédentes. `effective_cache_size` est la taille totale du cache. Il permet à PostgreSQL de modéliser plus finement le coût réel d'une opération disque, en prenant en compte la probabilité que cette information se trouve dans le cache du système d'exploitation ou dans celui de l'instance, et soit donc moins coûteuse à accéder.

Le parcours de l'espace des solutions est un parcours exhaustif. Sa complexité est principalement liée au nombre de jointures de la requête et est de type exponentiel. Par exemple, planifier de façon exhaustive une requête à une jointure dure 200 microsecondes environ, contre 7 secondes pour 12 jointures. Une autre stratégie, l'optimiseur génétique, est donc utilisée pour éviter le parcours exhaustif quand le nombre de jointure devient trop élevé.

Pour plus de détails, voir l'article sur les coûts de planification¹² issu de la base de connaissance Da-

¹⁰<https://docs.postgresql.fr/current/runtime-config-resource.html#GUC-EFFECTIVE-IO-CONCURRENCY>

¹¹<https://docs.postgresql.fr/13/release.html>

¹²https://support.dalibo.com/kb/cout_planification

libo.

2.10.2 Paramètres supplémentaires de l'optimiseur (1)



- Partitionnement
 - `constraint_exclusion`
 - `enable_partition_pruning`
- Réordonne les tables
 - `from_collapse_limit` & `join_collapse_limit` (défaut : 8)
- Requêtes préparées
 - `plan_cache_mode`
- Curseurs
 - `cursor_tuple_fraction`
- Mutualiser les entrées-sorties
 - `synchronize_seqscans`

Tous les paramètres suivants peuvent être modifiés par session.

Avant la version 10, PostgreSQL ne connaissait qu'un partitionnement par héritage, où l'on crée une table parente et des tables filles héritent de celle-ci, possédant des contraintes CHECK comme critères de partitionnement, par exemple CHECK (date >='2011-01-01' and date < '2011-02-01') pour une table fille d'un partitionnement par mois.

Afin que PostgreSQL ne parcourt que les partitions correspondant à la clause WHERE d'une requête, le paramètre `constraint_exclusion` doit valoir `partition` (la valeur par défaut) ou `on`. `partition` est moins coûteux dans un contexte d'utilisation classique car les contraintes d'exclusion ne seront examinées que dans le cas de requêtes UNION ALL, qui sont les requêtes générées par le partitionnement.

Pour le nouveau partitionnement déclaratif, `enable_partition_pruning`, activé par défaut, est le paramètre équivalent.

Pour limiter la complexité des plans d'exécution à étudier, il est possible de limiter la quantité de réécriture autorisée par l'optimiseur via les paramètres `from_collapse_limit` et `join_collapse_limit`. Le premier interdit que plus de 8 (par défaut) tables provenant d'une sous-requête ne soient déplacées dans la requête principale. Le second interdit que plus de 8 (par défaut) tables provenant de clauses JOIN ne soient déplacées vers la clause FROM. Ceci réduit la

qualité du plan d'exécution généré, mais permet qu'il soit généré dans un temps raisonnable. Il est fréquent de monter les valeurs à 10 ou un peu au-delà si de longues requêtes impliquent beaucoup de tables.

Pour les requêtes préparées, l'optimiseur génère des plans personnalisés pour les cinq premières exécutions d'une requête préparée, puis il bascule sur un plan générique dès que celui-ci devient plus intéressant que la moyenne des plans personnalisés précédents. Ceci décrit le mode auto en place depuis de nombreuses versions. Depuis la version 12, il est possible de modifier ce comportement grâce au paramètre de configuration `plan_cache_mode` :

- `force_custom_plan` force le recalcul systématique d'un plan personnalisé pour la requête (on n'économise plus le temps de planification, mais le plan est calculé pour être optimal pour les paramètres, et l'on conserve la protection contre les injections SQL permise par les requêtes préparées) ;
- `force_generic_plan` force l'utilisation d'un seul et même plan dès le départ.

Lors de l'utilisation de curseurs, le moteur n'a aucun moyen de connaître le nombre d'enregistrements que souhaite récupérer réellement l'utilisateur : peut-être seulement les premiers enregistrements. Si c'est le cas, le plan d'exécution optimal ne sera plus le même. Le paramètre `cursor_tuple_fraction`, par défaut à 0,1, permet d'indiquer à l'optimiseur la fraction du nombre d'enregistrements qu'un curseur souhaitera vraisemblablement récupérer, et lui permettra donc de choisir un plan en conséquence. Si vous utilisez des curseurs, il vaut mieux indiquer explicitement le nombre d'enregistrements dans les requêtes avec `LIMIT`, et passer `cursor_tuple_fraction` à 1,0.

Quand plusieurs requêtes souhaitent accéder séquentiellement à la même table, les processus se rattachent à ceux déjà en cours de parcours, afin de profiter des entrées-sorties que ces processus effectuent, le but étant que le système se comporte comme si un seul parcours de la table était en cours, et réduise donc fortement la charge disque. Le seul problème de ce mécanisme est que les processus se rattachant ne parcourent pas la table dans son ordre physique : elles commencent leur parcours de la table à l'endroit où se trouve le processus auquel elles se rattachent, puis rebouclent sur le début de la table. Les résultats n'arrivent donc pas forcément toujours dans le même ordre, ce qui n'est normalement pas un problème (on est censé utiliser `ORDER BY` dans ce cas). Mais il est toujours possible de désactiver ce mécanisme en passant `synchronize_seqscans` à `off`.

2.10.3 Paramètres supplémentaires de l'optimiseur (2)



- GEQO :
 - un optimiseur génétique
 - état initial, puis mutations aléatoires
 - rapide, mais non optimal
 - paramètres : `geqo` & `geqo_threshold` (12 tables)

PostgreSQL, pour les requêtes trop complexes, bascule vers un optimiseur appelé GEQO (*GE*net*ic* *Q*uery *O*ptimizer). Comme tout algorithme génétique, il fonctionne par introduction de mutations aléatoires sur un état initial donné. Il permet de planifier rapidement une requête complexe, et de fournir un plan d'exécution acceptable.

Le code source de PostgreSQL décrit le principe¹³, résumé aussi dans ce schéma :

Ce mécanisme est configuré par des paramètres dont le nom commence par « `geqo` ». Exceptés ceux évoqués ci-dessous, il est déconseillé de modifier les paramètres sans une bonne connaissance des algorithmes génétiques.

- `geqo`, par défaut à `on`, permet d'activer/désactiver GEQO ;
- `geqo_threshold`, par défaut à `12`, est le nombre d'éléments minimum à joindre dans un `FROM` avant d'optimiser celui-ci par GEQO au lieu du planificateur exhaustif.

Malgré l'introduction de ces mutations aléatoires, le moteur arrive tout de même à conserver un fonctionnement déterministe. Tant que le paramètre `geqo_seed` ainsi que les autres paramètres contrôlant GEQO restent inchangés, le plan obtenu pour une requête donnée restera inchangé. Il est donc possible de faire varier la valeur de `geqo_seed` pour chercher d'autres plans (voir la documentation officielle¹⁴).

2.10.4 Débogage de l'optimiseur



- Permet de valider qu'on est en face d'un problème d'optimiseur.
- Les paramètres sont assez grossiers :
 - défavoriser très fortement un type d'opération
 - pour du diagnostic, pas pour de la production

Ces paramètres dissuadent le moteur d'utiliser un type de nœud d'exécution (en augmentant énormément son coût). Ils permettent de vérifier ou d'invalider une erreur de l'optimiseur. Par exemple :

```
-- création de la table de test
CREATE TABLE test2(a integer, b integer);

-- insertion des données de tests
INSERT INTO test2 SELECT 1, i FROM generate_series(1, 500000) i;

-- analyse des données
ANALYZE test2;

-- désactivation de la parallélisation (pour faciliter la lecture du plan)
```

¹³<https://git.postgresql.org/gitweb/?p=postgresql.git;a=commit;h=f5bc74192d2ffb32952a06c62b3458d28ff7f98f>

¹⁴<https://www.postgresql.org/docs/current/static/geqo-pg-intro.html#AEN116517>

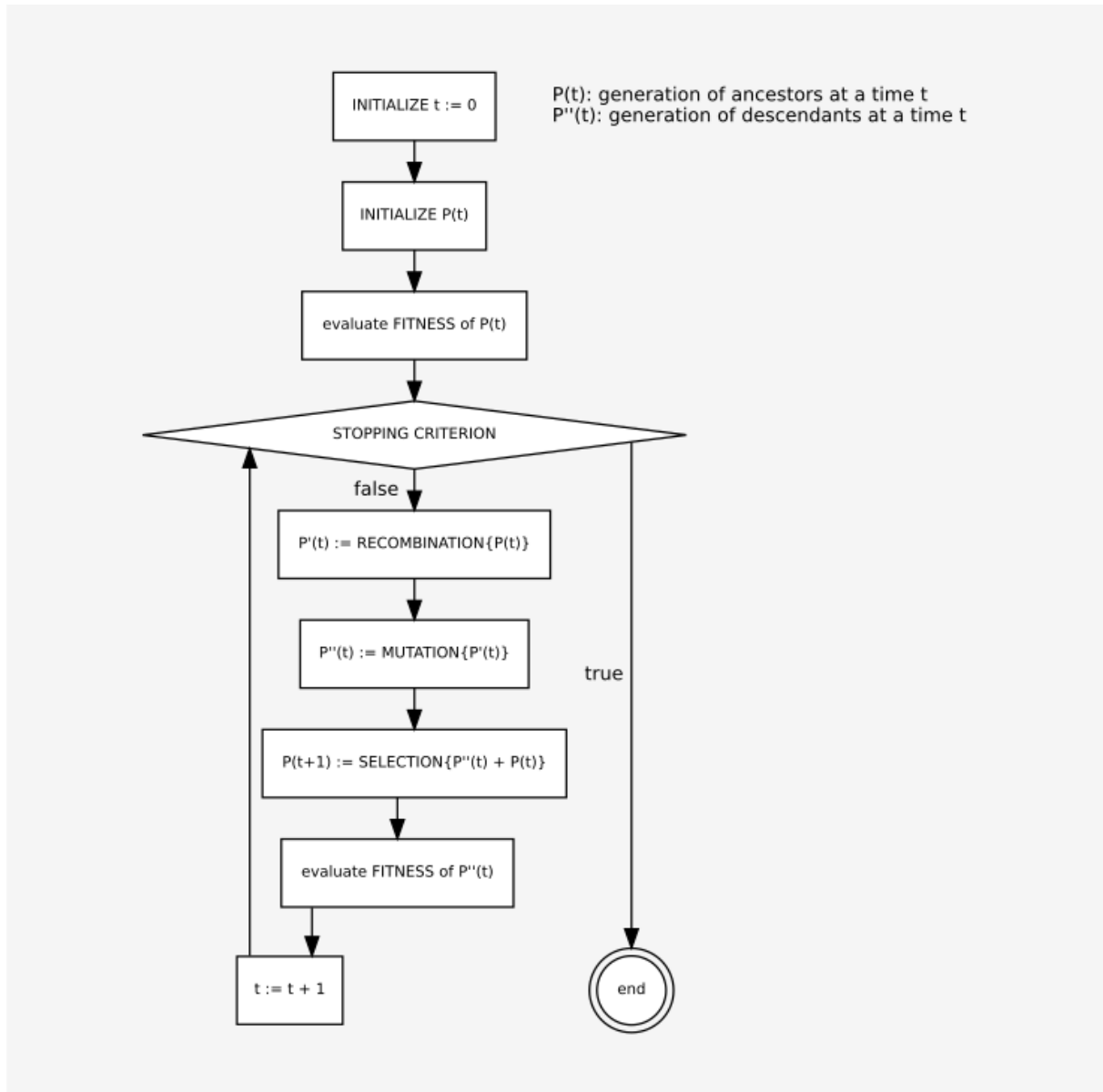


Figure 2/ .1: Principe d'un algorithme génétique (schéma de la documentation officielle, licence PostgreSQL)

```
SET max_parallel_workers_per_gather TO 0;

-- récupération du plan d'exécution
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test2 WHERE a<3;
```

QUERY PLAN

```
-----
Seq Scan on test2  (cost=0.00..8463.00 rows=500000 width=8)
    (actual time=0.031..63.194 rows=500000 loops=1)
    Filter: (a < 3)
Planning Time: 0.411 ms
Execution Time: 86.824 ms
```

Le moteur a choisi un parcours séquentiel de table. Si l'on veut vérifier qu'un parcours par l'index sur la colonne a n'est pas plus rentable :

```
-- désactivation des parcours SeqScan, IndexOnlyScan et BitmapScan
SET enable_seqscan TO off;
SET enable_indexonlyscan TO off;
SET enable_bitmapscan TO off;

-- création de l'index
CREATE INDEX ON test2(a);

-- récupération du plan d'exécution
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test2 WHERE a<3;
```

QUERY PLAN

```
-----
Index Scan using test2_a_idx on test2  (cost=0.42..16462.42 rows=500000 width=8)
    (actual time=0.183..90.926 rows=500000 loops=1)
    Index Cond: (a < 3)
Planning Time: 0.517 ms
Execution Time: 111.609 ms
```

Non seulement le plan est plus coûteux, mais il est aussi (et surtout) plus lent.

Attention aux effets du cache : le parcours par index est ici relativement performant à la deuxième exécution parce que les données ont été trouvées dans le cache disque. La requête, sinon, aurait été bien plus lente. La requête initiale est donc non seulement plus rapide, mais aussi plus **sûre** : son temps d'exécution restera prévisible même en cas d'erreur d'estimation sur le nombre d'enregistrements.

Si nous supprimons l'index, nous constatons que le *sequential scan* n'a pas été désactivé. Il a juste été rendu très coûteux par ces options de débogage :

```
-- suppression de l'index
DROP INDEX test2_a_idx;

-- récupération du plan d'exécution
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM test2 WHERE a<3;
```

QUERY PLAN

```
-----
Seq Scan on test2  (cost=100000000000.00..10000008463.00 rows=500000 width=8)
    (actual time=0.044..60.126 rows=500000 loops=1)
    Filter: (a < 3)
```

Planning Time: 0.313 ms
Execution Time: 82.598 ms

Le « très coûteux » est un coût majoré de 10 milliards pour l'exécution d'un nœud interdit.

Voici la liste des options de désactivation :

- enable_bitmapscan;
- enable_gathermerge;
- enable_hashagg;
- enable_hashjoin;
- enable_incremental_sort;
- enable_indexonlyscan;
- enable_indexscan;
- enable_material;
- enable_mergejoin;
- enable_nestloop;
- enable_parallel_append;
- enable_parallel_hash;
- enable_partition_pruning;
- enable_partitionwise_aggregate;
- enable_partitionwise_join;
- enable_seqscan;
- enable_sort;
- enable_tidscan.

2.11 CONCLUSION



- Nombreuses fonctionnalités
- donc nombreux paramètres

2.11.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

2.12 QUIZ



https://dali.bo/m2_quiz

2.13 TRAVAUX PRATIQUES

2.13.1 Tablespace



But : Ajouter un tablespace

Créer un tablespace nommé `ts1` pointant vers `/opt/ts1`.

Se connecter à la base de données `b1`. Créer une table `t_dans_ts1` avec une colonne `id` de type `integer` dans le tablespace `ts1`.

Récupérer le chemin du fichier correspondant à la table `t_dans_ts1` avec la fonction `pg_relation_filepath`.

Supprimer le tablespace `ts1`. Qu'observe-t-on ?

2.13.2 Statistiques d'activités, tables et vues système



But : Consulter les statistiques d'activité

Créer une table `t3` avec une colonne `id` de type `integer`.

Insérer 1000 lignes dans la table `t3` avec `generate_series`.

Lire les statistiques d'activité de la table `t3` à l'aide de la vue système `pg_stat_user_tables`.

Créer un utilisateur **pgbench** et créer une base `pgbench` lui appartenant.

Écrire une requête SQL qui affiche le nom et l'identifiant de toutes les bases de données, avec le nom du propriétaire et l'encodage. (Utiliser les table `pg_database` et `pg_roles`).

Comparer la requête avec celle qui est exécutée lorsque l'on tape la commande `\l` dans la console (penser à `\set ECHO_HIDDEN`).

Pour voir les sessions connectées :

- dans un autre terminal, ouvrir une session `psql` sur la base `b0`, qu'on n'utilisera plus ;
- se connecter à la base `b1` depuis une autre session ;
- la vue `pg_stat_activity` affiche les sessions connectées. Qu'y trouve-t-on ?

2.13.3 Statistiques sur les données



But : Consulter les statistiques sur les données

Se connecter à la base de données `b1` et créer une table `t4` avec une colonne `id` de type entier.

Empêcher l'autovacuum d'analyser automatiquement la table `t4`.

Insérer 1 million de lignes dans `t4` avec `generate_series`.

Rechercher la ligne ayant comme valeur `100000` dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

Exécuter la commande `ANALYZE` sur la table `t4`.

Rechercher la ligne ayant comme valeur `100000` dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

Ajouter un index sur la colonne `id` de la table `t4`.

Rechercher la ligne ayant comme valeur `100000` dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

Modifier le contenu de la table `t4` avec `UPDATE t4 SET id = 100000;`

Rechercher les lignes ayant comme valeur 100000 dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

Exécuter la commande `ANALYZE` sur la table `t4`.

Rechercher les lignes ayant comme valeur 100000 dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

2.14 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

2.14.1 Tablespace

Créer un tablespace nommé `ts1` pointant vers `/opt/ts1`.

En tant qu'utilisateur **root** :

```
# mkdir /opt/ts1
# chown postgres:postgres /opt/ts1
```

En tant qu'utilisateur **postgres** :

```
$ psql
```

```
postgres=# CREATE TABLESPACE ts1 LOCATION '/opt/ts1';
CREATE TABLESPACE
```

```
postgres=# \db
```

Liste des tablespaces		
Nom	Propriétaire	Emplacement
pg_default	postgres	
pg_global	postgres	
ts1	postgres	/opt/ts1

Se connecter à la base de données `b1`. Créer une table `t_dans_ts1` avec une colonne `id` de type `integer` dans le tablespace `ts1`.

```
b1=# CREATE TABLE t_dans_ts1 (id integer) TABLESPACE ts1;
CREATE TABLE
```

Récupérer le chemin du fichier correspondant à la table `t_dans_ts1` avec la fonction `pg_relation_filepath`.

```
b1=# SELECT current_setting('data_directory') || '/' ||
↪ pg_relation_filepath('t_dans_ts1')
AS chemin;
```

chemin
/var/lib/pgsql/15/data/pg_tblspc/16394/PG_15_202107181/16393/16395

Le fichier n'a pas été créé dans un sous-répertoire du répertoire base, mais dans le tablespace indiqué par la commande `CREATE TABLE`. `/opt/ts1` n'apparaît pas ici : il y a un lien symbolique dans le chemin.

```
$ ls -l $PGDATA/pg_tblspc/
total 0
lrwxrwxrwx 1 postgres postgres 8 Apr 16 16:26 16394 -> /opt/ts1

$ cd /opt/ts1/PG_15_202107181/
```

```
$ ls -lR
.:
total 0
drwx----- 2 postgres postgres 18 Apr 16 16:26 16393
./16393:
total 0
-rw----- 1 postgres postgres 0 Apr 16 16:26 16395
```

Il est à noter que ce fichier se trouve réellement dans un sous-répertoire de /opt/ts1 mais que PostgreSQL le retrouve à partir de pg_tblspc grâce à un lien symbolique.

Supprimer le tablespace ts1. Qu'observe-t-on ?

La suppression échoue tant que le tablespace est utilisé. Il faut déplacer la table dans le tablespace par défaut :

```
b1=# DROP TABLESPACE ts1 ;
ERROR:  tablespace "ts1" is not empty

b1=# ALTER TABLE t_dans_ts1 SET TABLESPACE pg_default ;
ALTER TABLE

b1=# DROP TABLESPACE ts1 ;
DROP TABLESPACE
```

2.14.2 Statistiques d'activités, tables et vues système

Créer une table t3 avec une colonne id de type integer.

```
b1=# CREATE TABLE t3 (id integer);
CREATE TABLE
```

Insérer 1000 lignes dans la table t3 avec generate_series.

```
b1=# INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 1000);
INSERT 0 1000
```

Lire les statistiques d'activité de la table t3 à l'aide de la vue système pg_stat_user_tables.

```
b1=# \x
Expanded display is on.
b1=# SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname = 't3';

-[ RECORD 1 ]-----+-----
reloid          | 24594
schemaname      | public
relname         | t3
seq_scan        | 0
seq_tup_read    | 0
idx_scan        |
idx_tup_fetch   |
n_tup_ins       | 1000
```

n_tup_upd	0
n_tup_del	0
n_tup_hot_upd	0
n_live_tup	1000
n_dead_tup	0
last_vacuum	
last_autovacuum	
last_analyze	
last_autoanalyze	
vacuum_count	0
autovacuum_count	0
analyze_count	0
autoanalyze_count	0

Les statistiques indiquent bien que 1000 lignes ont été insérées.

Créer un utilisateur **pgbench** et créer une base pgbench lui appartenant.

```
b1=# CREATE ROLE pgbench LOGIN ;  
CREATE ROLE
```

```
b1=# CREATE DATABASE pgbench OWNER pgbench ;  
CREATE DATABASE
```

Écrire une requête SQL qui affiche le nom et l'identifiant de toutes les bases de données, avec le nom du propriétaire et l'encodage. (Utiliser les table `pg_database` et `pg_roles`).

La liste des bases de données se trouve dans la table `pg_database` :

```
SELECT db.oid, db.datname, datdba  
FROM pg_database db ;
```

Une jointure est possible avec la table `pg_roles` pour déterminer le propriétaire des bases :

```
SELECT db.datname, r.rolname, db.encoding  
FROM pg_database db, pg_roles r  
WHERE db.datdba = r.oid ;
```

d'où par exemple :

datname	rolname	encoding
b1	postgres	6
b0	postgres	6
template0	postgres	6
template1	postgres	6
postgres	postgres	6
pgbench	pgbench	6

L'encodage est numérique, il reste à le rendre lisible.

Comparer la requête avec celle qui est exécutée lorsque l'on tape la commande `\l` dans la console (penser à `\set ECHO_HIDDEN`).

Il est possible de positionner le paramètre `\set ECHO_HIDDEN on`, ou sortir de la console et la lancer de nouveau `psql` avec l'option `-E` :

```
$ psql -E
```

Taper la commande `\l`. La requête envoyée par `psql` au serveur est affichée juste avant le résultat :

```
\l
***** QUERY *****
SELECT d.datname as "Name",
       pg_catalog.pg_get_userbyid(d.datdba) as "Owner",
       pg_catalog.pg_encoding_to_char(d.encoding) as "Encoding",
       d.datcollate as "Collate",
       d.datctype as "Ctype",
       pg_catalog.array_to_string(d.datacl, E'\n') AS "Access privileges"
FROM pg_catalog.pg_database d
ORDER BY 1;
*****
```

L'encodage se retrouve donc en appelant la fonction `pg_encoding_to_char` :

```
b1=# SELECT db.datname, r.rolname, db.encoding,
    ↪ pg_catalog.pg_encoding_to_char(db.encoding)
FROM pg_database db, pg_roles r
WHERE db.datdba = r.oid ;
```

datname	rolname	encoding	pg_encoding_to_char
b1	postgres	6	UTF8
b0	postgres	6	UTF8
template0	postgres	6	UTF8
template1	postgres	6	UTF8
postgres	postgres	6	UTF8
pgbench	pgbench	6	UTF8

Pour voir les sessions connectées :

- dans un autre terminal, ouvrir une session `psql` sur la base `b0`, qu'on n'utilisera plus ;
- se connecter à la base `b1` depuis une autre session ;
- la vue `pg_stat_activity` affiche les sessions connectées. Qu'y trouve-t-on ?

```
# terminal 1
```

```
$ psql b0
```

```
# terminal 2
```

```
$ psql b1
```

La table a de nombreux champs, affichons les plus importants :

```
# SELECT datname, pid, state, username, application_name AS app, backend_type, query
FROM pg_stat_activity ;
```

datname	pid	state	username	app	backend_type	query
↪	6179				autovacuum launcher	

b0	6181		postgres		logical replication launcher	
b1	6870	idle	postgres	psql	client backend	
	6872	active	postgres	psql	client backend	SELECT
↪ datname, ...						
	6177				background writer	
	6176				checkpointer	
	6178				walwriter	

(7 rows)

La session dans b1 est *idle*, c'est-à-dire en attente. La seule session active (au moment où elle tournait) est celle qui exécute la requête. Les autres lignes correspondent à des processus système.

Remarque : Ce n'est qu'à partir de la version 10 de PostgreSQL que la vue `pg_stat_activity` liste les processus d'arrière-plan (checkpointer, background writer...). Les connexions clientes peuvent s'obtenir en filtrant sur la colonne `backend_type` le contenu *client backend*.

```
SELECT datname, count(*)
FROM pg_stat_activity
WHERE backend_type = 'client backend'
GROUP BY datname
HAVING count(*) > 0;
```

Ce qui donnerait par exemple :

datname	count
pgbench	10
b0	5

2.14.3 Statistiques sur les données

Se connecter à la base de données b1 et créer une table t4 avec une colonne `id` de type entier.

```
b1=# CREATE TABLE t4 (id integer);
CREATE TABLE
```

Empêcher l'autovacuum d'analyser automatiquement la table t4.

```
b1=# ALTER TABLE t4 SET (autovacuum_enabled=false);
ALTER TABLE
```

NB : ceci n'est à faire qu'à titre d'exercice ! En production, c'est une très mauvaise idée.

Insérer 1 million de lignes dans t4 avec `generate_series`.

```
b1=# INSERT INTO t4 SELECT generate_series(1, 1000000);
INSERT 0 1000000
```

Rechercher la ligne ayant comme valeur 100000 dans la colonne `id` et afficher le plan d'exécution.

```
b1=# EXPLAIN SELECT * FROM t4 WHERE id = 100000;
```


QUERY PLAN

```
-----  
Gather  (cost=1000.00..11866.15 rows=5642 width=4)  
  Workers Planned: 2  
    -> Parallel Seq Scan on t4  (cost=0.00..10301.95 rows=2351 width=4)  
        Filter: (id = 100000)
```

Exécuter la commande ANALYZE sur la table t4.

```
b1=# ANALYZE t4;  
ANALYZE
```

Rechercher la ligne ayant comme valeur 100000 dans la colonne id et afficher le plan d'exécution.

```
b1=# EXPLAIN SELECT * FROM t4 WHERE id = 100000;
```

QUERY PLAN

```
-----  
Gather  (cost=1000.00..10633.43 rows=1 width=4)  
  Workers Planned: 2  
    -> Parallel Seq Scan on t4  (cost=0.00..9633.33 rows=1 width=4)  
        Filter: (id = 100000)
```

Les statistiques sont beaucoup plus précises. PostgreSQL sait maintenant qu'il ne va récupérer qu'une seule ligne, sur le million de lignes dans la table. C'est le cas typique où un index serait intéressant.

Ajouter un index sur la colonne id de la table t4.

```
b1=# CREATE INDEX ON t4(id);  
CREATE INDEX
```

Rechercher la ligne ayant comme valeur 100000 dans la colonne id et afficher le plan d'exécution.

```
b1=# EXPLAIN SELECT * FROM t4 WHERE id = 100000;
```

QUERY PLAN

```
-----  
Index Only Scan using t4_id_idx on t4  (cost=0.42..8.44 rows=1 width=4)  
  Index Cond: (id = 100000)
```

Après création de l'index, nous constatons que PostgreSQL choisit un autre plan qui permet d'utiliser cet index.

Modifier le contenu de la table t4 avec UPDATE t4 SET id = 100000;

```
b1=# UPDATE t4 SET id = 100000;  
UPDATE 1000000
```

Toutes les lignes ont donc à présent la même valeur.

Rechercher les lignes ayant comme valeur 100000 dans la colonne id et afficher le plan d'exécution.

```
b1=# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM t4 WHERE id = 100000;
```

QUERY PLAN

```
-----
Index Only Scan using t4_id_idx on t4
  (cost=0.43..8.45 rows=1 width=4)
  (actual time=0.040..265.573 rows=1000000 loops=1)
    Index Cond: (id = 100000)
    Heap Fetches: 1000001
    Planning time: 0.066 ms
    Execution time: 303.026 ms
```

Là, un parcours séquentiel serait plus performant. Mais comme PostgreSQL n'a plus de statistiques à jour, il se trompe de plan et utilise toujours l'index.

Exécuter la commande ANALYZE sur la table t4.

```
b1=# ANALYZE t4;
ANALYZE
```

Rechercher les lignes ayant comme valeur 100000 dans la colonne id et afficher le plan d'exécution.

```
b1=# EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM t4 WHERE id = 100000;
```

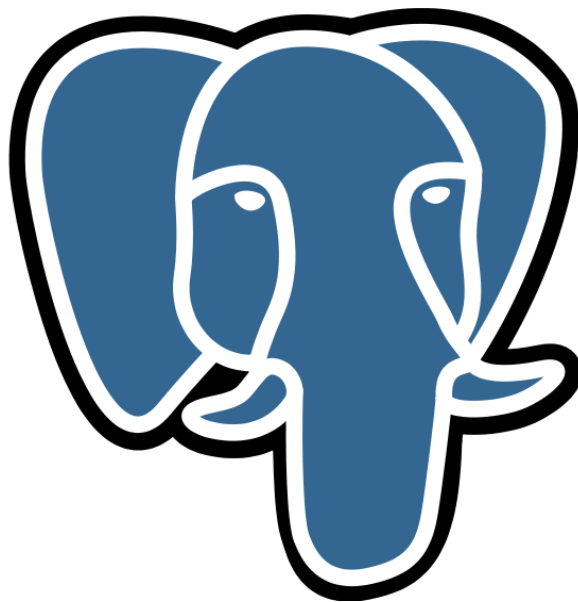
QUERY PLAN

```
-----
Seq Scan on t4
  (cost=0.00..21350.00 rows=1000000 width=4)
  (actual time=75.185..186.019 rows=1000000 loops=1)
    Filter: (id = 100000)
    Planning time: 0.122 ms
    Execution time: 223.357 ms
```

Avec des statistiques à jour et malgré la présence de l'index, PostgreSQL va utiliser un parcours séquentiel qui, au final, sera plus performant.

Si l'autovacuum avait été activé, les modifications massives dans la table auraient provoqué assez rapidement la mise à jour des statistiques.

3/ Mémoire et journalisation dans PostgreSQL



3.1 AU MENU



La mémoire & PostgreSQL :

- mémoire partagée
- mémoire des processus
- les *shared buffers* & la gestion du cache
- la journalisation

3.2 MÉMOIRE PARTAGÉE



- Implémentation
 - `shared_memory_type`
- Zone de mémoire partagée :
 - `shared_buffers` : cache disque des fichiers de données
 - `wal_buffers` : cache disque des journaux de transactions
 - données de session : `max_connections` & `track_activity_query_size`
 - verrous : `max_connections` & `max_locks_per_transaction`
 - etc
- Récupérer sa taille (v15+)

```
SHOW shared_memory_size ;
SHOW shared_memory_size_in_huge_pages ;
```

La zone de mémoire partagée est allouée statiquement au démarrage de l'instance. Depuis la version 12, le type de mémoire partagée est configuré avec le paramètre `shared_memory_type`. Sous Linux, il s'agit par défaut de `mmap`, sachant qu'une très petite partie utilise toujours `sysv` (System V). Il est possible de basculer uniquement en `sysv` mais ceci n'est pas recommandé et nécessite généralement un paramétrage du noyau Linux. Sous Windows, le type est `windows`. Avant la version 12, ce paramètre n'existe pas.

La zone de mémoire partagée est calculée en fonction du dimensionnement des différentes zones, principalement :

- `shared_buffers` : le cache des fichiers de données ;
- `wal_buffers` : le cache des journaux de transaction ;
- les données de sessions :
 - `max_connections` (défaut : 100)
 - et `track_activity_query_size` (défaut : 1024) ;
- les verrous :
 - `max_connections` à nouveau
 - et `max_locks_per_transaction` (défaut : 64).

Toute modification des paramètres régissant la mémoire partagée imposent un redémarrage de l'instance.

À partir de la version 15, le paramètre `shared_memory_size` permet de connaître la taille complète de mémoire partagée allouée. Dans le cas de l'utilisation de *Huge Pages*, il est possible d'utiliser

le paramètre `shared_memory_size_in_huge_pages` pour connaître le nombre de pages mémoires utilisées parmi les *Huge Pages* :

```
postgres=# \dconfig shared*
```

```
      Liste des paramètres de configuration
Paramètre | Valeur
-----+-----
shared_buffers | 12GB
shared_memory_size | 12835MB
shared_memory_size_in_huge_pages | 6418
...
```

Nous verrons en détail l'utilité de certaines de ces zones dans les chapitres suivants.

3.3 MÉMOIRE PAR PROCESSUS



- work_mem
 - × hash_mem_multiplier (v 13)
- maintenance_work_mem
 - autovacuum_work_mem
- temp_buffers
- Pas de limite stricte à la consommation mémoire d'une session !
 - ni total
- Augmenter prudemment & superviser

Les processus de PostgreSQL ont accès à la mémoire partagée, définie principalement par `shared_buffers`, mais ils ont aussi leur mémoire propre. Cette mémoire n'est utilisable que par le processus l'ayant allouée.

Le paramètre le plus important est `work_mem`, qui définit la taille de la mémoire de travail d'un processus lors d'une requête, principalement lors d'opérations de tri : `ORDER BY`, certaines jointures, déduplication... Autre paramètre capital, `maintenance_work_mem` est la mémoire pour les opérations de maintenance lourdes : `VACUUM`, `CREATE INDEX`, ajouts de clé étrangère...

Cette mémoire est rendue immédiatement après la fin de l'ordre concerné.

Opérations de maintenance & maintenance_work_mem :

`maintenance_work_mem` peut être monté à 256 Mo à 1 Go sur les machines récentes, car il concerne des opérations lourdes rarement exécutées plusieurs fois simultanément. Monter au-delà est rare, mais peut avoir un intérêt dans les créations de très gros index.

Paramétrage de work_mem :

Pour `work_mem`, c'est beaucoup plus compliqué.

Si `work_mem` est trop bas, beaucoup d'opérations de tri, y compris nombre de jointures, ne s'effectueront pas en RAM. Par exemple, si une jointure par hachage impose d'utiliser 100 Mo en mémoire, mais que `work_mem` vaut 10 Mo, PostgreSQL écrira des dizaines de Mo sur disque à chaque appel de la jointure. Si, par contre, le paramètre `work_mem` vaut 60 Mo, aucune écriture n'aura lieu sur disque, ce qui accélérera forcément la requête.

Trop de fichiers temporaires peuvent ralentir les opérations, voire saturer le disque. Un `work_mem` trop bas peut aussi contraindre le planificateur à choisir des plans d'exécution moins optimaux.



Par contre, si `work_mem` est trop haut, et que trop de requêtes le consomment simultanément, le danger est de saturer la RAM. Il n'existe en effet pas de limite à la consommation des sessions de PostgreSQL, ni globalement ni par session !

Or l'`overcommit` n'est pas paramétré sous Linux par défaut : la première conséquence de la saturation est l'assèchement du cache système (complémentaire de celui de PostgreSQL), et la dégradation des performances. Puis le système va se mettre à swapper, avec à la clé un ralentissement général et durable. Enfin le noyau, à court de mémoire, peut être amené à tuer un processus de PostgreSQL. Cela mène à l'arrêt de l'instance, ou plus fréquemment à son redémarrage brutal avec coupure de toutes les connexions et requêtes en cours.

Toutefois, si l'administrateur paramètre correctement l'`overcommit`¹, Linux refusera d'allouer la RAM et la requête tombera en erreur, mais le cache système sera préservé, et PostgreSQL ne tombera pas.

Suivant la complexité des requêtes, il est possible qu'un processus utilise plusieurs fois `work_mem` (par exemple si une requête fait une jointure et un tri, ou qu'un nœud est parallélisé). À l'inverse, beaucoup de requêtes ne nécessitent aucune mémoire de travail.

La valeur de `work_mem` dépend donc beaucoup de la mémoire disponible, des requêtes et du nombre de connexions actives.

Si le nombre de requêtes simultanées est important, `work_mem` devra être faible. Avec peu de requêtes simultanées, `work_mem` pourra être augmenté sans risque.

Il n'y a pas de formule de calcul miracle. Une première estimation courante, bien que très conservatrice, peut être :

`work_mem = mémoire / max_connections`

On obtient alors, sur un serveur dédié avec 16 Go de RAM et 200 connexions autorisées :

`work_mem = 80MB`

Mais `max_connections` est fréquemment surdimensionné, et beaucoup de sessions sont inactives. `work_mem` est alors sous-dimensionné.

Plus finement, Christophe Pettus propose en première intention² :

`work_mem = 4 × mémoire libre / max_connections`

Soit, pour une machine dédiée avec 16 Go de RAM, donc 4 Go de *shared buffers*, et 200 connexions :

`work_mem = 240MB`

Dans l'idéal, si l'on a le temps pour une étude, on montera `work_mem` jusqu'à voir disparaître l'essentiel des fichiers temporaires dans les traces, tout en restant loin de saturer la RAM lors des pics de charge.

¹https://dali.bo/j1_html#configuration-du-oom

²https://thebuild.com/blog/2023/03/13/everything-you-know-about-setting-work_mem-is-wrong/

En pratique, le défaut de 4 Mo est très conservateur, souvent insuffisant. Généralement, la valeur varie entre 10 et 100 Mo. Au-delà de 100 Mo, il y a souvent un problème ailleurs : des tris sur de trop gros volumes de données, une mémoire insuffisante, un manque d'index (utilisés pour les tris), etc. Des valeurs vraiment grandes ne sont valables que sur des systèmes d'infocentre.

Augmenter globalement la valeur du `work_mem` peut parfois mener à une consommation excessive de mémoire. Il est possible de ne la modifier que le temps d'une session pour les besoins d'une requête ou d'un traitement particulier :

```
SET work_mem TO '30MB' ;
```

hash_mem_multiplier :

À partir de PostgreSQL 13, un paramètre multiplicateur peut s'appliquer à certaines opérations particulières (le hachage, lors de jointures ou agrégations). Nommé `hash_mem_multiplier`, il vaut 1 par défaut en versions 13 et 14, et 2 à partir de la 15. `hash_mem_multiplier` permet de donner plus de RAM à ces opérations sans augmenter globalement `work_mem`.

Tables temporaires

Les tables temporaires (et leurs index) sont locales à chaque session, et disparaîtront avec elle. Elles sont tout de même écrites sur disque dans le répertoire de la base.

Le cache dédié à ces tables pour minimiser les accès est séparé des *shared buffers*, parce qu'il est propre à la session. Sa taille dépend du paramètre `temp_buffers`. La valeur par défaut (8 Mo) peut être insuffisante dans certains cas pour éviter les accès aux fichiers de la table. Elle doit être augmentée avant la création de la table temporaire.

3.4 SHARED BUFFERS



- *Shared buffers* ou blocs de mémoire partagée
 - partage les blocs entre les processus
 - cache en lecture ET écriture
 - double emploi partiel avec le cache du système (voir `effective_cache_size`)
 - importants pour les performances !
- Dimensionnement en première intention :
 - 1/4 RAM
 - max 8 Go

PostgreSQL dispose de son propre mécanisme de cache. Toute donnée lue l'est de ce cache. Si la donnée n'est pas dans le cache, le processus devant effectuer cette lecture l'y recopie avant d'y accéder dans le cache.

L'unité de travail du cache est le bloc (de 8 ko par défaut) de données. C'est-à-dire qu'un processus charge toujours un bloc dans son entier quand il veut lire un enregistrement. Chaque bloc du cache correspond donc exactement à un bloc d'un fichier d'un objet. Cette information est d'ailleurs, bien sûr, stockée en en-tête du bloc de cache.

Tous les processus accèdent à ce cache unique. C'est la zone la plus importante, par la taille, de la mémoire partagée. Toute modification de données est tracée dans le journal de transaction, **puis** modifiée dans ce cache. Elle n'est donc pas écrite sur le disque par le processus effectuant la modification, sauf en dernière extrémité (voir [Synchronisation en arrière plan](#)).

Tout accès à un bloc nécessite la prise de verrous. Un *pin lock*, qui est un simple compteur, indique qu'un processus se sert du buffer, et qu'il n'est donc pas réutilisable. C'est un verrou potentiellement de longue durée. Il existe de nombreux autres verrous, de plus courte durée, pour obtenir le droit de modifier le contenu d'un buffer, d'un enregistrement dans un buffer, le droit de recycler un buffer... mais tous ces verrous n'apparaissent pas dans la table `pg_locks`, car ils sont soit de très courte durée, soit partagés (comme le *spin lock*). Il est donc très rare qu'ils soient sources de contention, mais le diagnostic d'une contention à ce niveau est difficile.

Les lectures et écritures de PostgreSQL passent toutefois toujours par le cache du système. Les deux caches risquent donc de stocker les mêmes informations. Les algorithmes d'éviction sont différents entre le système et PostgreSQL, PostgreSQL disposant de davantage d'informations sur l'utilisation des données, et le type d'accès qui y est fait. La redondance est donc habituellement limitée.

Dimensionner correctement ce cache est important pour de nombreuses raisons.

Un cache trop petit :

- ralentit l'accès aux données, car des données importantes risquent de ne plus s'y trouver ;
- force l'écriture de données sur le disque, ralentissant les sessions qui auraient pu effectuer uniquement des opérations en mémoire ;
- limite le regroupement d'écritures, dans le cas où un bloc viendrait à être modifié plusieurs fois.

Un cache trop grand :

- limite l'efficacité du cache système en augmentant la redondance de données entre les deux caches ;
- peut ralentir PostgreSQL, car la gestion des `shared_buffers` a un coût de traitement ;
- réduit la mémoire disponible pour d'autres opérations (tris en mémoire notamment).

Ce paramétrage du cache est malgré tout moins critique que sur de nombreux autres SGBD : le cache système limite la plupart du temps l'impact d'un mauvais paramétrage de `shared_buffers`, et il est donc préférable de sous-dimensionner `shared_buffers` que de le sur-dimensionner.



Pour dimensionner `shared_buffers` sur un serveur dédié à PostgreSQL, la documentation officielle³ donne 25 % de la mémoire vive totale comme un bon point de départ et déconseille de dépasser 40 %, car le cache du système d'exploitation est aussi utilisé.

Sur une machine dédiée de 32 Go de RAM, cela donne donc :

`shared_buffers = 8GB`

Le défaut de 128 Mo n'est donc pas adapté à un serveur sur une machine récente.

Suivant les cas, une valeur inférieure ou supérieure à 25 % sera encore meilleure pour les performances, mais il faudra tester avec votre charge (en lecture, en écriture, et avec le bon nombre de clients).

Modifier `shared_buffers` impose de redémarrer l'instance.



Attention : une valeur élevée de `shared_buffers` (au-delà de 8 Go) nécessite de paramétrer finement le système d'exploitation (*Huge Pages* notamment) et d'autres paramètres comme `max_wal_size`, et de s'assurer qu'il restera de la mémoire pour le reste des opérations (tri...).

Un cache supplémentaire est disponible pour PostgreSQL : celui du système d'exploitation. Il est donc intéressant de préciser à PostgreSQL la taille approximative du cache, ou du moins de la part du cache qu'occupera PostgreSQL. Le paramètre `effective_cache_size` n'a pas besoin d'être très précis, mais il permet une meilleure estimation des coûts par le moteur. Il est paramétré habituellement aux alentours des 2/3 de la taille de la mémoire vive du système d'exploitation, pour un serveur dédié.

Par exemple pour une machine avec 32 Go de RAM, on peut paramétrer en première intention dans `postgresql.conf` :

```
shared_buffers = '8GB'
effective_cache_size = '21GB'
```

Cela sera à ajuster en fonction du comportement observé de l'application.

3.4.1 Notions essentielles de gestion du cache



- Buffer pin
- Buffer dirty/clean
- Compteur d'utilisation
- Clocksweep

Les principales notions à connaître pour comprendre le mécanisme de gestion du cache de PostgreSQL sont :

Buffer pin

Chaque processus voulant accéder à un buffer (un bloc du cache) doit d'abord en forcer le maintien en cache (*to pin* signifie *épingler*). Chaque processus accédant à un buffer incrémente ce compteur, et le décrémenté quand il a fini. Un buffer dont le pin est différent de 0 est donc utilisé et ne peut être recyclé.

Buffer dirty/clean

Un buffer est *dirty* (« sale ») si son contenu dans le cache ne correspond pas à son contenu sur disque : il a été modifié dans le cache, ce qui a généralement été journalisé, mais le fichier de données n'est plus à jour.

Au contraire, un buffer non modifié (*clean*) peut être supprimé du cache immédiatement pour faire de la place sans être réécrit sur le disque, ce qui est le moins coûteux.

Compteur d'utilisation

Cette technique vise à garder dans le cache les blocs les plus utilisés.

À chaque fois qu'un processus a fini de se servir d'un buffer (quand il enlève son pin), ce compteur est incrémenté (à hauteur de 5 dans l'implémentation actuelle). Il est décrémenté par le *clocksweep* évoqué plus bas.

Seul un buffer dont le compteur est à zéro peut voir son contenu remplacé par un nouveau bloc.

Clocksweep (ou algorithme de balayage)

Un processus ayant besoin de charger un bloc de données dans le cache doit trouver un buffer disponible. Soit il y a encore des buffers vides (cela arrive principalement au démarrage d'une instance), soit il faut libérer un buffer.

L'algorithme *clocksweep* parcourt la liste des buffers de façon cyclique à la recherche d'un buffer *un-pinned* dont le compteur d'utilisation est à zéro. Tout buffer visité voit son compteur décrémenté de 1. Le système effectue autant de passes que nécessaire sur tous les blocs jusqu'à trouver un buffer à 0. Ce *clocksweep* est effectué par chaque processus, au moment où ce dernier a besoin d'un nouveau buffer.

3.4.2 Ring buffer



But : ne pas purger le cache à cause :

- des grandes tables
- de certaines opérations
 - *Seq Scan* (lecture)
 - *VACUUM* (écritures)
 - *COPY, CREATE TABLE AS SELECT...*
 - ...

Une table peut être plus grosse que les *shared buffers*. Sa lecture intégrale (lors d'un parcours complet ou d'une opération de maintenance) ne doit pas mener à l'éviction de tous les blocs du cache.

PostgreSQL utilise donc plutôt un *ring buffer* quand la taille de la relation dépasse 1/4 de *shared_buffers*. Un *ring buffer* est une zone de mémoire gérée à l'écart des autres blocs du cache. Pour un parcours complet d'une table, cette zone est de 256 ko (taille choisie pour tenir dans un cache L2). Si un bloc y est modifié (*UPDATE...*), il est traité hors du *ring buffer* comme un bloc sale normal. Pour un *VACUUM*, la même technique est utilisée, mais les écritures se font dans le *ring buffer*. Pour les écritures en masse (notamment *COPY* ou *CREATE TABLE AS SELECT*), une technique similaire utilise un *ring buffer* de 16 Mo.

Le site The Internals of PostgreSQL⁴ et un README⁵ dans le code de PostgreSQL entrent plus en détail sur tous ces sujets tout en restant lisibles.

⁴<https://www.interdb.jp/pg/pgsql08.html>

⁵<https://github.com/postgres/postgres/blob/master/src/backend/storage/buffer/README>

3.4.3 Contenu du cache



2 extensions en « contrib » :

- pg_buffercache
- pg_prewarm

Deux extensions sont livrées dans les *contribs* de PostgreSQL qui impactent le cache.

pg_buffercache permet de consulter le contenu du cache (à utiliser de manière très ponctuelle). La requête suivante indique les objets non système de la base en cours, présents dans le cache et s'ils sont *dirty* ou pas :

```
pgbench=# CREATE EXTENSION pg_buffercache ;
```

```
pgbench=# SELECT
    relname,
    isdirty,
    count(bufferid) AS blocs,
    pg_size_pretty(count(bufferid) * current_setting('block_size')::int) AS taille
FROM pg_buffercache b
INNER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
WHERE relname NOT LIKE 'pg\_%'
GROUP BY
    relname,
    isdirty
ORDER BY 1, 2 ;
```

relname	isdirty	blocs	taille
pgbench_accounts	f	8398	66 MB
pgbench_accounts	t	4622	36 MB
pgbench_accounts_pkey	f	2744	21 MB
pgbench_branches	f	14	112 kB
pgbench_branches	t	2	16 kB
pgbench_branches_pkey	f	2	16 kB
pgbench_history	f	267	2136 kB
pgbench_history	t	102	816 kB
pgbench_tellers	f	13	104 kB
pgbench_tellers_pkey	f	2	16 kB

L'extension pg_prewarm permet de précharger un objet dans le cache de PostgreSQL (s'il y tient, bien sûr) :

```
=# CREATE EXTENSION pg_prewarm ;
=# SELECT pg_prewarm ('nom_table_ou_index', 'buffer') ;
```

Il permet même de recharger dès le démarrage le contenu du cache lors d'un arrêt (voir la documentation⁶).

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/pgprewarm.html>

3.4.4 Synchronisation en arrière plan



- Le *Background Writer* synchronise les buffers
 - de façon anticipée
 - une portion des pages à synchroniser
 - paramètres : `bgwriter_delay`, `bgwriter_lru_maxpages`, `bgwriter_lru_multiplier` et `bgwriter_flush_after`
- Le *checkpointer* synchronise les buffers
 - lors des checkpoints
 - synchronise toutes les dirty pages
- Écriture directe par les *backends*
 - en dernière extrémité

Afin de limiter les attentes des sessions interactives, PostgreSQL dispose de deux processus, le *Background Writer* et le *Checkpointer*, tous deux essayant d'effectuer de façon asynchrone les écritures des buffers sur le disque. Le but est que les temps de traitement ressentis par les utilisateurs soient les plus courts possibles, et que les écritures soient lissées sur de plus grandes plages de temps (pour ne pas saturer les disques).

Le *Background Writer* anticipe les besoins de buffers des sessions. À intervalle régulier, il se réveille et synchronise un nombre de buffers proportionnel à l'activité sur l'intervalle précédent, dans ceux qui seront examinés par les sessions pour les prochaines allocations. Quatre paramètres régissent son comportement :

- `bgwriter_delay` (défaut : 200 ms) : la fréquence à laquelle se réveille le *Background Writer* ;
- `bgwriter_lru_maxpages` (défaut : 100) : le nombre maximum de pages pouvant être écrites sur chaque tour d'activité. Ce paramètre permet d'éviter que le *Background Writer* ne veuille synchroniser trop de pages si l'activité des sessions est trop intense : dans ce cas, autant les laisser effectuer elles-mêmes les synchronisations, étant donné que la charge est forte ;
- `bgwriter_lru_multiplier` (défaut : 2) : le coefficient multiplicateur utilisé pour calculer le nombre de buffers à libérer par rapport aux demandes d'allocation sur la période précédente ;
- `bgwriter_flush_after` (défaut : 512 ko sous Linux, 0 ou désactivé ailleurs) : à partir de quelle quantité de données écrites une synchronisation sur disque est demandée.

Pour les paramètres `bgwriter_lru_maxpages` et `bgwriter_lru_multiplier`, *lru* signifie *Least Recently Used* que l'on pourrait traduire par « moins récemment utilisé ». Ainsi, pour ce mécanisme, le *Background Writer* synchronisera les pages du cache qui ont été utilisées le moins récemment.

Le *checkpoint* est responsable d'un autre mécanisme : il synchronise tous les blocs modifiés lors des checkpoints. Son rôle est d'effectuer cette synchronisation, en évitant de saturer les disques en lissant la charge (voir plus loin).

Lors d'écritures intenses, il est possible que ces deux mécanismes soient débordés. Les processus *background* peuvent alors écrire eux-mêmes dans les fichiers de données (après les journaux de transaction, bien sûr). Cette situation est évidemment à éviter, ce qui implique généralement de rendre le *bgwriter* plus agressif.

3.5 JOURNALISATION



- Garantir la durabilité des données
- Base encore cohérente après :
 - arrêt brutal des processus
 - crash machine
 - ...
- Écriture des modifications dans un journal **avant** les fichiers de données
- WAL : *Write Ahead Logging*

La journalisation, sous PostgreSQL, permet de garantir l'intégrité des fichiers, et la durabilité des opérations :

- L'intégrité : quoi qu'il arrive, exceptée la perte des disques de stockage bien sûr, la base reste cohérente. Un arrêt d'urgence ne corrompra pas la base.
- Toute donnée validée (COMMIT) est écrite. Un arrêt d'urgence ne va pas la faire disparaître.

Pour cela, le mécanisme est relativement simple : toute modification affectant un fichier sera d'abord écrite dans le journal. Les modifications affectant les vrais fichiers de données ne sont écrites qu'en mémoire, dans les *shared buffers*. Elles seront écrites de façon asynchrone, soit par un processus recherchant un buffer libre, soit par le *Background Writer*, soit par le *Checkpointer*.

Les écritures dans le journal, bien que synchrones, sont relativement performantes, car elles sont séquentielles (moins de déplacement de têtes pour les disques).

3.5.1 Journaux de transaction (rappels)



Essentiellement :

- `pg_wal/` : journaux de transactions
 - sous-répertoire `archive_status`
 - nom : *timeline*, *journal*, *segment*
 - ex : 00000002 00000142 000000FF
- `pg_xact/` : état des transactions
- **Ces fichiers sont vitaux !**

Rappelons que les journaux de transaction sont des fichiers de 16 Mo par défaut, stockés dans PG-DATA/pg_wal (pg_xlog avant la version 10), dont les noms comportent le numéro de *timeline*, un numéro de journal de 4 Go et un numéro de segment, en hexadécimal.

```
$ ls -l
total 2359320
...
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007C
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:28 00000002000001420000007D
...
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000023
-rw----- 1 postgres postgres 33554432 Mar 26 16:25 000000020000014300000024
drwx----- 2 postgres postgres    16384 Mar 26 16:28 archive_status
```

Le sous-répertoire `archive_status` est lié à l'archivage.

D'autres plus petits répertoires comme `pg_xact`, qui contient les statuts des transactions passées, ou `pg_commit_ts`, `pg_multixact`, `pg_serial`, `pg_snapshots`, `pg_subtrans` ou encore `pg_twophase` sont également impliqués.

Tous ces répertoires sont critiques, gérés par PostgreSQL, et ne doivent pas être modifiés !

3.5.2 Checkpoint



- « Point de reprise »
- À partir d'où rejouer les journaux ?
- Données écrites au moins au niveau du checkpoint
 - il peut durer
- Processus checkpointer

PostgreSQL trace les modifications de données dans les journaux WAL. Ceux-ci sont générés au fur et à mesure des écritures.

Si le système ou l'instance sont arrêtés brutalement, il faut que PostgreSQL puisse appliquer le contenu des journaux non traités sur les fichiers de données. Il a donc besoin de savoir à partir d'où rejouer ces données. Ce point est ce qu'on appelle un *checkpoint*, ou « point de reprise ».

Les principes sont les suivants :

Toute entrée dans les journaux est idempotente, c'est-à-dire qu'elle peut être appliquée plusieurs fois, sans que le résultat final ne soit changé. C'est nécessaire, au cas où la récupération serait interrompue, ou si un fichier sur lequel la reprise est effectuée était plus récent que l'entrée qu'on souhaite appliquer.

Tout fichier de journal antérieur à l'avant-dernier point de reprise valide (ou au dernier à partir de la version 11) **peut être supprimé** ou recyclé, car il n'est plus nécessaire à la récupération.

PostgreSQL a besoin des fichiers de données qui contiennent toutes les données jusqu'au point de reprise. Ils peuvent être plus récents et contenir des informations supplémentaires, ce n'est pas un problème.



Un checkpoint n'est pas un « instantané » cohérent de l'ensemble des fichiers. C'est simplement l'endroit à partir duquel les journaux doivent être rejoués. Il faut donc pouvoir garantir que tous les blocs modifiés dans le cache *au démarrage du checkpoint* auront été synchronisés sur le disque quand le checkpoint sera terminé, et marqué comme dernier checkpoint valide. Un checkpoint peut donc durer plusieurs minutes, sans que cela ne bloque l'activité.

C'est le processus `checkpointer` qui est responsable de l'écriture des buffers devant être synchronisés durant un checkpoint.

3.5.3 Déclenchement & comportement des checkpoints - 1



- Déclenchement périodique (idéal)
 - `checkpoint_timeout`
- ou : Quantité de journaux
 - `max_wal_size` (pas un plafond !)
- ou : CHECKPOINT
- À la fin :
 - `sync`
 - recyclage des journaux

Plusieurs paramètres influencent le comportement des checkpoints.

Dans l'idéal les checkpoints sont périodiques. Le temps maximum entre deux checkpoints est fixé par `checkpoint_timeout` (par défaut 300 secondes). C'est parfois un peu court pour les instances actives.

Le checkpoint intervient aussi quand il y a beaucoup d'écritures et que le volume des journaux dépasse le seuil défini par le paramètre `max_wal_size` (1 Go par défaut). Un checkpoint est alors déclenché.

L'ordre CHECKPOINT déclenche aussi un *checkpoint* sans attendre. En fait, il sert surtout à des utilitaires.

Une fois le checkpoint terminé, les journaux sont à priori inutiles. Ils peuvent être effacés pour redescendre en-dessous de la quantité définie par `max_wal_size`. Ils sont généralement « recyclés », c'est-à-dire renommés, et prêt à être réécrits.

Cependant, les journaux peuvent encore être retenus dans `pg_wal/` si l'archivage a été activé et que certains n'ont pas été sauvegardés, ou si l'on garde des journaux pour des serveurs secondaires.



À cause de cela, le volume de l'ensemble des fichiers WAL peut largement dépasser la taille fixée par `max_wal_size`. Ce n'est **pas** une valeur plafond !

Il existe un paramètre `min_wal_size` (défaut : 80 Mo) qui fixe la quantité minimale de journaux à tout moment, même sans activité en écriture. Ils seront donc vides et prêts à être remplis en cas d'écriture imprévue. Bien sûr, s'il y a des grosses écritures, PostgreSQL créera au besoin des journaux supplémentaires, jusque `max_wal_size`, voire au-delà. Mais il lui faudra les créer et les remplir intégralement de zéros avant utilisation.

Après un gros pic d'activité suivi d'un checkpoint et d'une période calme, la quantité de journaux va très progressivement redescendre de `max_wal_size` à `min_wal_size`.

Le dimensionnement de ces paramètres est très dépendant du contexte, de l'activité habituelle, et de la régularité des écritures. Le but est d'éviter des gros pics d'écriture, et donc d'avoir des checkpoints essentiellement périodiques, même si des opérations ponctuelles peuvent y échapper (gros chargements, grosse maintenance...).

Des checkpoints espacés ont aussi pour effet de réduire la quantité totale de journaux écrits. En effet, par défaut, un bloc modifié est intégralement écrit dans les journaux la première fois après un checkpoint. Par contre, un écart plus grand entre checkpoints peut allonger la restauration après un arrêt brutal, car il y aura plus de journaux à rejouer.

En pratique, une petite instance se contentera du paramétrage de base ; une plus grosse montera `max_wal_size` à quelques Go.



Si l'on monte `max_wal_size`, par cohérence, il faudra penser à augmenter aussi `checkpoint_timeout`, et vice-versa.

Pour `min_wal_size`, rien n'interdit de prendre une valeur élevée pour mieux absorber les montées d'activité brusques.

Enfin, le checkpoint comprend un *sync* sur disque final. Toujours pour éviter des à-coups d'écriture, PostgreSQL demande au système d'exploitation de forcer un vidage du cache quand `checkpoint_flush_after` a déjà été écrit (par défaut 256 ko). (Avant PostgreSQL 9.6, ceci se paramétrait au niveau de Linux en abaissant les valeurs des `sysctl vm.dirty_*`.)

3.5.4 Déclenchement & comportement des checkpoints - 2



- Dilution des écritures
 - `checkpoint_completion_target` × durée moy. entre 2 checkpoints
- Surveillance :
 - `checkpoint_warning`
 - `log_checkpoints`
 - Gardez de la place ! sinon crash...

Quand le checkpoint démarre, il vise à lisser le débit en écriture, et donc le calcule à partir d'une fraction de la durée d'exécution des précédents checkpoints. Cette fraction est fixée par `checkpoint_completion_target`, et vaut 0,5 par défaut jusqu'en version 13 incluse, et 0,9 depuis la version 14. PostgreSQL prévoit donc une durée de checkpoint de 150 secondes au départ, mais cette valeur pourra évoluer ensuite suivant la durée réelle des checkpoints précédents. La valeur préconisée pour `checkpoint_completion_target` est 0,9 (et pas plus) car elle permet de lisser davantage les écritures dues aux checkpoints dans le temps.

Il est possible de suivre le déroulé des checkpoints dans les traces si `log_checkpoints` est à on. De plus, si deux checkpoints sont rapprochés d'un intervalle de temps inférieur à `checkpoint_warning` (défaut : 30 secondes), un message d'avertissement sera tracé. Une répétition fréquente indique que `max_wal_size` est bien trop petit.

Enfin, répétons que `max_wal_size` n'est pas une limite en dur de la taille de `pg_wal/`.



La partition de `pg_wal/` doit être taillée généreusement. Sa saturation entraîne l'arrêt immédiat de l'instance !

3.5.5 WAL buffers : journalisation en mémoire



- Mutualiser les écritures entre transactions
- Un processus d'arrière plan : `walwriter`
- Paramètres notables :
 - `wal_buffers`
 - `wal_writer_flush_after`
- Fiabilité :
 - `fsync = on`
 - `full_page_writes = on`
 - sinon **corruption** !

La journalisation s'effectue par écriture dans les journaux de transactions. Toutefois, afin de ne pas effectuer des écritures synchrones pour chaque opération dans les fichiers de journaux, les écritures sont préparées dans des tampons (*buffers*) en mémoire. Les processus écrivent donc leur travail de journalisation dans des *buffers*, ou *WAL buffers*. Ceux-ci sont vidés quand une session demande validation de son travail (COMMIT), qu'il n'y a plus de *buffer* disponible, ou que le *walwriter* se réveille (`wal_writer_delay`).

Écrire un ou plusieurs blocs séquentiels de façon synchrone sur un disque a le même coût à peu de chose près. Ce mécanisme permet donc de réduire fortement les demandes d'écriture synchrone sur le journal, et augmente donc les performances.

Afin d'éviter qu'un processus n'ait tous les buffers à écrire à l'appel de COMMIT, et que cette opération ne dure trop longtemps, un processus d'arrière-plan appelé *walwriter* écrit à intervalle régulier tous les buffers à synchroniser.

Ce mécanisme est géré par ces paramètres, rarement modifiés :

- `wal_buffers` : taille des *WAL buffers*, soit par défaut 1/32e de `shared_buffers` avec un maximum de 16 Mo (la taille d'un segment), des valeurs supérieures (par exemple 128 Mo⁷) pouvant être intéressantes pour les très grosses charges ;
- `wal_writer_delay` (défaut : 200 ms) : intervalle auquel le *walwriter* se réveille pour écrire les buffers non synchronisés ;
- `wal_writer_flush_after` (défaut : 1 Mo) : au-delà de cette valeur, les journaux écrits sont synchronisés sur disque pour éviter l'accumulation dans le cache de l'OS.

Pour la fiabilité, on ne touchera pas à ceux-ci :

- `wal_sync_method` : appel système à utiliser pour demander l'écriture synchrone (sauf très rare exception, PostgreSQL détecte tout seul le bon appel système à utiliser) ;

⁷<https://thebuild.com/blog/2023/02/08/xtreme-postgresql/>

- `full_page_writes` : doit-on réécrire une image complète d'une page suite à sa première modification après un checkpoint ? Sauf cas très particulier, comme un système de fichiers *Copy On Write* comme ZFS ou btrfs, ce paramètre doit rester à `on` pour éviter des corruptions de données (et il est alors conseillé d'espacer les checkpoints pour réduire la volumétrie des journaux) ;
- `fsync` : doit-on réellement effectuer les écritures synchrones ? Le défaut est `on` et **il est très fortement conseillé de le laisser ainsi en production**. Avec `off`, les performances en écritures sont certes très accélérées, mais en cas d'arrêt d'urgence de l'instance, les données seront totalement corrompues ! Ce peut être intéressant pendant le chargement initial d'une nouvelle instance par exemple, sans oublier de revenir à `on` après ce chargement initial. (D'autres paramètres et techniques existent pour accélérer les écritures et sans corrompre votre instance, si vous êtes prêt à perdre certaines données non critiques : `synchronous_commit` à `off`, les tables *unlogged*...)

3.5.6 Compression des journaux



- `wal_compression`
 - `compression`
 - un peu de CPU

`wal_compression` compresse les blocs complets enregistrés dans les journaux de transactions, réduisant le volume des WAL et la charge en écriture sur les disques.

Le rejeu des WAL est aussi plus rapide, ce qui accélère la réplication et la reprise après un crash. Le prix est une augmentation de la consommation en CPU.

3.5.7 Limiter le coût de la journalisation



- `synchronous_commit`
 - perte potentielle de données validées
- `commit_delay` / `commit_siblings`
- Par session

Le coût d'un `fsync` est parfois rédhibitoire. Avec certains sacrifices, il est parfois possible d'améliorer les performances sur ce point.

Le paramètre `synchronous_commit` (défaut : `on`) indique si la validation de la transaction en cours doit déclencher une écriture synchrone dans le journal. Le défaut permet de garantir la pérennité des données dès la fin du `COMMIT`.

Mais ce paramètre peut être modifié dans chaque session par une commande `SET`, et passé à `off` **s'il est possible d'accepter une petite perte de données** pourtant committées. La perte peut monter à $3 \times \text{wal_writer_delay}$ (600 ms) ou `wal_writer_flush_after` (1 Mo) octets écrits. On accélère ainsi notablement les flux des petites transactions. Les transactions où le paramètre reste à `on` continuent de profiter de la sécurité maximale. La base restera, quoi qu'il arrive, cohérente. (Ce paramètre permet aussi de régler le niveau des transactions synchrones avec des secondaires.)

Il existe aussi `commit_delay` (défaut : 0) et `commit_siblings` (défaut : 5) comme mécanisme de regroupement de transactions⁸. S'il y a au moins `commit_siblings` transactions en cours, PostgreSQL attendra jusqu'à `commit_delay` (en microsecondes) avant de valider une transaction pour permettre à d'autres transactions de s'y rattacher. Ce mécanisme, désactivé par défaut, accroît la latence de certaines transactions afin que plusieurs soient écrites ensemble, et n'apporte un gain de performance global qu'avec de nombreuses petites transactions en parallèle, et des disques classiques un peu lents. (En cas d'arrêt brutal, il n'y a pas à proprement parler de perte de données puisque les transactions délibérément retardées n'ont pas été signalées comme validées.)

⁸<https://docs.postgresql.fr/current/wal-configuration.html>

3.6 AU-DELÀ DE LA JOURNALISATION



- Sauvegarde PITR
- Réplication physique
 - par *log shipping*
 - par *streaming*

Le système de journalisation de PostgreSQL étant très fiable, des fonctionnalités très intéressantes ont été bâties dessus.

3.6.1 L'archivage des journaux



- Repartir à partir :
 - d'une vieille sauvegarde
 - les journaux archivés
- Sauvegarde à chaud
- Sauvegarde en continu
- Paramètres
 - `wal_level`, `archive_mode`
 - `archive_command` ou `archive_library`

Les journaux permettent de rejouer, suite à un arrêt brutal de la base, toutes les modifications depuis le dernier checkpoint. Les journaux devenus obsolète depuis le dernier *checkpoint* (l'avant-dernier avant la version 11) sont à terme recyclés ou supprimés, car ils ne sont plus nécessaires à la réparation de la base.

Le but de l'archivage est de stocker ces journaux, afin de pouvoir rejouer leur contenu, non plus depuis le dernier checkpoint, mais **depuis une sauvegarde**. Le mécanisme d'archivage permet de repartir d'une sauvegarde binaire de la base (c'est-à-dire des fichiers, pas un `pg_dump`), et de réappliquer le contenu des journaux archivés.

Il suffit de rejouer tous les journaux depuis le checkpoint précédent la sauvegarde jusqu'à la fin de la sauvegarde, ou même à un point précis dans le temps. L'application de ces journaux permet de rendre

à nouveau cohérents les fichiers de données, même si ils ont été sauvegardés en cours de modification.

Ce mécanisme permet aussi de fournir une sauvegarde continue de la base, alors même que celle-ci travaille.

Tout ceci est vu dans le module *Point In Time Recovery*⁹.

Même si l'archivage n'est pas en place, il faut connaître les principaux paramètres impliqués :

wal_level :

Il vaut `replica` par défaut depuis la version 10. Les journaux contiennent les informations nécessaires pour une sauvegarde PITR ou une réplication vers une instance secondaire.

Si l'on descend à `minimal` (défaut jusqu'en version 9.6 incluse), les journaux ne contiennent plus que ce qui est nécessaire à une reprise après arrêt brutal sur le serveur en cours. Ce peut être intéressant pour réduire, parfois énormément, le volume des journaux générés, si l'on a bien une sauvegarde non PITR par ailleurs.

Le niveau `logical` est destiné à la réplication logique¹⁰.

(Avant la version 9.6 existaient les niveaux intermédiaires `archive` et `hot_standby`, respectivement pour l'archivage et pour un serveur secondaire en lecture seule. Ils sont toujours acceptés, et assimilés à `replica`.)

archive_mode & archive_command/archive_library :

Il faut qu'`archive_command` soit à `on` pour activer l'archivage. Les journaux sont alors copiés grâce à une commande shell à fournir dans `archive_command` ou grâce à une bibliothèque partagée indiquée dans `archive_library` (version 15 ou postérieure). En général on y indiquera ce qu'exige un outil de sauvegarde dédié (par exemple pgBackRest ou barman) dans sa documentation.

3.6.2 Réplication



- *Log shipping* : fichier par fichier
- *Streaming* : entrée par entrée (en flux continu)
- Serveurs secondaires très proches de la production, en lecture

La restauration d'une sauvegarde peut se faire en continu sur un autre serveur, qui peut même être actif (bien que forcément en lecture seule). Les journaux peuvent être :

- envoyés régulièrement vers le secondaire, qui les rejouera : c'est le principe de la réplication par *log shipping* ;

⁹https://dali.bo/i2_html

¹⁰https://dali.bo/w5_html

- envoyés par fragments vers cet autre serveur : c'est la réplication par *streaming*.

Ces thèmes ne seront pas développés ici. Signalons juste que la réplication par *log shipping* implique un archivage actif sur le primaire, et l'utilisation de `restore_command` (et d'autres pour affiner) sur le secondaire. Le *streaming* permet de se passer d'archivage, même si coupler *streaming* et sauvegarde PITR est une bonne idée. Sur un PostgreSQL récent, le primaire a par défaut le nécessaire activé pour se voir doté d'un secondaire : `wal_level` est à `replica` ; `max_wal_senders` permet d'ouvrir des processus dédiés à la réplication ; et l'on peut garder des journaux en paramétrant `wal_keep_size` (ou `wal_keep_segments` avant la version 13) pour limiter les risques de décrochage du secondaire.

Une configuration supplémentaire doit se faire sur le serveur secondaire, indiquant comment récupérer les fichiers de l'archive, et comment se connecter au primaire pour récupérer des journaux. Elle a lieu dans les fichiers `recovery.conf` (jusqu'à la version 11 comprise), ou (à partir de la version 12) `postgresql.conf` dans les sections évoquées plus haut, ou `postgresql.auto.conf`.

3.7 CONCLUSION



Mémoire et journalisation :

- complexe
- critique
- mais fiable
- et le socle de nombreuses fonctionnalités évoluées

3.7.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

3.8 QUIZ



https://dali.bo/m3_quiz

3.9 INTRODUCTION À PGBENCH

pgbench est un outil de test livré avec PostgreSQL. Son but est de faciliter la mise en place de benchmarks simples et rapides. Par défaut, il installe une base assez simple, génère une activité plus ou moins intense et calcule le nombre de transactions par seconde et la latence. C'est ce qui sera fait ici dans cette introduction. On peut aussi lui fournir ses propres scripts.

La documentation complète est sur <https://docs.postgresql.fr/current/pgbench.html>. L'auteur principal, Fabien Coelho, a fait une présentation complète, en français, à la PG Session #9 de 2017¹¹.

3.9.1 Installation

L'outil est installé avec les paquets habituels de PostgreSQL, client ou serveur suivant la distribution.

Dans le cas des paquets RPM du PGDG, l'outil n'est pas dans le PATH par défaut ; il faudra donc fournir le chemin complet :

```
/usr/pgsql-15/bin/pgbench
```

Il est préférable de créer un rôle non privilégié dédié, qui possédera la base de données :

```
CREATE ROLE pgbench LOGIN PASSWORD 'unmotdepassebienc0mplexe';
CREATE DATABASE pgbench OWNER pgbench ;
```

Le `pg_hba.conf` doit éventuellement être adapté.

La base par défaut s'installe ainsi (indiquer la base de données en dernier ; ajouter `-p` et `-h` au besoin) :

```
pgbench -U pgbench --initialize --scale=100 pgbench
```

`--scale` permet de faire varier proportionnellement la taille de la base. À 100, la base pèsera 1,5 Go, avec 10 millions de lignes dans la table principale `pgbench_accounts` :

```
pgbench@pgbench=# \d+
```

		Liste des relations			
Schéma	Nom	Type	Propriétaire	Taille	Description
public	pg_buffercache	vue	postgres	0 bytes	
public	pgbench_accounts	table	pgbench	1281 MB	
public	pgbench_branches	table	pgbench	40 kB	
public	pgbench_history	table	pgbench	0 bytes	
public	pgbench_tellers	table	pgbench	80 kB	

3.9.2 Générer de l'activité

Pour simuler une activité de 20 clients simultanés, répartis sur 4 processeurs, pendant 100 secondes :

¹¹https://youtu.be/aTwh_CgRaE0

```
pgbench -U pgbench -c 20 -j 4 -T100 pgbench
```

NB : ne **pas** utiliser `-d` pour indiquer la base, qui signifie `--debug` pour `pgbench`, qui noiera alors l’affichage avec ses requêtes :

```
UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + -3455 WHERE aid = 3789437;
SELECT abalance FROM pgbench_accounts WHERE aid = 3789437;
UPDATE pgbench_tellers SET tbalance = tbalance + -3455 WHERE tid = 134;
UPDATE pgbench_branches SET bbalance = bbalance + -3455 WHERE bid = 78;
INSERT INTO pgbench_history (tid, bid, aid, delta, mtime)
VALUES (134, 78, 3789437, -3455, CURRENT_TIMESTAMP);
```

À la fin, s’affichent notamment le nombre de transactions (avec et sans le temps de connexion) et la durée moyenne d’exécution du point de vue du client (latency) :

```
scaling factor: 100
query mode: simple
number of clients: 20
number of threads: 4
duration: 10 s
number of transactions actually processed: 20433
latency average = 9.826 ms
tps = 2035.338395 (including connections establishing)
tps = 2037.198912 (excluding connections establishing)
```

Modifier le paramétrage est facile grâce à la variable d’environnement `PGOPTIONS` :

```
PGOPTIONS='-c synchronous_commit=off -c commit_siblings=20' \
pgbench -d pgbench -U pgbench -c 20 -j 4 -T100 2>/dev/null
```

```
latency average = 6.992 ms
tps = 2860.465176 (including connections establishing)
tps = 2862.964803 (excluding connections establishing)
```



Des tests rigoureux doivent durer bien sûr beaucoup plus longtemps que 100 s, par exemple pour tenir compte des effets de cache, des checkpoints périodiques, etc.

3.10 TRAVAUX PRATIQUES

3.10.1 Mémoire partagée



But : constater l'effet du cache sur les accès.

Se connecter à la base de données **b0** et créer une table **t2** avec une colonne **id** de type **integer**.

Insérer 500 lignes dans la table **t2** avec `generate_series`.

Pour réinitialiser les statistiques de **t2** :

- utiliser la fonction `pg_stat_reset_single_table_counters`
- l'OID en paramètre est dans la table des relations `pg_class`, ou peut être trouvé avec `'t2'::regclass`

Afin de vider le cache, redémarrer l'instance PostgreSQL.

Se connecter à la base de données **b0** et lire les données de la table **t2**.

Récupérer les statistiques IO pour la table **t2** dans la vue système `pg_statio_user_tables`. Qu'observe-t-on ?

Lire de nouveau les données de la table **t2** et consulter ses statistiques. Qu'observe-t-on ?

Lire de nouveau les données de la table **t2** et consulter ses statistiques. Qu'observe-t-on ?

3.10.2 Mémoire de tri



But : constater l'influence de la mémoire de tri

Ouvrir un premier terminal et laisser défiler le fichier de traces.

Dans un second terminal, activer la trace des fichiers temporaires ainsi que l'affichage du niveau LOG pour le client (il est possible de le faire sur la session uniquement).

Insérer un million de lignes dans la table `t2` avec `generate_series`.

Activer le chronométrage dans la session (`\timing on`). Lire les données de la table `t2` en triant par la colonne `id` Qu'observe-t-on ?

Configurer la valeur du paramètre `work_mem` à 100MB (il est possible de le faire sur la session uniquement).

Lire de nouveau les données de la table `t2` en triant par la colonne `id`. Qu'observe-t-on ?

3.10.3 Cache disque de PostgreSQL



But : constater l'effet du cache de PostgreSQL

Se connecter à la base de données `b1`. Installer l'extension `pg_buffercache`.

Créer une table `t2` avec une colonne `id` de type `integer`.

Insérer un million de lignes dans la table `t2` avec `generate_series`.

Pour vider le cache de PostgreSQL, redémarrer l'instance.

Pour vider le cache du système d'exploitation, sous **root** :

```
# sync && echo 3 > /proc/sys/vm/drop_caches
```

Se connecter à la base de données **b1**. En utilisant l'extension `pg_buffercache`, que contient le cache de PostgreSQL ? (Compter les blocs pour chaque table ; au besoin s'inspirer de la requête du cours.)

Activer l’affichage de la durée des requêtes. Lire les données de la table `t2`, en notant la durée d’exécution de la requête. Que contient le cache de PostgreSQL ?

Lire de nouveau les données de la table `t2`. Que contient le cache de PostgreSQL ?

Configurer la valeur du paramètre `shared_buffers` à un quart de la RAM.

Redémarrer l’instance PostgreSQL.

Se connecter à la base de données `b1` et extraire de nouveau toutes les données de la table `t2`. Que contient le cache de PostgreSQL ?

Modifier le contenu de la table `t2`, par exemple avec :

```
UPDATE t2 SET id = 0 WHERE id < 1000 ;
```

Que contient le cache de PostgreSQL ?

Exécuter un checkpoint. Que contient le cache de PostgreSQL ?

3.10.4 Journaux



But : Observer la génération de journaux

Insérer 10 millions de lignes dans la table `t2` avec `generate_series`. Que se passe-t-il au niveau du répertoire `pg_wal` ?

Exécuter un checkpoint. Que se passe-t-il au niveau du répertoire `pg_wal` ?

3.11 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

3.11.1 Mémoire partagée

Se connecter à la base de données **b0** et créer une table **t2** avec une colonne **id** de type **integer**.

```
$ psql b0
```

```
b0=# CREATE TABLE t2 (id integer);
CREATE TABLE
```

Insérer 500 lignes dans la table **t2** avec **generate_series**.

```
b0=# INSERT INTO t2 SELECT generate_series(1, 500);
INSERT 0 500
```

Pour réinitialiser les statistiques de **t2** :

- utiliser la fonction **pg_stat_reset_single_table_counters**
- l'OID en paramètre est dans la table des relations **pg_class**, ou peut être trouvé avec **'t2'::regclass** Cette fonction attend un OID comme paramètre :

```
b0=# \df pg_stat_reset_single_table_counters
```

List of functions

Schema	Name	Result data type	Argument data types	Type
pg_catalog	pg_relation_filepath	text	regclass	func

L'OID est une colonne présente dans la table **pg_class** :

```
b0=# SELECT relname, pg_stat_reset_single_table_counters(oid)
FROM pg_class WHERE relname = 't2';
```

relname	pg_stat_reset_single_table_counters
t2	

Il y a cependant un raccourci à connaître :

```
SELECT pg_stat_reset_single_table_counters('t2'::regclass) ;
```

Afin de vider le cache, redémarrer l'instance PostgreSQL.

```
# systemctl restart postgresql-15
```

Se connecter à la base de données **b0** et lire les données de la table **t2**.

```
b0=# SELECT * FROM t2;
[...]
```

Récupérer les statistiques IO pour la table **t2** dans la vue système **pg_statio_user_tables**.
Qu'observe-t-on ?

```
b0=# \x
Expanded display is on.
```

```
b0=# SELECT * FROM pg_statio_user_tables WHERE relname = 't2' ;
```

```
-[ RECORD 1 ]---+-----
relid          | 24576
schemaname     | public
relname        | t2
heap_blks_read | 3
heap_blks_hit  | 0
idx_blks_read  |
idx_blks_hit   |
toast_blks_read |
toast_blks_hit |
tidx_blks_read |
tidx_blks_hit  |
```

3 blocs ont été lus en dehors du cache de PostgreSQL (colonne **heap_blks_read**).

Lire de nouveau les données de la table **t2** et consulter ses statistiques. Qu'observe-t-on ?

```
b0=# SELECT * FROM t2;
[...]
```

```
b0=# SELECT * FROM pg_statio_user_tables WHERE relname = 't2';
```

```
-[ RECORD 1 ]---+-----
relid          | 24576
schemaname     | public
relname        | t2
heap_blks_read | 3
heap_blks_hit  | 3
...
```

Les 3 blocs sont maintenant lus à partir du cache de PostgreSQL (colonne **heap_blks_hit**).

Lire de nouveau les données de la table **t2** et consulter ses statistiques. Qu'observe-t-on ?

```
b0=# SELECT * FROM t2;
[...]
```

```
b0=# SELECT * FROM pg_statio_user_tables WHERE relname = 't2';
```

```
-[ RECORD 1 ]---+-----
relid          | 24576
schemaname     | public
relname        | t2
heap_blks_read | 3
heap_blks_hit  | 6
...
```

Quelle que soit la session, le cache étant partagé, tout le monde profite des données en cache.

3.11.2 Mémoire de tri

Ouvrir un premier terminal et laisser défiler le fichier de traces.

Le nom du fichier dépend de l'installation et du moment. Pour suivre tout ce qui se passe dans le fichier de traces, utiliser `tail -f`:

```
$ tail -f /var/lib/pgsql/15/data/log/postgresql-Tue.log
```

Dans un second terminal, activer la trace des fichiers temporaires ainsi que l'affichage du niveau LOG pour le client (il est possible de le faire sur la session uniquement).

Dans la session :

```
postgres=# SET client_min_messages TO log;
SET
postgres=# SET log_temp_files TO 0;
SET
```

Les paramètres `log_temp_files` et `client_min_messages` peuvent aussi être mis en place une fois pour toutes dans `postgresql.conf` (recharger la configuration). En fait, c'est généralement conseillé.

Insérer un million de lignes dans la table `t2` avec `generate_series`.

```
b0=# INSERT INTO t2 SELECT generate_series(1, 1000000);

INSERT 0 1000000
```

Activer le chronométrage dans la session (`\timing on`). Lire les données de la table `t2` en triant par la colonne `id` Qu'observe-t-on ?

```
b0=# \timing on
b0=# SELECT * FROM t2 ORDER BY id;
```

```
LOG:  temporary file: path "base/pgsql_tmp/pgsql_tmp1197.0", size 14032896
      id
-----
      1
      1
      2
      2
      3
[...]
Time: 436.308 ms
```

Le message LOG apparaît aussi dans la trace, et en général il se trouvera là.

PostgreSQL a dû créer un fichier temporaire pour stocker le résultat temporaire du tri. Ce fichier s'appelle `base/pgsql_tmp/pgsql_tmp1197.0`. Il est spécifique à la session et sera détruit dès qu'il ne sera plus utile. Il fait 14 Mo.

Écrire un fichier de tri sur disque prend évidemment un certain temps, c'est généralement à éviter si le tri peut se faire en mémoire.

Configurer la valeur du paramètre `work_mem` à 100MB (il est possible de le faire sur la session uniquement).

```
b0=# SET work_mem TO '100MB';
SET
```

Lire de nouveau les données de la table `t2` en triant par la colonne `id`. Qu'observe-t-on ?

```
b0=# SELECT * FROM t2 ORDER BY id;
```

```
   id
-----
    1
    1
    2
    2
[...]
```

Time: 240.565 ms

Il n'y a plus de fichier temporaire généré. La durée d'exécution est bien moindre.

3.11.3 Cache disque de PostgreSQL

Se connecter à la base de données `b1`. Installer l'extension `pg_buffercache`.

```
b1=# CREATE EXTENSION pg_buffercache;
CREATE EXTENSION
```

Créer une table `t2` avec une colonne `id` de type `integer`.

```
b1=# CREATE TABLE t2 (id integer);
CREATE TABLE
```

Insérer un million de lignes dans la table `t2` avec `generate_series`.

```
b1=# INSERT INTO t2 SELECT generate_series(1, 1000000);
INSERT 0 1000000
```

Pour vider le cache de PostgreSQL, redémarrer l'instance.

```
# systemctl restart postgresql-15
```

Pour vider le cache du système d'exploitation, sous **root** :

```
# sync && echo 3 > /proc/sys/vm/drop_caches
```

Se connecter à la base de données **b1**. En utilisant l'extension `pg_buffercache`, que contient le cache de PostgreSQL ? (Compter les blocs pour chaque table ; au besoin s'inspirer de la requête du cours.)

```
b1=# SELECT relfilenode, count(*)
      FROM pg_buffercache
      GROUP BY 1
      ORDER BY 2 DESC
      LIMIT 10;
```

relfilenode	count
	16181
1249	57
1259	26
2659	15

[...]

Les valeurs exactes peuvent varier. La colonne `relfilenode` correspond à l'identifiant système de la table. La deuxième colonne indique le nombre de blocs. Il y a ici 16 181 blocs non utilisés pour l'instant dans le cache (126 Mo), ce qui est logique vu que PostgreSQL vient de redémarrer. Il y a quelques blocs utilisés par des tables systèmes, mais aucune table utilisateur (on les repère par leur OID supérieur à 16384).

Activer l'affichage de la durée des requêtes. Lire les données de la table `t2`, en notant la durée d'exécution de la requête. Que contient le cache de PostgreSQL ?

```
b1=# \timing on
Timing is on.
```

```
b1=# SELECT * FROM t2;
```

id
1
2
3
4
5

[...]

Time: 277.800 ms

```
b1=# SELECT relfilenode, count(*) FROM pg_buffercache GROUP BY 1 ORDER BY 2 DESC
↪ LIMIT 10 ;
```

relfilenode	count
	16220
16410	32

```

      1249 |      29
      1259 |       9
      2659 |       8
[...]
```

Time: 30.694 ms

32 blocs ont été alloués pour la lecture de la table t2 (*filenode* 16410). Cela représente 256 ko alors que la table fait 35 Mo :

```

b1=# SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t2'));

 pg_size_pretty
-----
      35 MB
(1 row)
```

Time: 1.913 ms

Un simple `SELECT *` ne suffit donc pas à maintenir la table dans le cache. Par contre, ce deuxième accès était déjà beaucoup rapide, ce qui suggère que le système d'exploitation, lui, a probablement gardé les fichiers de la table dans son propre cache.

Lire de nouveau les données de la table t2. Que contient le cache de PostgreSQL ?

```

b1=# SELECT * FROM t2;
```

```

      id
-----
[...]
```

Time: 184.529 ms

```

b1=# SELECT relfilenode, count(*) FROM pg_buffercache GROUP BY 1 ORDER BY 2 DESC
↪ LIMIT 10 ;
```

```

 relfilenode | count
-----+-----
      1249   | 16039
      1249   |    85
     16410   |    64
      1259   |    39
      2659   |    22
[...]
```

Il y en a un peu plus dans le cache (en fait, 2 fois 32 ko). Plus vous exécuterez la requête, et plus le nombre de blocs présents en cache augmentera. Sur le long terme, les 4425 blocs de la table t2 peuvent se retrouver dans le cache.

Configurer la valeur du paramètre `shared_buffers` à un quart de la RAM.

Pour cela, il faut ouvrir le fichier de configuration `postgresql.conf` et modifier la valeur du paramètre `shared_buffers` à un quart de la mémoire. Par exemple :

```
shared_buffers = 2GB
```


Redémarrer l'instance PostgreSQL.

```
# systemctl restart postgresql-15
```

Se connecter à la base de données **b1** et extraire de nouveau toutes les données de la table **t2**.
Que contient le cache de PostgreSQL ?

```
b1=# \timing on
b1=# SELECT * FROM t2;

   id
-----
    1
[...]
```

Time: 340.444 ms

```
b1=# SELECT relfilenode, count(*) FROM pg_buffercache GROUP BY 1 ORDER BY 2 DESC
↪ LIMIT 10 ;

 relfilenode | count
-----+-----
          1 | 257581
        16410 |    4425
          1249 |      29
[...]
```

PostgreSQL se retrouve avec toute la table directement dans son cache, et ce dès la première exécution.

PostgreSQL est optimisé principalement pour du multi-utilisateurs. Dans ce cadre, il faut pouvoir exécuter plusieurs requêtes en même temps et donc chaque requête ne peut pas monopoliser tout le cache. De ce fait, chaque requête ne peut prendre qu'une partie réduite du cache. Mais plus le cache est gros, plus la partie octroyée est grosse.

Modifier le contenu de la table **t2**, par exemple avec :

```
UPDATE t2 SET id = 0 WHERE id < 1000 ;
```

Que contient le cache de PostgreSQL ?

```
b1=# UPDATE t2 SET id=0 WHERE id < 1000;
UPDATE 999

b1=# SELECT
    relname,
    isdirty,
    count(bufferid) AS blocs,
    pg_size_pretty(count(bufferid) * current_setting('block_size')::int) AS taille
FROM pg_buffercache b
INNER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
WHERE relname NOT LIKE 'pg\_%'
GROUP BY
    relname,
    isdirty
ORDER BY 1, 2 ;
```

relname	isdirty	blocs	taille
t2	f	4419	35 MB
t2	t	15	120 kB

15 blocs ont été modifiés (isdirty est à true), le reste n'a pas bougé.

Exécuter un checkpoint. Que contient le cache de PostgreSQL ?

```
b1=# CHECKPOINT;
CHECKPOINT
```

```
b1=# SELECT
    relname,
    isdirty,
    count(bufferid) AS blocs,
    pg_size_pretty(count(bufferid) * current_setting('block_size')::int) AS taille
FROM pg_buffercache b
INNER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
WHERE relname NOT LIKE 'pg\_%'
GROUP BY
    relname,
    isdirty
ORDER BY 1, 2 ;
```

relname	isdirty	blocs	taille
t2	f	4434	35 MB

Les blocs *dirty* ont tous été écrits sur le disque et sont devenus « propres ».

3.11.4 Journaux

Insérer 10 millions de lignes dans la table t2 avec `generate_series`. Que se passe-t-il au niveau du répertoire `pg_wal` ?

```
b1=# INSERT INTO t2 SELECT generate_series(1, 10000000);
INSERT 0 10000000
```

```
$ ls -al $PGDATA/pg_wal
total 131076
$ ls -al $PGDATA/pg_wal
total 638984
drwx----- 3 postgres postgres 4096 Apr 16 17:55 .
drwx----- 20 postgres postgres 4096 Apr 16 17:48 ..
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000033
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000034
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000035
...
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000054
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000055
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000056
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000057
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 000000010000000000000000058
```

```
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 00000001000000000000000059
drwx----- 2 postgres postgres          6 Apr 16 15:01 archive_status
```

Des journaux de transactions sont écrits lors des écritures dans la base. Leur nombre varie avec l'activité récente.

Exécuter un checkpoint. Que se passe-t-il au niveau du répertoire `pg_wal` ?

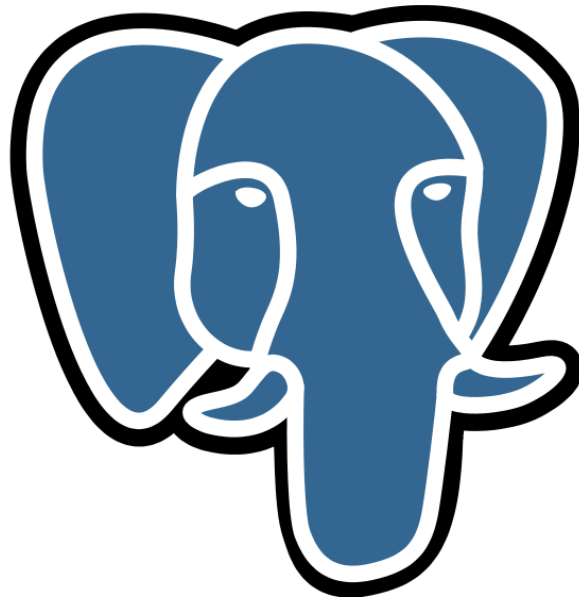
```
b1=# CHECKPOINT;
CHECKPOINT
```

```
$ ls -al $PGDATA/pg_wal
total 131076
total 638984
drwx----- 3 postgres postgres    4096 Apr 16 17:56 .
drwx----- 20 postgres postgres    4096 Apr 16 17:48 ..
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:56 00000001000000000000000059
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000005A
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000005B
...
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 00000001000000000000000079
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007A
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007B
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007C
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007D
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007E
-rw----- 1 postgres postgres 16777216 Apr 16 17:55 0000000100000000000000007F
drwx----- 2 postgres postgres          6 Apr 16 15:01 archive_status
```

Le nombre de journaux n'a pas forcément décru, mais le dernier journal d'avant le checkpoint est à présent le plus ancien (selon l'ordre des noms des journaux).

Ici, il n'y a ni PITR ni archivage. Les anciens journaux sont donc totalement inutiles et sont donc recyclés : renommés, il sont prêts à être remplis à nouveau. Noter que leur date de création n'a pas été mise à jour !

4/ Mécanique du moteur transactionnel & MVCC



4.1 INTRODUCTION



PostgreSQL utilise un modèle appelé **MVCC** (*Multi-Version Concurrency Control*).

- Gestion concurrente des transactions
- Excellente concurrence
- Impacts sur l'architecture

PostgreSQL s'appuie sur un modèle de gestion de transactions appelé MVCC. Nous allons expliquer cet acronyme, puis étudier en profondeur son implémentation dans le moteur.

Cette technologie a en effet un impact sur le fonctionnement et l'administration de PostgreSQL.

4.2 AU MENU



- Présentation de MVCC
- Niveaux d'isolation
- Implémentation de MVCC de PostgreSQL
- Les verrous
- Le mécanisme TOAST

4.3 PRÉSENTATION DE MVCC



- *MultiVersion Concurrency Control*
- Contrôle de Concurrence Multi-Version
- Plusieurs versions du même enregistrement
- Granularité : l'enregistrement (pas le champ !)

MVCC est un sigle signifiant *MultiVersion Concurrency Control*, ou « contrôle de concurrence multi-version ».

Le principe est de faciliter l'accès concurrent de plusieurs utilisateurs (sessions) à la base en disposant en permanence de plusieurs versions différentes d'un même enregistrement. Chaque session peut travailler simultanément sur la version qui s'applique à son contexte (on parle d'« instantané » ou de *snapshot*).

Par exemple, une transaction modifiant un enregistrement va créer une nouvelle version de cet enregistrement. Mais celui-ci ne devra pas être visible des autres transactions tant que le travail de modification n'est pas validé en base. Les autres transactions *verront* donc une ancienne version de cet enregistrement. La dénomination technique est « lecture cohérente » (*consistent read* en anglais).

Précisons que la granularité des modifications est bien l'enregistrement (ou ligne) d'une table. Modifier un champ (colonne) revient à modifier la ligne. Deux transactions ne peuvent pas modifier deux champs différents d'un même enregistrement sans entrer en conflit, et les verrous portent toujours sur des lignes entières.

4.3.1 Alternative à MVCC : un seul enregistrement en base



- Verrouillage en lecture et exclusif en écriture
- Nombre de verrous ?
- Contention ?
- Cohérence ?
- Annulation ?

Avant d'expliquer en détail MVCC, voyons l'autre solution de gestion de la concurrence qui s'offre à nous, afin de comprendre le problème que MVCC essaye de résoudre.

Une table contient une liste d'enregistrements.

- Une transaction voulant consulter un enregistrement doit le verrouiller (pour s'assurer qu'il n'est pas modifié) de façon partagée, le consulter, puis le déverrouiller.
- Une transaction voulant modifier un enregistrement doit le verrouiller de façon exclusive (personne d'autre ne doit pouvoir le modifier ou le consulter), le modifier, puis le déverrouiller.

Cette solution a l'avantage de la simplicité : il suffit d'un gestionnaire de verrous pour gérer l'accès concurrent aux données. Elle a aussi l'avantage de la performance, dans le cas où les attentes de verrous sont peu nombreuses, la pénalité de verrouillage à payer étant peu coûteuse.

Elle a par contre des inconvénients :

- Les verrous sont en mémoire. Leur nombre est donc probablement limité. Que se passe-t-il si une transaction doit verrouiller 10 millions d'enregistrements ? Des mécanismes de promotion de verrou sont implémentés. Les verrous lignes deviennent des verrous bloc, puis des verrous table. **Le nombre de verrous est limité, et une promotion de verrou peut avoir des conséquences dramatiques ;**
- Un processus devant lire un enregistrement devra attendre la fin de la modification de celui-ci. Ceci entraîne rapidement de gros problèmes de contention. **Les écrivains bloquent les lecteurs, et les lecteurs bloquent les écrivains.** Évidemment, les écrivains se bloquent entre eux, mais cela est normal (il n'est pas possible que deux transactions modifient le même enregistrement simultanément, chacune sans conscience de ce qu'a effectué l'autre) ;
- Un ordre SQL (surtout s'il dure longtemps) n'a aucune garantie de voir des données cohérentes du début à la fin de son exécution : si, par exemple, durant un SELECT long, un écrivain modifie à la fois des données déjà lues par le SELECT, et des données qu'il va lire, le SELECT n'aura pas une vue cohérente de la table. Il pourrait y avoir un total faux sur une table comptable par exemple, le SELECT ayant vu seulement une partie des données validées par une nouvelle transaction ;
- Comment annuler une transaction ? Il faut un moyen de défaire ce qu'une transaction a effectué, au cas où elle ne se terminerait pas par une validation mais par une annulation.

4.3.2 Implémentation de MVCC par *undo*



- MVCC par *undo* :
 - une version de l'enregistrement dans la table
 - sauvegarde des anciennes versions
 - l'adresse physique d'un enregistrement ne change pas
 - la lecture cohérente est complexe
 - l'*undo* est complexe à dimensionner... et parfois insuffisant
 - l'annulation est lente
- Exemple : Oracle

C'est l'implémentation d'Oracle, par exemple. Un enregistrement, quand il doit être modifié, est recopié précédemment dans le tablespace d'UNDO. La nouvelle version de l'enregistrement est ensuite écrite par-dessus. Ceci implémente le MVCC (les anciennes versions de l'enregistrement sont toujours disponibles), et présente plusieurs avantages :

- Les enregistrements ne sont pas dupliqués dans la table. Celle-ci ne grandit donc pas suite à une mise à jour (si la nouvelle version n'est pas plus grande que la version précédente) ;
- Les enregistrements gardent la même adresse physique dans la table. Les index correspondant à des données non modifiées de l'enregistrement n'ont donc pas à être modifiés eux-mêmes, les index permettant justement de trouver l'adresse physique d'un enregistrement par rapport à une valeur.

Elle a aussi des défauts :

- La gestion de l'*undo* est très complexe : comment décider ce qui peut être purgé ? Il arrive que la purge soit trop agressive, et que des transactions n'aient plus accès aux vieux enregistrements (erreur `SNAPSHOT TOO OLD` sous Oracle, par exemple) ;
- La lecture cohérente est complexe à mettre en œuvre : il faut, pour tout enregistrement modifié, disposer des informations permettant de retrouver l'image avant modification de l'enregistrement (et la bonne image, il pourrait y en avoir plusieurs). Il faut ensuite pouvoir le reconstituer en mémoire ;
- Il est difficile de dimensionner correctement le fichier d'*undo*. Il arrive d'ailleurs qu'il soit trop petit, déclenchant l'annulation d'une grosse transaction. Il est aussi potentiellement une source de contention entre les sessions ;
- L'annulation (`ROLLBACK`) est très lente : il faut, pour toutes les modifications d'une transaction, défaire le travail, donc restaurer les images contenues dans l'*undo*, les réappliquer aux tables (ce qui génère de nouvelles écritures). Le temps d'annulation peut être supérieur au temps de traitement initial devant être annulé.

4.3.3 L'implémentation MVCC de PostgreSQL



- *Copy On Write* (duplication à l'écriture)
- Une version d'enregistrement n'est jamais modifiée
- Toute modification entraîne une nouvelle version
- Pas d'*undo* : pas de contention, `ROLLBACK` instantané

Dans une table PostgreSQL, un enregistrement peut être stocké dans plusieurs versions. Une modification d'un enregistrement entraîne l'écriture d'une nouvelle version de celui-ci. Une ancienne version ne peut être recyclée que lorsqu'aucune transaction ne peut plus en avoir besoin, c'est-à-dire qu'aucune transaction n'a un instantané de la base plus ancien que l'opération de modification de cet enregistrement, et que cette version est donc invisible pour tout le monde. Chaque version

d'enregistrement contient bien sûr des informations permettant de déterminer s'il est visible ou non dans un contexte donné.

Les avantages de cette implémentation stockant plusieurs versions dans la table principale sont multiples :

- La lecture cohérente est très simple à mettre en œuvre : à chaque session de lire la version qui l'intéresse. La visibilité d'une version d'enregistrement est simple à déterminer ;
- Il n'y a pas d'*undo*. C'est un aspect de moins à gérer dans l'administration de la base ;
- Il n'y a pas de contention possible sur l'*undo* ;
- Il n'y a pas de recopie dans l'*undo* avant la mise à jour d'un enregistrement. La mise à jour est donc moins coûteuse ;
- L'annulation d'une transaction est instantanée : les anciens enregistrements sont toujours disponibles.

Cette implémentation a quelques défauts :

- Il faut supprimer régulièrement les versions obsolètes des enregistrements ;
- Il y a davantage de maintenance d'index (mais moins de contentions sur leur mise à jour) ;
- Les enregistrements embarquent des informations de visibilité, qui les rendent plus volumineux.

4.4 NIVEAUX D'ISOLATION



- Chaque transaction (et donc session) est isolée à un certain point :
 - elle ne voit pas les opérations des autres
 - elle s'exécute indépendamment des autres
- Le niveau d'isolation au démarrage d'une transaction peut être spécifié :
 - `BEGIN ISOLATION LEVEL xxx;`

Chaque transaction, en plus d'être atomique, s'exécute séparément des autres. Le niveau de séparation demandé est un compromis entre le besoin applicatif (pouvoir ignorer sans risque ce que font les autres transactions) et les contraintes imposées au niveau de PostgreSQL (performances, risque d'échec d'une transaction). Quatre niveaux sont définis, ils ne sont pas tous implémentés par PostgreSQL.

4.4.1 Niveau `READ UNCOMMITTED`



- Non disponible sous PostgreSQL
 - si demandé, s'exécute en `READ COMMITTED`
- Lecture de données modifiées par d'autres transactions **non** validées
- Aussi appelé *dirty reads*
- Dangereux
- Pas de blocage entre les sessions

Ce niveau d'isolation n'est disponible que pour les SGBD non-MVCC. Il est très dangereux : il est possible de lire des données invalides, ou temporaires, puisque tous les enregistrements de la table sont lus, quels que soient leurs états. Il est utilisé dans certains cas où les performances sont cruciales, au détriment de la justesse des données.

Sous PostgreSQL, ce mode n'est pas disponible. Une transaction qui demande le niveau d'isolation `READ UNCOMMITTED` s'exécute en fait en `READ COMMITTED`.

4.4.2 Niveau READ COMMITTED



- Niveau d'isolation par défaut
- La transaction ne lit que les données validées en base
- Un ordre SQL s'exécute dans un instantané (les tables semblent figées sur la durée de l'ordre)
- L'ordre suivant s'exécute dans un instantané différent

Ce mode est le mode par défaut, et est suffisant dans de nombreux contextes. PostgreSQL étant MVCC, les écrivains et les lecteurs ne se bloquent pas mutuellement, et chaque ordre s'exécute sur un instantané de la base (ce n'est pas un prérequis de READ COMMITTED dans la norme SQL). Il n'y a plus de lectures d'enregistrements non valides (*dirty reads*). Il est toutefois possible d'avoir deux problèmes majeurs d'isolation dans ce mode :

- Les lectures non-répétables (*non-repeatable reads*) : une transaction peut ne pas voir les mêmes enregistrements d'une requête sur l'autre, si d'autres transactions ont validé des modifications entre temps ;
- Les lectures fantômes (*phantom reads*) : des enregistrements peuvent ne plus satisfaire une clause WHERE entre deux requêtes d'une même transaction.

4.4.3 Niveau REPEATABLE READ



- Instantané au début de la transaction
- Ne voit donc plus les modifications des autres transactions
- Voit toujours ses propres modifications
- Peut entrer en conflit avec d'autres transactions si modification des mêmes enregistrements

Ce mode, comme son nom l'indique, permet de ne plus avoir de lectures non-répétables. Deux ordres SQL consécutifs dans la même transaction retourneront les mêmes enregistrements, dans la même version. Ceci est possible car la transaction voit une image de la base figée. L'image est figée non au démarrage de la transaction, mais à la première commande non TCL (*Transaction Control Language*) de la transaction, donc généralement au premier SELECT ou à la première modification.

Cette image sera utilisée pendant toute la durée de la transaction. En lecture seule, ces transactions ne peuvent pas échouer. Elles sont entre autres utilisées pour réaliser des exports des données : c'est ce que fait `pg_dump`.

Dans le standard, ce niveau d'isolation souffre toujours des lectures fantômes, c'est-à-dire de lecture d'enregistrements différents pour une même clause `WHERE` entre deux exécutions de requêtes. Cependant, PostgreSQL est plus strict et ne permet pas ces lectures fantômes en `REPEATABLE READ`. Autrement dit, un même `SELECT` renverra toujours le même résultat.

En écriture, par contre (ou `SELECT FOR UPDATE`, `FOR SHARE`), si une autre transaction a modifié les enregistrements ciblés entre temps, une transaction en `REPEATABLE READ` va échouer avec l'erreur suivante :

```
ERROR: could not serialize access due to concurrent update
```

Il faut donc que l'application soit capable de la rejouer au besoin.

4.4.4 Niveau **SERIALIZABLE**



- Niveau d'isolation le plus élevé
- Chaque transaction se croit seule sur la base
 - sinon annulation d'une transaction en cours
- Avantages :
 - pas de « lectures fantômes »
 - évite des verrous, simplifie le développement
- Inconvénients :
 - pouvoir rejouer les transactions annulées
 - toutes les transactions impliquées doivent être sérialisables

PostgreSQL fournit un mode d'isolation appelé **SERIALIZABLE** :

```
BEGIN TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE ;
```

```
...
```

```
COMMIT / ROLLBACK ;
```

Dans ce mode, toutes les transactions déclarées comme telles s'exécutent comme si elles étaient seules sur la base, et comme si elles se déroulaient les unes à la suite des autres. Dès que cette garantie ne peut plus être apportée, PostgreSQL annule celle qui entraînera le moins de perte de données.

Le niveau **SERIALIZABLE** est utile quand le résultat d'une transaction peut être influencé par une transaction tournant en parallèle, par exemple quand des valeurs de lignes dépendent de valeurs d'autres lignes : mouvements de stocks, mouvements financiers... avec calculs de stocks. Autrement dit, si une transaction lit des lignes, elle a la garantie que leurs valeurs ne seront pas modifiées jusqu'à son **COMMIT**, y compris par les transactions qu'elle ne voit pas — ou bien elle tombera en erreur.

Au niveau `SERIALIZABLE` (comme en `REPEATABLE READ`), il est donc essentiel de pouvoir rejouer une transaction en cas d'échec. Par contre, nous simplifions énormément tous les autres points du développement. Il n'y a plus besoin de `SELECT FOR UPDATE`, solution courante mais très gênante pour les transactions concurrentes. Les triggers peuvent être utilisés sans soucis pour valider des opérations.

Ce mode doit être mis en place globalement, car toute transaction non sérialisable peut en théorie s'exécuter n'importe quand, ce qui rend inopérant le mode sérialisable sur les autres.

La sérialisation utilise le « verrouillage de prédicats ». Ces verrous sont visibles dans la vue `pg_locks` sous le nom `SIReadLock`, et ne gênent pas les opérations habituelles, du moins tant que la sérialisation est respectée. Un enregistrement qui « apparaît » ultérieurement suite à une mise à jour réalisée par une transaction concurrente déclenchera aussi une erreur de sérialisation.

Le wiki PostgreSQL¹, et la documentation officielle² donnent des exemples, et ajoutent quelques conseils pour l'utilisation de transactions sérialisables. Afin de tenter de réduire les verrous et le nombre d'échecs :

- faire des transactions les plus courtes possibles (si possible uniquement ce qui a trait à l'intégrité) ;
- limiter le nombre de connexions actives ;
- utiliser les transactions en mode `READ ONLY` dès que possible, voire en `SERIALIZABLE READ ONLY DEFERRABLE` (au risque d'un délai au démarrage) ;
- augmenter certains paramètres liés aux verrous, c'est-à-dire augmenter la mémoire dédiée ; car si elle manque, des verrous de niveau ligne pourraient être regroupés en verrous plus larges et plus gênants ;
- éviter les parcours de tables (*Seq Scan*), et donc privilégier les accès par index.

¹<https://wiki.postgresql.org/wiki/SSI/fr>

²<https://docs.postgresql.fr/current/transaction-iso.html#XACT-SERIALIZABLE>

4.5 STRUCTURE D'UN BLOC



- 1 bloc = 8 ko
- ctid = (bloc, item dans le bloc)

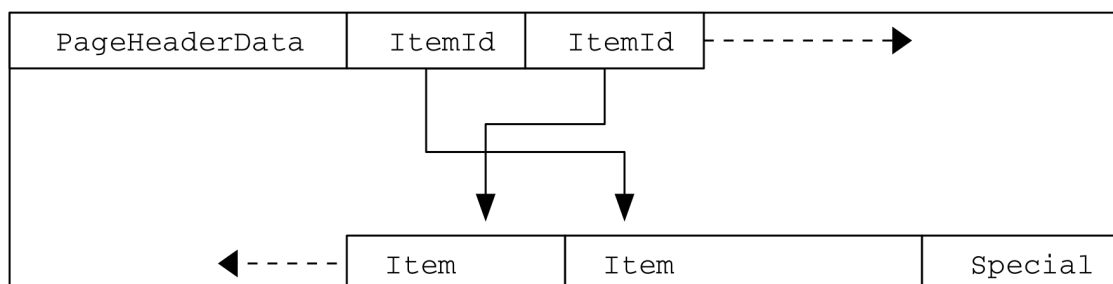


Figure 4/ .1: Répartition des lignes au sein d'un bloc (schéma de la documentation officielle, licence PostgreSQL)

Le bloc (ou page) est l'unité de base de transfert pour les I/O, le cache mémoire... Il fait généralement 8 ko (ce qui ne peut être modifié qu'en recompilant). Les lignes y sont stockées avec des informations d'administration telles que décrites dans le schéma ci-dessus. Une ligne ne fait jamais partie que d'un seul bloc (si cela ne suffit pas, un mécanisme que nous verrons plus tard, nommé TOAST, se déclenche).

Nous distinguons dans ce bloc :

- un entête de page avec diverses informations, notamment la somme de contrôle (si activée) ;
- des identificateurs de 4 octets, pointant vers les emplacements des lignes au sein du bloc ;
- les lignes, stockées à rebours depuis la fin du bloc ;
- un espace spécial, vide pour les tables ordinaires, mais utilisé par les blocs d'index.

Le `ctid` identifie une ligne, en combinant le numéro du bloc (à partir de 0) et l'identificateur dans le bloc (à partir de 1). Comme la plupart des champs administratifs liés à une ligne, il suffit de l'inclure dans un `SELECT` pour l'afficher. L'exemple suivant affiche les premiers et derniers éléments des deux blocs d'une table et vérifie qu'il n'y a pas de troisième bloc :

```
# CREATE TABLE deuxblocs AS SELECT i, i AS j FROM generate_series(1, 452) i;
SELECT 452

# SELECT ctid, i,j FROM deuxblocs
WHERE ctid in ( '(1, 1)', '(0, 226)', '(1, 1)', '(1, 226)', '(1, 227)', '(2, 0)' );
```


ctid	i	j
(0,1)	1	1
(0,226)	226	226
(1,1)	227	227
(1,226)	452	452



Un `ctid` ne doit jamais servir à désigner une ligne de manière pérenne et ne doit pas être utilisé dans des requêtes ! Il peut changer n'importe quand, notamment en cas d'UPDATE ou de VACUUM FULL !

La documentation officielle³ contient évidemment tous les détails.

Pour observer le contenu d'un bloc, à titre pédagogique, vous pouvez utiliser l'extension `pageinspect`⁴.

³<https://docs.postgresql.fr/current/storage-page-layout.html>

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/pageinspect.html#id-1.11.7.33.5>

4.6 XMIN & XMAX

Table initiale :

xmin	xmax	Nom	Solde
100		M. Durand	1500
100		Mme Martin	2200

PostgreSQL stocke des informations de visibilité dans chaque version d'enregistrement.

- xmin : l'identifiant de la transaction créant cette version.
- xmax : l'identifiant de la transaction invalidant cette version.

Ici, les deux enregistrements ont été créés par la transaction 100. Il s'agit peut-être, par exemple, de la transaction ayant importé tous les soldes à l'initialisation de la base.

4.6.1 xmin & xmax (suite)



```
BEGIN;
UPDATE soldes SET solde = solde - 200 WHERE nom = 'M. Durand';
```

xmin	xmax	Nom	Solde
100	150	M. Durand	1500
100		Mme Martin	2200
150		M. Durand	1300

Nous décidons d'enregistrer un virement de 200 € du compte de M. Durand vers celui de Mme Martin. Ceci doit être effectué dans une seule transaction : l'opération doit être atomique, sans quoi de l'argent pourrait apparaître ou disparaître de la table.

Nous allons donc tout d'abord démarrer une transaction (ordre SQL `BEGIN`). PostgreSQL fournit donc à notre session un nouveau numéro de transaction (150 dans notre exemple). Puis nous effectuerons :

```
UPDATE soldes SET solde = solde - 200 WHERE nom = 'M. Durand';
```

4.6.2 xmin & xmax (suite)



```
UPDATE soldes SET solde = solde + 200 WHERE nom = 'Mme Martin';
```

xmin	xmax	Nom	Solde
100	150	M. Durand	1500
100	150	Mme Martin	2200
150		M. Durand	1300
150		Mme Martin	2400

Puis nous effectuerons :

```
UPDATE soldes SET solde = solde + 200 WHERE nom = 'Mme Martin';
```

Nous avons maintenant deux versions de chaque enregistrement.

Notre session ne voit bien sûr plus que les nouvelles versions de ces enregistrements, sauf si elle décidait d'annuler la transaction, auquel cas elle reverrait les anciennes données.

Pour une autre session, la version visible de ces enregistrements dépend de plusieurs critères :

- La transaction 150 a-t-elle été validée ? Sinon elle est invisible ;
- La transaction 150 a-t-elle été validée après le démarrage de la transaction en cours, et sommes-nous dans un niveau d'isolation (*repeatable read* ou *serializable*) qui nous interdit de voir les modifications faites depuis le début de notre transaction ? ;
- La transaction 150 a-t-elle été validée après le démarrage de la requête en cours ? Une requête, sous PostgreSQL, voit un instantané cohérent de la base, ce qui implique que toute transaction validée après le démarrage de la requête doit être ignorée.

Dans le cas le plus simple, 150 ayant été validée, une transaction 160 ne verra pas les premières versions : xmax valant 150, ces enregistrements ne sont pas visibles. Elle verra les secondes versions, puisque xmin = 150, et pas de xmax.

4.6.3 xmin & xmax (suite)

xmin	xmax	Nom	Solde
100	150	M. Durand	1500

xmin	xmax	Nom	Solde
100	150	Mme Martin	2200
150		M. Durand	1300
150		Mme Martin	2400



- Comment est effectuée la suppression d'un enregistrement ?
 - Comment est effectuée l'annulation de la transaction 150 ?
-
- La suppression d'un enregistrement s'effectue simplement par l'écriture d'un xmax dans la version courante ;
 - Il n'y a rien à écrire dans les tables pour annuler une transaction. Il suffit de marquer la transaction comme étant annulée dans la CLOG.

4.7 CLOG



- La CLOG (*Commit Log*) enregistre l'état des transactions.
- Chaque transaction occupe 2 bits de CLOG
- COMMIT ou ROLLBACK très rapide

La CLOG est stockée dans une série de fichiers de 256 ko, stockés dans le répertoire `pg_xact/` de PGDATA (répertoire racine de l'instance PostgreSQL).

Chaque transaction est créée dans ce fichier dès son démarrage et est encodée sur deux bits puisqu'une transaction peut avoir quatre états :

- `TRANSACTION_STATUS_IN_PROGRESS` signifie que la transaction en cours, c'est l'état initial ;
- `TRANSACTION_STATUS_COMMITTED` signifie que la transaction a été validée ;
- `TRANSACTION_STATUS_ABORTED` signifie que la transaction a été annulée ;
- `TRANSACTION_STATUS_SUB_COMMITTED` signifie que la transaction comporte des sous-transactions, afin de valider l'ensemble des sous-transactions de façon atomique.

Nous avons donc un million d'états de transactions par fichier de 256 ko.

Annuler une transaction (ROLLBACK) est quasiment instantané sous PostgreSQL : il suffit d'écrire `TRANSACTION_STATUS_ABORTED` dans l'entrée de CLOG correspondant à la transaction.

Toute modification dans la CLOG, comme toute modification d'un fichier de données (table, index, séquence, vue matérialisée), est bien sûr enregistrée tout d'abord dans les journaux de transactions (dans le répertoire `pg_wal/`).

4.8 AVANTAGES DU MVCC POSTGRESQL



- Avantages :
 - avantages classiques de MVCC (concurrence d'accès)
 - implémentation simple et performante
 - peu de sources de contention
 - verrouillage simple d'enregistrement
 - ROLLBACK instantané
 - données conservées aussi longtemps que nécessaire

Reprenons les avantages du MVCC tel qu'implémenté par PostgreSQL :

- Les lecteurs ne bloquent pas les écrivains, ni les écrivains les lecteurs ;
- Le code gérant les instantanés est simple, ce qui est excellent pour la fiabilité, la maintenabilité et les performances ;
- Les différentes sessions ne se gênent pas pour l'accès à une ressource commune (l'*undo*) ;
- Un enregistrement est facilement identifiable comme étant verrouillé en écriture : il suffit qu'il ait une version ayant un xmax correspondant à une transaction en cours ;
- L'annulation est instantanée : il suffit d'écrire le nouvel état de la transaction annulée dans la CLOG. Pas besoin de restaurer les valeurs précédentes, elles sont toujours là ;
- Les anciennes versions restent en ligne aussi longtemps que nécessaire. Elles ne pourront être effacées de la base qu'une fois qu'aucune transaction ne les considérera comme visibles.

(Précisons toutefois que ceci est une vision un peu simplifiée pour les cas courants. La signification du xmax est parfois altérée par des bits positionnés dans des champs systèmes inaccessibles par l'utilisateur. Cela arrive, par exemple, quand des transactions insèrent des lignes portant une clé étrangère, pour verrouiller la ligne pointée par cette clé, laquelle ne doit pas disparaître pendant la durée de cette transaction.)

4.9 INCONVÉNIENTS DU MVCC POSTGRESQL



- Nettoyage des enregistrements
 - VACUUM
 - automatisation : autovacuum
- Tables plus volumineuses
- Pas de visibilité dans les index
- Colonnes supprimées impliquent reconstruction

Comme toute solution complexe, l'implémentation MVCC de PostgreSQL est un compromis. Les avantages cités précédemment sont obtenus au prix de concessions.

4.9.0.1 VACUUM

Il faut nettoyer les tables de leurs enregistrements morts. C'est le travail de la commande VACUUM. Il a un avantage sur la technique de l'*undo* : le nettoyage n'est pas effectué par un client faisant des mises à jour (et créant donc des enregistrements morts), et le ressenti est donc meilleur.

VACUUM peut se lancer à la main, mais dans le cas général on s'en remet à l'autovacuum, un démon qui lance les VACUUM (et bien plus) en arrière-plan quand il le juge nécessaire. Tout cela sera traité en détail par la suite.

4.9.0.2 Bloat

Les tables sont forcément plus volumineuses que dans l'implémentation par *undo*, pour deux raisons :

- les informations de visibilité y sont stockées, il y a donc un surcoût d'une douzaine d'octets par enregistrement ;
- il y a toujours des enregistrements morts dans une table, une sorte de *fond de roulement*, qui se stabilise quand l'application est en régime stationnaire.

Ces enregistrements sont recyclés à chaque passage de VACUUM.

4.9.0.3 Visibilité

Les index n'ont pas d'information de visibilité. Il est donc nécessaire d'aller vérifier dans la table associée que l'enregistrement trouvé dans l'index est bien visible. Cela a un impact sur le temps d'exécution de requêtes comme `SELECT count (*)` sur une table : dans le cas le plus défavorable,

il est nécessaire d'aller visiter tous les enregistrements pour s'assurer qu'ils sont bien visibles. La *visibility map* permet de limiter cette vérification aux données les plus récentes.

4.9.0.4 Colonnes supprimées

Un `VACUUM` ne s'occupe pas de l'espace libéré par des colonnes supprimées (fragmentation verticale). Un `VACUUM FULL` est nécessaire pour reconstruire la table.

4.9.1 Le problème du wraparound



Wraparound : bouclage d'un compteur

- N° de transactions dans les tables : 32 bits
 - => 4 milliards de transactions
- Et si ça boucle ?
- => `VACUUM FREEZE`
 - autovacuum
 - au pire, d'office

Le numéro de transaction stocké dans les tables de PostgreSQL est sur 32 bits, même si PostgreSQL utilise en interne 64 bits. Il y aura donc dépassement de ce compteur au bout de 4 milliards de transactions. Sur les machines actuelles, cela peut être atteint relativement rapidement.

En fait, ce compteur est cyclique, et toute transaction considère que les 2 milliards de transactions supérieures à la sienne sont dans le futur, et les 2 milliards inférieures dans le passé. Le risque de bouclage est donc plus proche des 2 milliards. Si nous bouclions, de nombreux enregistrements deviendraient invisibles, car validés par des transactions futures. Heureusement PostgreSQL l'empêche. Au fil des versions, la protection est devenue plus efficace.

La parade consiste à « geler » les lignes avec des identifiants de transaction suffisamment anciens. C'est le rôle de l'opération appelée `VACUUM FREEZE`. Ce dernier peut être déclenché manuellement, mais il fait aussi partie des tâches de maintenance habituellement gérées par le démon autovacuum, en bonne partie en même temps que les `VACUUM` habituels. Un `VACUUM FREEZE` n'est pas bloquant, mais les verrous sont parfois plus gênants que lors d'un `VACUUM` simple.

Si cela ne suffit pas, le moteur déclenche automatiquement un `VACUUM FREEZE` quand les tables sont trop âgées, et ce, même si autovacuum est désactivé.

Quand le stock de transactions disponibles descend en dessous de 40 millions (10 millions avant la version 14), des messages d'avertissements apparaissent dans les traces.

Dans le pire des cas, après bien des messages d'avertissements, le moteur refuse toute nouvelle transaction dès que le stock de transactions disponibles se réduit à 3 millions (1 million avant la version 14 ; valeurs codées en dur).

Il faudra alors lancer un `VACUUM FREEZE` manuellement. Ceci ne peut plus arriver qu'exceptionnellement (par exemple si une transaction préparée a été oubliée depuis 2 milliards de transactions et qu'aucune supervision ne l'a détectée).

`VACUUM FREEZE` sera développé dans le module `VACUUM` et `autovacuum`⁵. La documentation officielle⁶ contient aussi un paragraphe sur ce sujet.

⁵https://dali.bo/m5_html

⁶<https://docs.postgresql.fr/current/maintenance.html>

4.10 OPTIMISATIONS DE MVCC



MVCC a été affiné au fil des versions :

- Mise à jour HOT (*Heap-Only Tuples*)
 - si place dans le bloc
 - si aucune colonne indexée modifiée
- *Free Space Map*
- *Visibility Map*

Les améliorations suivantes ont été ajoutées au fil des versions :

- *Heap-Only Tuples* (HOT) s'agit de pouvoir stocker, sous condition, plusieurs versions du même enregistrement dans le même bloc. Ceci permet au fur et à mesure des mises à jour de supprimer automatiquement les anciennes versions, sans besoin de VACUUM. Cela permet aussi de ne pas toucher aux index, qui pointent donc grâce à cela sur plusieurs versions du même enregistrement. Les conditions sont les suivantes :
 - Le bloc contient assez de place pour la nouvelle version (les enregistrements ne sont pas chaînés entre plusieurs blocs). Afin que cette première condition ait plus de chance d'être vérifiée, il peut être utile de baisser la valeur du paramètre `fillfactor` pour une table donnée (cf documentation officielle⁷) ;
 - Aucune colonne indexée n'a été modifiée par l'opération.
- Chaque table possède une *Free Space Map* avec une liste des espaces libres de chaque table. Elle est stockée dans les fichiers `*_fsm` associés à chaque table.
- La *Visibility Map* permet de savoir si l'ensemble des enregistrements d'un bloc est visible. En cas de doute, ou d'enregistrement non visible, le bloc n'est pas marqué comme totalement visible. Cela permet à la phase 1 du traitement de VACUUM de ne plus parcourir toute la table, mais uniquement les enregistrements pour lesquels la *Visibility Map* est à *faux* (des données sont potentiellement obsolètes dans le bloc). À l'inverse, les parcours d'index seuls utilisent cette *Visibility Map* pour savoir s'il faut aller voir les informations de visibilité dans la table. VACUUM repositionne la *Visibility Map* à *vrai* après nettoyage d'un bloc, si tous les enregistrements sont visibles pour toutes les sessions. Enfin, depuis la 9.6, elle repère aussi les bloc entièrement gelés pour accélérer les VACUUM FREEZE.

Toutes ces optimisations visent le même but : rendre VACUUM le moins pénalisant possible, et simplifier la maintenance.

⁷<https://docs.postgresql.fr/current/sql-createtable.html#SQL-CREATETABLE-STORAGE-PARAMETERS>

4.11 VERROUILLAGE ET MVCC



La gestion des verrous est liée à l'implémentation de MVCC

- Verrouillage d'objets en mémoire
- Verrouillage d'objets sur disque
- Paramètres

4.11.1 Le gestionnaire de verrous



PostgreSQL possède un gestionnaire de verrous

- Verrous d'objet
- Niveaux de verrouillage
- Empilement des verrous
- *Deadlock*
- Vue `pg_locks`

Le gestionnaire de verrous de PostgreSQL est capable de gérer des verrous sur des tables, sur des enregistrements, sur des ressources virtuelles. De nombreux types de verrous sont disponibles, chacun entrant en conflit avec d'autres.

Chaque opération doit tout d'abord prendre un verrou sur les objets à manipuler. Si le verrou ne peut être obtenu immédiatement, par défaut PostgreSQL attendra indéfiniment qu'il soit libéré.

Ce verrou en attente peut lui-même imposer une attente à d'autres sessions qui s'intéresseront au même objet. Si ce verrou en attente est bloquant (cas extrême : un `VACUUM FULL` sans `SKIP_LOCKED` lui-même bloqué par une session qui tarde à faire un `COMMIT`), il est possible d'assister à un phénomène d'empilement de verrous en attente.



Les noms des verrous peuvent prêter à confusion : `ROW SHARE` par exemple est un verrou de table, pas un verrou d'enregistrement. Il signifie qu'on a pris un verrou sur une table pour y faire des `SELECT FOR UPDATE` par exemple. Ce verrou est en conflit avec les verrous pris pour un `DROP TABLE`, ou pour un `LOCK TABLE`.

Le gestionnaire de verrous détecte tout verrou mortel (*deadlock*) entre deux sessions. Un *deadlock* est la suite de prise de verrous entraînant le blocage mutuel d'au moins deux sessions, chacune étant en attente d'un des verrous acquis par l'autre.

Il est possible d'accéder aux verrous actuellement utilisés sur une instance par la vue `pg_locks`.

4.11.2 Verrous sur enregistrement



- Le gestionnaire de verrous possède des verrous sur enregistrements
 - transitoires
 - le temps de poser le x_{max}
- Utilisation de verrous sur disque
 - pas de risque de pénurie
- Les verrous entre transaction se font sur leurs ID

Le gestionnaire de verrous fournit des verrous sur enregistrement. Ceux-ci sont utilisés pour verrouiller un enregistrement le temps d'y écrire un x_{max} , puis libérés immédiatement.

Le verrouillage réel est implémenté comme suit :

- D'abord, chaque transaction verrouille son objet « identifiant de transaction » de façon exclusive.
- Une transaction voulant mettre à jour un enregistrement consulte le x_{max} . Si ce x_{max} est celui d'une transaction en cours, elle demande un verrou exclusif sur l'objet « identifiant de transaction » de cette transaction, qui ne lui est naturellement pas accordé. La transaction est donc placée en attente.
- Enfin, quand l'autre transaction possédant le verrou se termine (COMMIT ou ROLLBACK), son verrou sur l'objet « identifiant de transaction » est libéré, débloquent ainsi l'autre transaction, qui peut reprendre son travail.

Ce mécanisme ne nécessite pas un nombre de verrous mémoire proportionnel au nombre d'enregistrements à verrouiller, et simplifie le travail du gestionnaire de verrous, celui-ci ayant un nombre bien plus faible de verrous à gérer.

Le mécanisme exposé ici est évidemment simplifié.

4.11.3 La vue pg_locks



- pg_locks :
 - visualisation des verrous en place
 - tous types de verrous sur objets
- Complexe à interpréter :
 - verrous sur enregistrements pas directement visibles

C'est une vue globale à l'instance.

```
# \d pg_locks
```

Vue « pg_catalog.pg_locks »				
Colonne	Type	Collationnement	NULL-able	...
locktype	text			
database	oid			
relation	oid			
page	integer			
tuple	smallint			
virtualxid	text			
transactionid	xid			
classid	oid			
objid	oid			
objsubid	smallint			
virtualtransaction	text			
pid	integer			
mode	text			
granted	boolean			
fastpath	boolean			
waitstart	timestamp with time zone			

- locktype est le type de verrou, les plus fréquents étant relation (table ou index), transactionid (transaction), virtualxid (transaction virtuelle, utilisée tant qu'une transaction n'a pas eu à modifier de données, donc à stocker des identifiants de transaction dans des enregistrements) ;
- database est la base dans laquelle ce verrou est pris ;
- relation est l'OID de la relation cible si locktype vaut relation (ou page ou tuple) ;
- page est le numéro de la page dans une relation (pour un verrou de type page ou tuple) cible ;
- tuple est le numéro de l'enregistrement cible (quand verrou de type tuple) ;
- virtualxid est le numéro de la transaction virtuelle cible (quand verrou de type virtualxid) ;
- transactionid est le numéro de la transaction cible ;

- `classid` est le numéro d'OID de la classe de l'objet verrouillé (autre que relation) dans `pg_class`. Indique le catalogue système, donc le type d'objet, concerné. Aussi utilisé pour les advisory locks ;
- `objid` est l'OID de l'objet dans le catalogue système pointé par `classid` ;
- `objsubid` correspond à l'ID de la colonne de l'objet `objid` concerné par le verrou ;
- `virtualtransaction` est le numéro de transaction virtuelle possédant le verrou (ou tentant de l'acquérir si `granted` vaut f) ;
- `pid` est le PID (l'identifiant de processus système) de la session possédant le verrou ;
- `mode` est le niveau de verrouillage demandé ;
- `granted` signifie si le verrou est acquis ou non (donc en attente) ;
- `fastpath` correspond à une information utilisée surtout pour le débogage (*fastpath* est le mécanisme d'acquisition des verrous les plus faibles) ;
- `waitstart` indique depuis quand le verrou est en attente.

La plupart des verrous sont de type relation, `transactionid` ou `virtualxid`. Une transaction qui démarre prend un verrou `virtualxid` sur son propre `virtualxid`. Elle acquiert des verrous faibles (ACCESS SHARE) sur tous les objets sur lesquels elle fait des SELECT, afin de garantir que leur structure n'est pas modifiée sur la durée de la transaction. Dès qu'une modification doit être faite, la transaction acquiert un verrou exclusif sur le numéro de transaction qui vient de lui être affecté. Tout objet modifié (table) sera verrouillé avec ROW EXCLUSIVE, afin d'éviter les CREATE INDEX non concurrents, et empêcher aussi les verrouillages manuels de la table en entier (SHARE ROW EXCLUSIVE).

4.11.4 Verrous - Paramètres



- Nombre :
 - `max_locks_per_transaction` (+ paramètres pour la sérialisation)
- Durée :
 - `lock_timeout` (éviter l'empilement des verrous)
 - `deadlock_timeout` (défaut 1 s)
- Trace :
 - `log_lock_waits`

Nombre de verrous :

`max_locks_per_transaction` sert à dimensionner un espace en mémoire partagée destinée aux verrous sur des objets (notamment les tables). Le nombre de verrous est :

`max_locks_per_transaction × max_connections`

ou plutôt, si les transactions préparées sont activées (et `max_prepared_transactions` monté au-delà de 0) :

`max_locks_per_transaction × (max_connections + max_prepared_transactions)`

La valeur par défaut de 64 est largement suffisante la plupart du temps. Il peut arriver qu'il faille le monter, par exemple si l'on utilise énormément de partitions, mais le message d'erreur est explicite.

Le nombre maximum de verrous d'une session n'est pas limité à `max_locks_per_transaction`. C'est une valeur moyenne. Une session peut acquérir autant de verrous qu'elle le souhaite pourvu qu'au total la table de hachage interne soit assez grande. Les verrous de lignes sont stockés sur les lignes et donc potentiellement en nombre infini.

Pour la sérialisation, les verrous de prédicat possèdent des paramètres spécifiques. Pour économiser la mémoire, les verrous peuvent être regroupés par bloc ou relation (voir `pg_locks` pour le niveau de verrouillage). Les paramètres respectifs sont :

- `max_pred_locks_per_transaction` (64 par défaut) ;
- `max_pred_locks_per_page` (par défaut 2, donc 2 lignes verrouillées entraînent le verrouillage de tout le bloc, du moins pour la sérialisation) ;
- `max_pred_locks_per_relation` (voir la documentation⁸ pour les détails).

Durées maximales de verrou :

Si une session attend un verrou depuis plus longtemps que `lock_timeout`, la requête est annulée. Il est courant de poser cela avant un ordre assez intrusif, même bref, sur une base utilisée. Par exemple, il faut éviter qu'un `VACUUM FULL`, s'il est bloqué par une transaction un peu longue, ne bloque lui-même toutes les transactions suivantes (phénomène d'empilement des verrous) :

```
postgres=# SET lock_timeout TO '3s' ;
SET
postgres=# VACUUM FULL t_grosse_table ;
ERROR:  canceling statement due to lock timeout
```

Il faudra bien sûr retenter le `VACUUM FULL` plus tard, mais la production n'est pas bloquée plus de 3 secondes.

PostgreSQL recherche périodiquement les *deadlocks* entre transactions en cours. La périodicité par défaut est de 1 s (paramètre `deadlock_timeout`), ce qui est largement suffisant la plupart du temps : les *deadlocks* sont assez rares, alors que la vérification est quelque chose de coûteux. L'une des transactions est alors arrêtée et annulée, pour que les autres puissent continuer :

```
postgres=# DELETE FROM t_centmille_int WHERE i < 50000;

ERROR:  deadlock detected
DÉTAIL : Process 453259 waits for ShareLock on transaction 3010357;
         blocked by process 453125.
Process 453125 waits for ShareLock on transaction 3010360;
         blocked by process 453259.
ASTUCE : See server log for query details.
CONTEXTE : while deleting tuple (0,1) in relation "t_centmille_int"
```

⁸<https://docs.postgresql.fr/current/runtime-config-locks.html#GUC-MAX-PRED-LOCKS-PER-RELATION>

Trace des verrous :

Pour tracer les attentes de verrous un peu longue, il est fortement conseillé de passer `log_lock_waits` à on (le défaut est off).

Le seuil est également défini par `deadlock_timeout` (1 s par défaut) Ainsi, une session toujours en attente de verrou au-delà de cette durée apparaîtra dans les traces :

```
LOG:  process 457051 still waiting for ShareLock on transaction 35373775
      after 1000.121 ms
DETAIL:  Process holding the lock: 457061. Wait queue: 457051.
CONTEXT:  while deleting tuple (221,55) in relation "t_centmille_int"
STATEMENT:  DELETE FROM t_centmille_int ;
```

S'il ne s'agit pas d'un *deadlock*, la transaction continuera, et le moment où elle obtiendra son verrou sera également tracé :

```
LOG:  process 457051 acquired ShareLock on transaction 35373775 after
      18131.402 ms
CONTEXT:  while deleting tuple (221,55) in relation "t_centmille_int"
STATEMENT:  DELETE FROM t_centmille_int ;
LOG:  duration: 18203.059 ms  statement: DELETE FROM t_centmille_int ;
```


4.12 MÉCANISME TOAST



TOAST : *The Oversized-Attribute Storage Technique*

- Un enregistrement ne peut pas dépasser 8 ko (1 bloc)
- « Contournement » :
 - table de débordement `pg_toast_XXX`
 - masquée
 - transparente
- Jusqu'à 1 Go par champ (déconseillé)
 - texte, JSON, binaire...
- Compression optionnelle :
 - `zlib` : défaut
 - `lz4` (v14+) : généralement plus rapide
- Politiques PLAIN/MAIN/EXTERNAL ou EXTENDED

Principe du TOAST :

Une ligne ne peut déborder d'un bloc, et un bloc fait 8 ko (par défaut). Cela ne suffit pas pour certains champs beaucoup plus longs, comme certains textes, mais aussi des types composés (`json`, `jsonb`, `hstore`), ou binaires (`bytea`), et même `numeric`.

PostgreSQL sait compresser alors les champs, mais ça ne suffit pas forcément non plus. Le mécanisme TOAST s'active alors. Il consiste à déporter le contenu de certains champs d'un enregistrement vers une table système associée à la table principale, gérée de manière transparente pour l'utilisateur. Ce mécanisme permet d'éviter qu'un enregistrement ne dépasse la taille d'un bloc.

Le mécanisme TOAST a d'autres intérêts :

- la partie principale d'une table ayant des champs très longs est moins grosse, alors que les « gros champs » ont moins de chance d'être accédés systématiquement par le code applicatif ;
- ces champs peuvent être compressés de façon transparente, avec souvent de gros gains en place ;
- si un UPDATE ne modifie pas un de ces champs « toastés », la table TOAST n'est pas mise à jour : le pointeur vers l'enregistrement de cette table est juste « cloné » dans la nouvelle version de l'enregistrement.

Politiques de stockage :

Chaque champ possède une propriété de stockage :

```
CREATE TABLE unetable (i int, t text, b bytea, j jsonb);
# \d+ unetable
```

Table « public.unetable »						
Colonne	Type	Col...	NULL-able	Par défaut	Stockage	...
i	integer				plain	
t	text				extended	
b	bytea				extended	
j2	jsonb				extended	

Méthode d'accès : heap

Les différentes politiques de stockage sont :

- PLAIN permettant de stocker uniquement dans la table, sans compression (champs numériques ou dates notamment) ;
- MAIN permettant de stocker dans la table tant que possible, éventuellement compressé (politique rarement utilisée) ;
- EXTERNAL permettant de stocker éventuellement dans la table TOAST, sans compression ;
- EXTENDED permettant de stocker éventuellement dans la table TOAST, éventuellement compressé (cas général des champs texte ou binaire).

Il est rare d'avoir à modifier ce paramétrage, mais cela arrive. Par exemple, certains longs champs (souvent binaires, par exemple du JPEG) se compressent si mal qu'il ne vaut pas la peine de gaspiller du CPU dans cette tâche. Dans le cas extrême où le champ compressé est plus grand que l'original, PostgreSQL revient à la valeur originale, mais là aussi il y a gaspillage. Il peut alors être intéressant de passer de EXTENDED à EXTERNAL, pour un gain de temps parfois non négligeable :

```
ALTER TABLE t1 ALTER COLUMN champ SET STORAGE EXTERNAL ;
```

Lors de ce changement, les données existantes ne sont pas affectées.

Les tables pg_toast_XXX :

À chaque table utilisateur se voit associée une table TOAST, et ce dès sa création si la table possède un champ « toastable ». Les enregistrements y sont stockés en morceaux (*chunks*) d'un peu moins de 2 ko. Tous les champs « toastés » d'une table se retrouvent dans la même table pg_toast_XXX, dans un espace de nommage séparé nommé pg_toast.

Pour l'utilisateur, les tables TOAST sont totalement transparentes. Un développeur doit juste savoir qu'il n'a pas besoin de déporter des champs texte (ou JSON, ou binaires...) imposants dans une table séparée pour des raisons de volumétrie de la table principale : PostgreSQL le fait déjà, et de manière efficace ! Il est également souvent inutile de se donner la peine de compresser les données au niveau applicatif juste pour réduire le stockage.



Le découpage et la compression restent des opérations coûteuses. Il reste déconseillé de stocker des données binaires de grande taille dans une base de données !

La présence de ces tables n'apparaît guère que dans pg_class, par exemple ainsi :

```
SELECT * FROM pg_class c
WHERE c.relname = 'longs_textes'
```

```
OR c.oid = (SELECT reltoastrelid FROM pg_class
            WHERE relname = 'longs_textes');
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
oid          | 16614
relname      | longs_textes
relnamespace | 2200
reltype      | 16616
reloftype    | 0
relowner     | 10
relam        | 2
relfilenode  | 16614
reltablespace | 0
relpages     | 35
reltuples    | 2421
relallvisible | 35
reltoastrelid | 16617
...
-[ RECORD 2 ]-----+-----
oid          | 16617
relname      | pg_toast_16614
relnamespace | 99
reltype      | 16618
reloftype    | 0
relowner     | 10
relam        | 2
relfilenode  | 16617
reltablespace | 0
relpages     | 73161
reltuples    | 293188
relallvisible | 73161
reltoastrelid | 0
...
```

La partie TOAST est une table à part entière, avec une clé primaire. On ne peut ni ne doit y toucher !

```
\d+ pg_toast.pg_toast_16614
```

Table TOAST « pg_toast.pg_toast_16614 »

Colonne	Type	Stockage
chunk_id	oid	plain
chunk_seq	integer	plain
chunk_data	bytea	plain

Table propriétaire : « public.textes_comp »

Index :

"pg_toast_16614_index" PRIMARY KEY, btree (chunk_id, chunk_seq)

Méthode d'accès : heap

L'index est toujours utilisé pour accéder aux *chunks*.

La volumétrie des différents éléments (partie principale, TOAST, index éventuels) peut se calculer grâce à cette requête dérivée du wiki⁹ :

⁹https://wiki.postgresql.org/wiki/Disk_Usage

SELECT

```

oid AS table_oid,
c.relnamespace::regnamespace || '.' || relname AS TABLE,
reltoastrelid,
reltoastrelid::regclass::text AS table_toast,
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(reltoastrelid)) AS " Toast (PK)",
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 = 'longs_textes'
\gx

```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
table_oid      | 16614
table          | public.longs_textes
reltoastrelid  | 16617
table_toast    | pg_toast.pg_toast_16614
nb_lignes_estimees | 2421
 Table (dont TOAST) | 578 MB
   Heap          | 280 kB
   Toast         | 572 MB
   Toast (PK)    | 6448 kB
   Index         | 560 kB
Total          | 579 MB

```

La taille des index sur les champs susceptibles d'être toastés est comptabilisée avec tous les index de la table (la clé primaire de la table TOAST est à part).

Les tables TOAST restent forcément dans le même tablespace que la table principale. Leur maintenance (notamment le nettoyage par autovacuum) s'effectue en même temps que la table principale, comme le montre un VACUUM VERBOSE.

Détails du mécanisme TOAST :

Les détails techniques du mécanisme TOAST sont dans la documentation officielle¹⁰. En résumé, le mécanisme TOAST est déclenché sur un enregistrement quand la taille d'un enregistrement dépasse 2 ko. Les champs « toastables » peuvent alors être compressés pour que la taille de l'enregistrement redescende en-dessous de 2 ko. Si cela ne suffit pas, des champs sont alors découpés et déportés vers la table TOAST. Dans ces champs de la table principale, l'enregistrement ne contient plus qu'un pointeur vers la table TOAST associée.

Un champ MAIN peut tout de même être stocké dans la table TOAST, si l'enregistrement dépasse 2 ko : mieux vaut « toaster » que d'empêcher l'insertion.

Cette valeur de 2 ko convient généralement. Au besoin, on peut l'augmenter (à partir de la version 11) en utilisant le paramètre de stockage toast_tuple_target ainsi :

```
ALTER TABLE t1 SET (toast_tuple_target = 3000);
```

¹⁰<https://doc.postgresql.fr/current/storage-toast.html>

mais cela est rarement utile.

Compression pgls vs lz4 :

Depuis la version 14, il est possible de modifier l'algorithme de compression. Ceci est défini par le nouveau paramètre `default_toast_compression` dont la valeur par défaut est :

```
=# SHOW default_toast_compression ;  
  
default_toast_compression  
-----  
pglz
```

c'est-à-dire que PostgreSQL utilise la `zlib`, seule compression disponible jusqu'en version 13 incluse.

À partir de la version 14, il est souvent préférable d'utiliser `Lz4`, un nouvel algorithme, si PostgreSQL a été compilé avec la bibliothèque du même nom (c'est le cas des paquets distribués par le PGDG). L'activation demande soit de modifier la valeur par défaut dans `postgresql.conf` :

```
default_toast_compression = lz4
```

soit de déclarer la méthode de compression à la création de la table :

```
CREATE TABLE t1 (  
  c1 bigint GENERATED ALWAYS AS identity,  
  c2 text    COMPRESSION lz4  
);
```

soit après coup :

```
ALTER TABLE t1 ALTER c2 SET COMPRESSION lz4 ;
```

De manière générale, l'algorithme `Lz4` ne compresse pas mieux les données courantes que `pglz`, mais cela dépend des usages. Surtout, `Lz4` est **beaucoup** plus rapide à compresser, et parfois à décompresser.

Par exemple, il peut accélérer une restauration logique avec beaucoup de données toastées et compressées. Si `Lz4` n'a pas été activé par défaut, il peut être utilisé dès le chargement :

```
$ PGOPTIONS='-c default_toast_compression=lz4' pg_restore ...
```



`Lz4` est l'option à conseiller, même si, en toute rigueur, l'arbitrage entre consommations CPU en écriture ou lecture et place disque ne peut se faire qu'en testant soigneusement avec les données réelles.

Une table TOAST peut contenir un mélange de lignes compressées de manière différentes. En effet, l'utilisation `SET COMPRESSION` sur une colonne préexistante ne recomprime pas les données de la table TOAST. De plus, pendant une requête, des données toastées lues par une requête, puis réinsérées sans être modifiées, sont recopiées vers les champs cibles telles quelles, sans étapes de décompression/recompression, et ce même si la compression de la cible est différente. Il existe une fonction

`pg_column_compression (nom_colonne)` pour consulter la compression d'un champ sur la ligne concernée.

Pour forcer la recompression de toutes les données d'une colonne, il faut modifier leur contenu, ce qui n'est pas forcément intéressant.

4.13 CONCLUSION



- PostgreSQL dispose d'une implémentation MVCC complète, permettant :
 - que les lecteurs ne bloquent pas les écrivains
 - que les écrivains ne bloquent pas les lecteurs
 - que les verrous en mémoire soient d'un nombre limité
- Cela impose par contre une mécanique un peu complexe, dont les parties visibles sont la commande VACUUM et le processus d'arrière-plan autovacuum.

4.13.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

4.14 QUIZ



https://dali.bo/m4_quiz

4.15 TRAVAUX PRATIQUES

4.15.1 Niveaux d'isolation READ COMMITTED et REPEATABLE READ



But : Découvrir les niveaux d'isolation

Créer une nouvelle base de données nommée **b2**.

Dans la base de données **b2**, créer une table **t1** avec deux colonnes **c1** de type `integer` et **c2** de type `text`.

Insérer 5 lignes dans table **t1** avec des valeurs de (1, 'un') à (5, 'cinq').

Ouvrir une transaction.

Lire les données de la table **t1**.

Depuis une autre session, mettre en majuscules le texte de la troisième ligne de la table **t1**.

Revenir à la première session et lire de nouveau toute la table **t1**.

Fermer la transaction et ouvrir une nouvelle transaction, cette fois-ci en `REPEATABLE READ`.

Lire les données de la table **t1**.

Depuis une autre session, mettre en majuscules le texte de la quatrième ligne de la table **t1**.

Revenir à la première session et lire de nouveau les données de la table **t1**. Que s'est-il passé ?

4.15.2 Niveau d'isolation SERIALIZABLE (Optionnel)



But : Découvrir le niveau d'isolation *serializable*

Une table de comptes bancaires contient 1000 clients, chacun avec 3 lignes de crédit et 600 € au total :

```

CREATE TABLE mouvements_comptes
(client int,
 mouvement numeric NOT NULL DEFAULT 0
);
CREATE INDEX on mouvements_comptes (client) ;

-- 3 clients, 3 lignes de +100, +200, +300 €
INSERT INTO mouvements_comptes (client, mouvement)
SELECT i, j * 100
FROM generate_series(1, 1000) i
CROSS JOIN generate_series(1, 3) j ;

```

Chaque mouvement donne lieu à une ligne de crédit ou de débit. Une ligne de crédit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement positive. Une ligne de débit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement négative. **Nous exigeons que le client ait toujours un solde positif.** Chaque opération bancaire se déroulera donc dans une transaction, qui se terminera par l'appel à cette procédure de test :

```

CREATE PROCEDURE verifie_solde_positif (p_client int)
LANGUAGE plpgsql
AS $$
DECLARE
    solde numeric ;
BEGIN
    SELECT round(sum (mouvement), 0)
    INTO solde
    FROM mouvements_comptes
    WHERE client = p_client ;
    IF solde < 0 THEN
        -- Erreur fatale
        RAISE EXCEPTION 'Client % - Solde négatif : % !', p_client, solde ;
    ELSE
        -- Simple message
        RAISE NOTICE 'Client % - Solde positif : %', p_client, solde ;
    END IF ;
END ;
$$ ;

```

Au sein de trois transactions successives :

- insérer successivement 3 mouvements de **débit** de 300 € pour le client **1**
- chaque transaction doit finir par `CALL verifie_solde_positif (1);` avant le `COMMIT`
- la sécurité fonctionne-t-elle ?

Pour le client **2**, ouvrir deux transactions en parallèle :

- dans chacune, procéder à retrait de 500 €;
- dans chacune, appeler `CALL verifie_solde_positif (2);`
- dans chacune, valider la transaction ;
- la règle du solde positif est-elle respectée ?

- Reproduire avec le client **3** le même scénario de deux débits parallèles de 500 €, mais avec des transactions sérialisables : (BEGIN TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE).
- Avant chaque COMMIT, consulter la vue pg_locks pour la table mouvements_comptes :

```
SELECT locktype, mode, pid, granted FROM pg_locks
WHERE relation = (SELECT oid FROM pg_class WHERE relname = 'mouvements_comptes')
↵ ;
```

4.15.3 Effets de MVCC



But : Voir l'effet du MVCC dans les lignes

Créer une nouvelle table t2 avec deux colonnes : un entier et un texte.

Insérer 5 lignes dans la table t2, de (1, 'un') à (5, 'cinq').

Lire les données de la table t2.

Commencer une transaction. Mettre en majuscules le texte de la troisième ligne de la table t2.

Lire les données de la table t2. Que faut-il remarquer ?

Ouvrir une autre session et lire les données de la table t2. Que faut-il observer ?

Afficher xmin et xmax lors de la lecture des données de la table t2, dans chaque session.

Récupérer maintenant en plus le ctid lors de la lecture des données de la table t2, dans chaque session.

Valider la transaction.

Installer l'extension pageinspect.

La documentation^a indique comment décoder le contenu du bloc 0 de la table t2 :

```
SELECT * FROM heap_page_items(get_raw_page('t2', 0)) ;
```

Que faut-il remarquer ?

^a<https://docs.postgresql.fr/current/pageinspect.html>

- Lancer VACUUM sur t2.
- Relancer la requête avec pageinspect.
- Comment est réorganisé le bloc ?

Pourquoi l'autovacuum n'a-t-il pas nettoyé encore la table ?

4.15.4 Verrous



But : Trouver des verrous

Ouvrir une transaction et lire les données de la table t1. Ne pas terminer la transaction.

Ouvrir une autre transaction, et tenter de supprimer la table t1.

Lister les processus du serveur PostgreSQL. Que faut-il remarquer ?

Depuis une troisième session, récupérer la liste des sessions en attente avec la vue pg_stat_activity.

Récupérer la liste des verrous en attente pour la requête bloquée.

Récupérer le nom de l'objet dont le verrou n'est pas récupéré.

Récupérer la liste des verrous sur cet objet. Quel processus a verrouillé la table t1 ?

Retrouver les informations sur la session bloquante.

Retrouver cette information avec la fonction `pg_blocking_pids`.

Détruire la session bloquant le `DROP TABLE`.

Pour créer un verrou, effectuer un `LOCK TABLE` dans une transaction qu'il faudra laisser ouverte.

Construire une vue `pg_show_locks` basée sur `pg_stat_activity`, `pg_locks`, `pg_class` qui permette de connaître à tout moment l'état des verrous en cours sur la base : processus, nom de l'utilisateur, âge de la transaction, table verrouillée, type de verrou.

4.16 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

4.16.1 Niveaux d'isolation READ COMMITTED et REPEATABLE READ

Créer une nouvelle base de données nommée **b2**.

```
$ createdb b2
```

Dans la base de données **b2**, créer une table **t1** avec deux colonnes **c1** de type integer et **c2** de type text.

```
CREATE TABLE t1 (c1 integer, c2 text);
```

```
CREATE TABLE
```

Insérer 5 lignes dans table **t1** avec des valeurs de (1, 'un') à (5, 'cinq').

```
INSERT INTO t1 (c1, c2) VALUES  
(1, 'un'), (2, 'deux'), (3, 'trois'), (4, 'quatre'), (5, 'cinq');
```

```
INSERT 0 5
```

Ouvrir une transaction.

```
BEGIN;
```

```
BEGIN
```

Lire les données de la table **t1**.

```
SELECT * FROM t1;
```

c1	c2
1	un
2	deux
3	trois
4	quatre
5	cinq

Depuis une autre session, mettre en majuscules le texte de la troisième ligne de la table **t1**.

```
UPDATE t1 SET c2 = upper(c2) WHERE c1 = 3;
```

```
UPDATE 1
```

Revenir à la première session et lire de nouveau toute la table **t1**.

```
SELECT * FROM t1;
```

c1	c2
1	un
2	deux
4	quatre
5	cinq
3	TROIS

Les modifications réalisées par la deuxième transaction sont immédiatement visibles par la première transaction. C'est le cas des transactions en niveau d'isolation READ COMMITED.

Fermer la transaction et ouvrir une nouvelle transaction, cette fois-ci en REPEATABLE READ.

ROLLBACK;

ROLLBACK;

BEGIN ISOLATION LEVEL REPEATABLE READ;

BEGIN

Lire les données de la table t1.

SELECT * FROM t1;

c1	c2
1	un
2	deux
4	quatre
5	cinq
3	TROIS

Depuis une autre session, mettre en majuscules le texte de la quatrième ligne de la table t1.

UPDATE t1 **SET** c2 = upper(c2) **WHERE** c1 = 4;

UPDATE 1

Revenir à la première session et lire de nouveau les données de la table t1. Que s'est-il passé ?

SELECT * FROM t1;

c1	c2
1	un
2	deux
4	quatre
5	cinq
3	TROIS

En niveau d'isolation REPEATABLE READ, la transaction est certaine de ne pas voir les modifications réalisées par d'autres transactions (à partir de la première lecture de la table).

4.16.2 Niveau d'isolation SERIALIZABLE (Optionnel)

Une table de comptes bancaires contient 1000 clients, chacun avec 3 lignes de crédit et 600 € au total :

```
CREATE TABLE mouvements_comptes
(client int,
 mouvement numeric NOT NULL DEFAULT 0
);
CREATE INDEX on mouvements_comptes (client) ;

-- 3 clients, 3 lignes de +100, +200, +300 €
INSERT INTO mouvements_comptes (client, mouvement)
SELECT i, j * 100
FROM generate_series(1, 1000) i
CROSS JOIN generate_series(1, 3) j ;
```

Chaque mouvement donne lieu à une ligne de crédit ou de débit. Une ligne de crédit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement positive. Une ligne de débit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement négative. **Nous exigeons que le client ait toujours un solde positif.** Chaque opération bancaire se déroulera donc dans une transaction, qui se terminera par l'appel à cette procédure de test :

```
CREATE PROCEDURE verifie_solde_positif (p_client int)
LANGUAGE plpgsql
AS $$
DECLARE
    solde numeric ;
BEGIN
    SELECT round(sum (mouvement), 0)
    INTO solde
    FROM mouvements_comptes
    WHERE client = p_client ;
    IF solde < 0 THEN
        -- Erreur fatale
        RAISE EXCEPTION 'Client % - Solde négatif : % !', p_client, solde ;
    ELSE
        -- Simple message
        RAISE NOTICE 'Client % - Solde positif : %', p_client, solde ;
    END IF ;
END ;
$$ ;
```

Une table de comptes bancaires contient 1000 clients, chacun avec 3 lignes de crédit et 600 € au total :

```
CREATE TABLE mouvements_comptes
(client int,
 mouvement numeric NOT NULL DEFAULT 0
);
CREATE INDEX on mouvements_comptes (client) ;

-- 3 clients, 3 lignes de +100, +200, +300 €
INSERT INTO mouvements_comptes (client, mouvement)
SELECT i, j * 100
```



```
FROM generate_series(1, 1000) i
CROSS JOIN generate_series(1, 3) j ;
```

Chaque mouvement donne lieu à une ligne de crédit ou de débit. Une ligne de crédit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement positive. Une ligne de débit correspondra à l'insertion d'une ligne avec une valeur mouvement négative. **Nous exigeons que le client ait toujours un solde positif.** Chaque opération bancaire se déroulera donc dans une transaction, qui se terminera par l'appel à cette procédure de test :

```
CREATE PROCEDURE verifie_solde_positif (p_client int)
LANGUAGE plpgsql
AS $$
DECLARE
    solde numeric ;
BEGIN
    SELECT round(sum (mouvement), 0)
    INTO solde
    FROM mouvements_comptes
    WHERE client = p_client ;
    IF solde < 0 THEN
        -- Erreur fatale
        RAISE EXCEPTION 'Client % - Solde négatif : % !', p_client, solde ;
    ELSE
        -- Simple message
        RAISE NOTICE 'Client % - Solde positif : %', p_client, solde ;
    END IF ;
END ;
$$ ;
```

Au sein de trois transactions successives :

- insérer successivement 3 mouvements de **débit** de 300 € pour le client **1**
- chaque transaction doit finir par `CALL verifie_solde_positif (1);` avant le `COMMIT`
- la sécurité fonctionne-t-elle ?

Ce client a bien 600 € :

```
SELECT * FROM mouvements_comptes WHERE client = 1 ;
```

client	mouvement
1	100
1	200
1	300

Première transaction :

```
BEGIN ;
INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) VALUES (1, -300) ;
CALL verifie_solde_positif (1) ;
```

```
NOTICE: Client 1 - Solde positif : 300
CALL
```

COMMIT ;

Lors d'une seconde transaction : les mêmes ordres renvoient :

NOTICE: Client 1 - Solde positif : 0

Avec le troisième débit :

BEGIN ;

INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) **VALUES** (1, -300) ;

CALL verifie_solde_positif (1) ;

ERROR: Client 1 - Solde négatif : -300 !

CONTEXTE : PL/pgSQL function verifie_solde_positif(integer) line 11 at RAISE

La transaction est annulée : il est interdit de retirer plus d'argent qu'il n'y en a.

Pour le client 2, ouvrir deux transactions en parallèle :

- dans chacune, procéder à retrait de 500 €;
- dans chacune, appeler **CALL verifie_solde_positif (2)**;
- dans chacune, valider la transaction ;
- la règle du solde positif est-elle respectée ?

Chaque transaction va donc se dérouler dans une session différente.

Première transaction :

BEGIN ; *--session 1*

INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) **VALUES** (2, -500) ;

CALL verifie_solde_positif (2) ;

NOTICE: Client 2 - Solde positif : 100

On ne commite pas encore.

Dans la deuxième session, il se passe exactement la même chose :

BEGIN ; *--session 2*

INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) **VALUES** (2, -500) ;

CALL verifie_solde_positif (2) ;

NOTICE: Client 2 - Solde positif : 100

En effet, cette deuxième session ne voit pas encore le débit de la première session.

Les deux tests étant concluants, les deux sessions committent :

COMMIT ; *--session 1*

COMMIT

COMMIT ; *--session 2*

COMMIT

Au final, le solde est négatif, ce qui est pourtant strictement interdit !

```
CALL verifie_solde_positif (2) ;
```

ERROR: Client 2 - Solde négatif : -400 !

CONTEXTE : PL/pgSQL function verifie_solde_positif(integer) line 11 at RAISE

Les deux sessions en parallèle sont donc un moyen de contourner la sécurité, qui porte sur le résultat d'un ensemble de lignes, et non juste sur la ligne concernée.

- Reproduire avec le client **3** le même scénario de deux débits parallèles de 500 €, mais avec des transactions sérialisables : (BEGIN TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE).
- Avant chaque COMMIT, consulter la vue pg_locks pour la table mouvements_comptes:

```
SELECT locktype, mode, pid, granted FROM pg_locks
WHERE relation = (SELECT oid FROM pg_class WHERE relname = 'mouvements_comptes')
↵ ;
```

Première session :

```
BEGIN TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE ;
INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) VALUES (3, -500) ;
CALL verifie_solde_positif (3) ;
```

NOTICE: Client 3 - Solde positif : 100

On ne committe pas encore.

Deuxième session :

```
BEGIN TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE ;
INSERT INTO mouvements_comptes(client, mouvement) VALUES (3, -500) ;
CALL verifie_solde_positif (3) ;
```

NOTICE: Client 3 - Solde positif : 100

Les verrous en place sont les suivants :

```
SELECT locktype, mode, pid, granted
FROM pg_locks
WHERE relation = (SELECT oid FROM pg_class WHERE relname = 'mouvements_comptes') ;
```

locktype	mode	pid	granted
relation	AccessShareLock	28304	t
relation	RowExclusiveLock	28304	t
relation	AccessShareLock	28358	t
relation	RowExclusiveLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t

SIReadLock est un verrou lié à la sérialisation : noter qu'il porte sur des lignes, portées par les deux sessions. AccessShareLock empêche surtout de supprimer la table. RowExclusiveLock est un verrou de ligne.

Validation de la première session :

```
COMMIT ;
```

```
COMMIT
```

Dans les verrous, il subsiste toujours les verrous SIReadLock de la session de PID 28304, qui a pourtant committé :

```
SELECT locktype, mode, pid, granted
FROM   pg_locks
WHERE  relation = (SELECT oid FROM pg_class WHERE relname = 'mouvements_comptes') ;
```

locktype	mode	pid	granted
relation	AccessShareLock	28358	t
relation	RowExclusiveLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t
tuple	SIReadLock	28358	t
tuple	SIReadLock	28304	t

Tentative de validation de la seconde session :

```
COMMIT ;
```

```
ERROR:  could not serialize access due to read/write dependencies among transactions
DÉTAIL : Reason code: Canceled on identification as a pivot, during commit attempt.
ASTUCE : The transaction might succeed if retried.
```

La transaction est annulée pour erreur de sérialisation. En effet, le calcul effectué pendant la seconde transaction n'est plus valable puisque la première a modifié les lignes qu'elle a lues.

La transaction annulée doit être rejouée de zéro, et elle tombera alors bien en erreur.

4.16.3 Effets de MVCC

Créer une nouvelle table `t2` avec deux colonnes : un entier et un texte.

```
CREATE TABLE t2 (i int, t text) ;
```

```
CREATE TABLE
```

Insérer 5 lignes dans la table `t2`, de (1, 'un') à (5, 'cinq').

```
INSERT INTO t2(i, t)
VALUES
(1, 'un'), (2, 'deux'), (3, 'trois'), (4, 'quatre'), (5, 'cinq');
INSERT 0 5
```

Lire les données de la table `t2`.

```
SELECT * FROM t2;
```

i	t
1	un
2	deux
3	trois
4	quatre
5	cinq

Commencer une transaction. Mettre en majuscules le texte de la troisième ligne de la table `t2`.

```
BEGIN ;
UPDATE t2 SET t = upper(t) WHERE i = 3;
```

```
UPDATE 1
```

Lire les données de la table `t2`. Que faut-il remarquer ?

```
SELECT * FROM t2;
```

i	t
1	un
2	deux
4	quatre
5	cinq
3	TROIS

La ligne mise à jour n'apparaît plus, ce qui est normal. Elle apparaît en fin de table. En effet, quand un `UPDATE` est exécuté, la ligne courante est considérée comme morte et une nouvelle ligne est ajoutée, avec les valeurs modifiées. Comme nous n'avons pas demandé de récupérer les résultats dans un certain ordre (pas d'`ORDER BY`), les lignes sont simplement affichées dans leur ordre de stockage dans les blocs de la table.

Ouvrir une autre session et lire les données de la table t2. Que faut-il observer ?

```
SELECT * FROM t2;
```

i	t
1	un
2	deux
3	trois
4	quatre
5	cinq

L'ordre des lignes en retour n'est pas le même. Les autres sessions voient toujours l'ancienne version de la ligne 3, puisque la transaction n'a pas encore été validée.

Afficher xmin et xmax lors de la lecture des données de la table t2, dans chaque session.

Voici ce que renvoie la session qui a fait la modification :

```
SELECT xmin, xmax, * FROM t2;
```

xmin	xmax	i	t
753	0	1	un
753	0	2	deux
753	0	4	quatre
753	0	5	cinq
754	0	3	TROIS

Et voici ce que renvoie l'autre session :

```
SELECT xmin, xmax, * FROM t2;
```

xmin	xmax	i	t
753	0	1	un
753	0	2	deux
753	754	3	trois
753	0	4	quatre
753	0	5	cinq

La transaction 754 est celle qui a réalisé la modification. La colonne xmin de la nouvelle version de ligne contient ce numéro. De même pour la colonne xmax de l'ancienne version de ligne. PostgreSQL se base sur cette information pour savoir si telle transaction peut lire telle ou telle ligne.

Récupérer maintenant en plus le ctid lors de la lecture des données de la table t2, dans chaque session.

Voici ce que renvoie la session qui a fait la modification :

```
SELECT ctid, xmin, xmax, * FROM t2;
```

ctid	xmin	xmax	i	t
(0,1)	753	0	1	un
(0,2)	753	0	2	deux
(0,4)	753	0	4	quatre
(0,5)	753	0	5	cinq
(0,6)	754	0	3	TROIS

Et voici ce que renvoie l'autre session :

```
SELECT ctid, xmin, xmax, * FROM t2 ;
```

ctid	xmin	xmax	i	t
(0,1)	753	0	1	un
(0,2)	753	0	2	deux
(0,3)	753	754	3	trois
(0,4)	753	0	4	quatre
(0,5)	753	0	5	cinq

La colonne `ctid` contient une paire d'entiers. Le premier indique le numéro de bloc, le second le numéro de l'enregistrement dans le bloc. Autrement dit, elle précise la position de l'enregistrement sur le fichier de la table.

En récupérant cette colonne, nous voyons que la première session voit la nouvelle position (enregistrement 6 du bloc 0) car elle est dans la transaction 754. Mais pour la deuxième session, cette nouvelle transaction n'est pas validée, donc l'information d'effacement de la ligne 3 n'est pas prise en compte, et on la voit toujours.

Valider la transaction.

```
COMMIT;
```

```
COMMIT
```

Installer l'extension `pageinspect`.

```
CREATE EXTENSION pageinspect ;
```

```
CREATE EXTENSION
```

La documentation^a indique comment décoder le contenu du bloc 0 de la table `t2` :

```
SELECT * FROM heap_page_items(get_raw_page('t2', 0)) ;
```

Que faut-il remarquer ?

^a<https://docs.postgresql.fr/current/pageinspect.html>

Cette table est assez petite pour tenir dans le bloc 0 toute entière. `pageinspect` nous fournit le détail de ce qu'il y a dans les lignes (la sortie est coupée en deux pour l'affichage) :

```
SELECT * FROM heap_page_items(get_raw_page('t2', 0)) ;
```

lp	lp_off	lp_flags	lp_len	t_xmin	t_xmax	t_field3	t_ctid
1	8160	1	31	753	0	0	(0,1)
2	8120	1	33	753	0	0	(0,2)
3	8080	1	34	753	754	0	(0,6)
4	8040	1	35	753	0	0	(0,4)
5	8000	1	33	753	0	0	(0,5)
6	7960	1	34	754	0	0	(0,6)
lp	t_infomask2	t_infomask	t_hoff	t_bits	t_oid	t_data	
1	2	2306	24			\x0100000007756e	
2	2	2306	24			\x020000000b64657578	
3	16386	258	24			\x030000000d74726f6973	
4	2	2306	24			\x040000000f717561747265	
5	2	2306	24			\x050000000b63696e71	
6	32770	10242	24			\x030000000d54524f4953	

Tous les champs ne sont pas immédiatement compréhensibles, mais on peut lire facilement ceci :

- Les six lignes sont bien présentes, dont les deux versions de la ligne 3 ;
- Le `t_ctid` de l'ancienne ligne ne contient plus (0, 3) mais l'adresse de la nouvelle ligne (soit (0, 6)).

Mais encore :

- Les lignes sont stockées à rebours depuis la fin du bloc : la première a un *offset* de 8160 octets depuis le début, la dernière est à seulement 7960 octets du début ;
- la longueur de la ligne est indiquée par le champ `lp_len` : la ligne 4 est la plus longue ;
- `t_infomask2` est un champ de bits : la valeur 16386 pour l'ancienne version nous indique que le changement a eu lieu en utilisant la technologie HOT (la nouvelle version de la ligne est maintenue dans le même bloc et un chaînage depuis l'ancienne est effectué) ;
- le champ `t_data` contient les valeurs de la ligne : nous devinons `i` au début (01 à 05), et la fin correspond aux chaînes de caractères, précédée d'un octet lié à la taille.

La signification de tous les champs n'est pas dans la documentation mais se trouve dans le code de PostgreSQL¹¹.

- Lancer `VACUUM` sur `t2`.
- Relancer la requête avec `pageinspect`.
- Comment est réorganisé le bloc ?

```
VACUUM (VERBOSE) t2 ;
```

```
INFO:  vacuuming "postgres.public.t2"
```

```
...
```

```
tuples: 1 removed, 5 remain, 0 are dead but not yet removable
```

```
...
```

```
VACUUM
```

Une seule ligne a bien été nettoyée. La requête suivante nous montre qu'elle a bien disparu :

```
SELECT * FROM heap_page_items(get_raw_page('t2', 0)) ;
```

¹¹https://doxygen.postgresql.org/itemid_8h_source.html

lp	lp_off	lp_flags	...	t_ctid	...	t_data
1	8160	1		(0,1)		\x0100000007756e
2	8120	1		(0,2)		\x020000000b64657578
3	6	2				
4	8080	1		(0,4)		\x040000000f717561747265
5	8040	1		(0,5)		\x050000000b63696e71
6	8000	1		(0,6)		\x030000000d54524f4953

La 3^e ligne ici a été remplacée par un simple pointeur sur la nouvelle version de la ligne dans le bloc (mise à jour HOT).

On peut aussi remarquer que les lignes non modifiées ont été réorganisées dans le bloc : là où se trouvait l'ancienne version de la 3^e ligne (à 8080 octets du début de bloc) se trouve à présent la 4^e. Le VACUUM opère ainsi une défragmentation des blocs qu'il nettoie.

Pourquoi l'autovacuum n'a-t-il pas nettoyé encore la table ?

Le vacuum ne se déclenche qu'à partir d'un certain nombre de lignes modifiées ou effacées (50 + 20% de la table par défaut). On est encore très loin de ce seuil avec cette très petite table.

4.16.4 Verrous

Ouvrir une transaction et lire les données de la table t1. Ne pas terminer la transaction.

```
BEGIN;
SELECT * FROM t1;
```

c1	c2
1	un
2	deux
3	TROIS
4	QUATRE
5	CINQ

Ouvrir une autre transaction, et tenter de supprimer la table t1.

```
DROP TABLE t1;
```

La suppression semble bloquée.

Lister les processus du serveur PostgreSQL. Que faut-il remarquer ?

En tant qu'utilisateur système postgres :

```
$ ps -o pid,cmd fx
  PID CMD
 2657 -bash
 2693 \_ psql
 2431 -bash
 2622 \_ psql
 2728 \_ ps -o pid,cmd fx
 2415 /usr/pgsql-15/bin/postmaster -D /var/lib/pgsql/15/data/
 2417 \_ postgres: logger
 2419 \_ postgres: checkpointer
 2420 \_ postgres: background writer
 2421 \_ postgres: walwriter
 2422 \_ postgres: autovacuum launcher
 2424 \_ postgres: logical replication launcher
 2718 \_ postgres: postgres b2 [local] DROP TABLE waiting
 2719 \_ postgres: postgres b2 [local] idle in transaction
```

La ligne intéressante est la ligne du DROP TABLE. Elle contient le mot clé waiting. Ce dernier indique que l'exécution de la requête est en attente d'un verrou sur un objet.

Depuis une troisième session, récupérer la liste des sessions en attente avec la vue pg_stat_activity.

```
\x
```

Expanded display is on.

```
SELECT * FROM pg_stat_activity
WHERE application_name='psql' AND wait_event IS NOT NULL;
```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
datid          | 16387
datname        | b2
pid            | 2718
usesysid       | 10
username       | postgres
application_name | psql
client_addr    |
client_hostname |
client_port    | -1
backend_start  | 2018-11-02 15:56:45.38342+00
xact_start     | 2018-11-02 15:57:32.82511+00
query_start    | 2018-11-02 15:57:32.82511+00
state_change   | 2018-11-02 15:57:32.825112+00
wait_event_type | Lock
wait_event     | relation
state          | active
backend_xid    | 575
backend_xmin   | 575
query_id       |
query          | drop table t1 ;
backend_type   | client backend
-[ RECORD 2 ]-----+-----
datid          | 16387
datname        | b2
pid            | 2719
usesysid       | 10
username       | postgres
application_name | psql
client_addr    |
client_hostname |
client_port    | -1
backend_start  | 2018-11-02 15:56:17.173784+00
xact_start     | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
query_start    | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
state_change   | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
wait_event_type | Client
wait_event     | ClientRead
state          | idle in transaction
backend_xid    |
backend_xmin   |
query_id       |
query          | SELECT * FROM t1;
backend_type   | client backend

```

Récupérer la liste des verrous en attente pour la requête bloquée.

```
SELECT * FROM pg_locks WHERE pid = 2718 AND NOT granted;
```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
locktype       | relation
database       | 16387
relation       | 16394
page           |
tuple          |
virtualxid     |

```

transactionid	
classid	
objid	
objsubid	
virtualtransaction	5/7
pid	2718
mode	AccessExclusiveLock
granted	f
fastpath	f
waitstart	

Récupérer le nom de l'objet dont le verrou n'est pas récupéré.

```
SELECT relname FROM pg_class WHERE oid=16394;
```

```
-[ RECORD 1 ]
relname | t1
```

Noter que l'objet n'est visible dans pg_class que si l'on est dans la même base de données que lui. D'autre part, la colonne oid des tables systèmes n'est pas visible par défaut dans les versions antérieures à la 12, il faut demander explicitement son affichage pour la voir.

Récupérer la liste des verrous sur cet objet. Quel processus a verrouillé la table t1 ?

```
SELECT * FROM pg_locks WHERE relation = 16394;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
locktype      | relation
database      | 16387
relation      | 16394
page          |
tuple         |
virtualxid     |
transactionid  |
classid       |
objid         |
objsubid      |
virtualtransaction | 4/10
pid           | 2719
mode          | AccessShareLock
granted       | t
fastpath      | f
waitstart     |
-[ RECORD 2 ]-----+-----
locktype      | relation
database      | 16387
relation      | 16394
page          |
tuple         |
virtualxid     |
transactionid  |
classid       |
objid         |
objsubid      |
virtualtransaction | 5/7
```

```

pid          | 2718
mode         | AccessExclusiveLock
granted      | f
fastpath     | f
waitstart    |

```

Le processus de PID 2718 (le DROP TABLE) demande un verrou exclusif sur t1, mais ce verrou n'est pas encore accordé (granted est à false). La session idle in transaction a acquis un verrou Access Share, normalement peu gênant, qui n'entre en conflit qu'avec les verrous exclusifs.

[Retrouver les informations sur la session bloquante.](#)

On retrouve les informations déjà affichées :

```
SELECT * FROM pg_stat_activity WHERE pid = 2719;
```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
datid          | 16387
datname        | b2
pid            | 2719
usesysid       | 10
username       | postgres
application_name | psql
client_addr    |
client_hostname |
client_port    | -1
backend_start  | 2018-11-02 15:56:17.173784+00
xact_start     | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
query_start    | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
state_change   | 2018-11-02 15:57:25.311573+00
wait_event_type | Client
wait_event     | ClientRead
state          | idle in transaction
backend_xid     |
backend_xmin    |
query_id       |
query          | SELECT * FROM t1;
backend_type    | client backend

```

[Retrouver cette information avec la fonction pg_blocking_pids.](#)

Il existe une fonction pratique indiquant quelles sessions bloquent une autre. En l'occurrence, notre DROP TABLE t1 est bloqué par :

```
SELECT pg_blocking_pids(2718);
```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
pg_blocking_pids | {2719}

```

Potentiellement, la session pourrait attendre la levée de plusieurs verrous de différentes sessions.

[Détruire la session bloquant le DROP TABLE.](#)

À partir de là, il est possible d'annuler l'exécution de l'ordre bloqué, le `DROP TABLE`, avec la fonction `pg_cancel_backend()`. Si l'on veut détruire le processus bloquant, il faudra plutôt utiliser la fonction `pg_terminate_backend()` :

```
SELECT pg_terminate_backend (2719) ;
```

Dans ce dernier cas, vérifiez que la table a été supprimée, et que la session en statut `idle in transaction` affiche un message indiquant la perte de la connexion.

Pour créer un verrou, effectuer un `LOCK TABLE` dans une transaction qu'il faudra laisser ouverte.

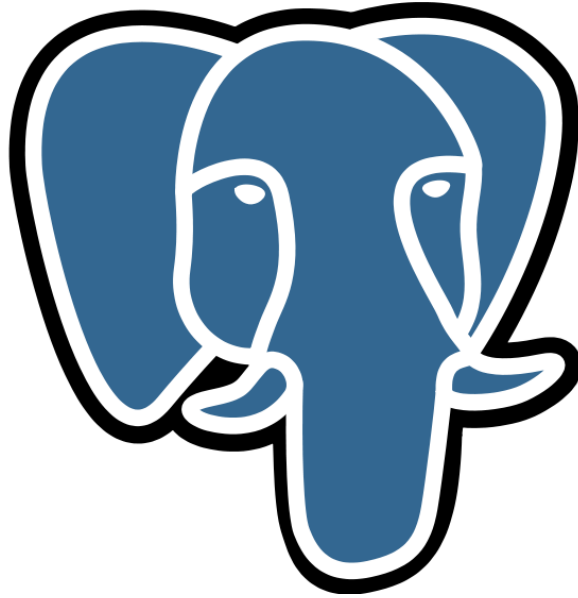
```
LOCK TABLE t1;
```

Construire une vue `pg_show_locks` basée sur `pg_stat_activity`, `pg_locks`, `pg_class` qui permette de connaître à tout moment l'état des verrous en cours sur la base : processus, nom de l'utilisateur, âge de la transaction, table verrouillée, type de verrou.

Le code source de la vue `pg_show_locks` est le suivant :

```
CREATE VIEW pg_show_locks as
SELECT
    a.pid,
    username,
    (now() - query_start) as age,
    c.relname,
    l.mode,
    l.granted
FROM
    pg_stat_activity a
    LEFT OUTER JOIN pg_locks l
        ON (a.pid = l.pid)
    LEFT OUTER JOIN pg_class c
        ON (l.relation = c.oid)
WHERE
    c.relname !~ '^pg_'
ORDER BY
    pid;
```

5/ VACUUM et autovacuum



5.1 AU MENU



- Principe & fonctionnement du VACUUM
- Options : VACUUM seul, ANALYZE, FULL, FREEZE
 - ne pas les confondre !
- Suivi
- Autovacuum
- Paramétrages

VACUUM est la contrepartie de la flexibilité du modèle MVCC. Derrière les différentes options de VACUUM se cachent plusieurs tâches très différentes. Malheureusement, la confusion est facile. Il est capital de les connaître et de comprendre leur fonctionnement.

Autovacuum permet d'automatiser le VACUUM et allège considérablement le travail de l'administrateur.

Il fonctionne généralement bien, mais il faut savoir le surveiller et l'optimiser.

5.2 VACUUM ET AUTOVACUUM



- VACUUM : nettoie d'abord les lignes mortes
- Mais aussi d'autres opérations de maintenance
- Lancement
 - manuel
 - par le démon autovacuum (seuils)

VACUUM est né du besoin de nettoyer les lignes mortes. Au fil du temps il a été couplé à d'autres ordres (ANALYZE, VACUUM FREEZE) et s'est occupé d'autres opérations de maintenance (création de la *visibility map* par exemple).

autovacuum est un processus de l'instance PostgreSQL. Il est activé par défaut, et il fortement conseillé de le conserver ainsi. Dans le cas général, son fonctionnement convient et il ne gênera pas les utilisateurs.

L'autovacuum ne gère pas toutes les variantes de VACUUM (notamment pas le FULL).

5.3 FONCTIONNEMENT DE VACUUM

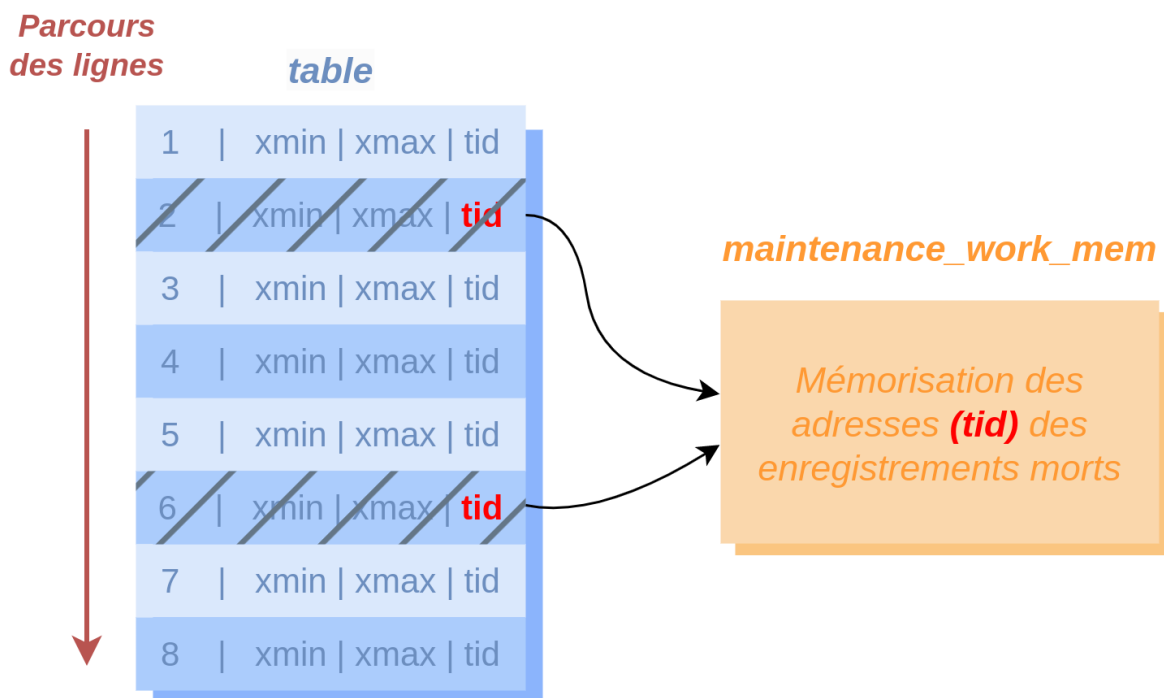


Figure 5/ .1: Phase 1/3 : recherche des enregistrements morts

Un ordre VACUUM vise d'abord à nettoyer les lignes mortes.

Le traitement VACUUM se déroule en trois passes. Cette première passe parcourt la table à nettoyer, à la recherche d'enregistrements morts. Un enregistrement est mort s'il possède un xmax qui correspond à une transaction validée, et que cet enregistrement n'est plus visible dans l'instantané d'aucune transaction en cours sur la base. D'autres lignes mortes portent un xmin d'une transaction annulée.

L'enregistrement mort ne peut pas être supprimé immédiatement : des enregistrements d'index pointent vers lui et doivent aussi être nettoyés. La session effectuant le vacuum garde en mémoire la liste des adresses des enregistrements morts, à hauteur d'une quantité indiquée par le paramètre `maintenance_work_mem`. Si cet espace est trop petit pour contenir tous les enregistrements morts, VACUUM effectue plusieurs séries de ces trois passes.

5.3.1 Fonctionnement de VACUUM (suite)

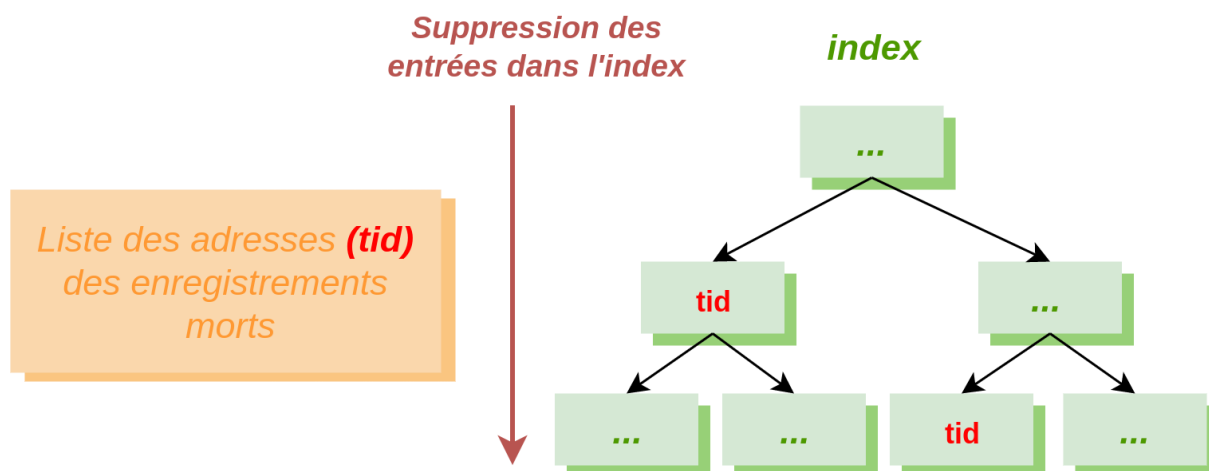


Figure 5/ .2: Phase 2/3 : nettoyage des index

La seconde passe se charge de nettoyer les entrées d'index. VACUUM possède une liste de `tid` (tuple id) à invalider. Il parcourt donc tous les index de la table à la recherche de ces `tid` et les supprime. En effet, les index sont triés afin de mettre en correspondance une valeur de clé (la colonne indexée par exemple) avec un `tid`. Il n'est par contre pas possible de trouver un `tid` directement. Les pages entièrement vides sont supprimées de l'arbre et stockées dans la liste des pages réutilisables, la *Free Space Map* (FSM).

Cette phase peut être ignorée par deux mécanismes. Le premier mécanisme apparaît en version 12 où l'option `INDEX_CLEANUP` a été ajoutée. Ce mécanisme est donc manuel et permet de gagner du temps sur l'opération de VACUUM. Cette option s'utilise ainsi :

```
VACUUM (VERBOSE, INDEX_CLEANUP off) nom_table ;
```

À partir de la version 14, un autre mécanisme, automatique cette fois, a été ajouté. Le but est toujours d'exécuter rapidement le VACUUM, mais uniquement pour éviter le wraparound. Quand la table atteint l'âge, très élevé, de 1,6 milliard de transactions (défaut des paramètres `vacuum_failsafe_age` et `vacuum_multixact_failsafe_age`), un VACUUM simple va automatiquement désactiver le nettoyage des index pour nettoyer plus rapidement la table et permettre d'avancer l'identifiant le plus ancien de la table.

À partir de la version 13, cette phase peut être parallélisée (clause `PARALLEL`), chaque index pouvant être traité par un CPU.

5.3.2 Fonctionnement de VACUUM (suite)

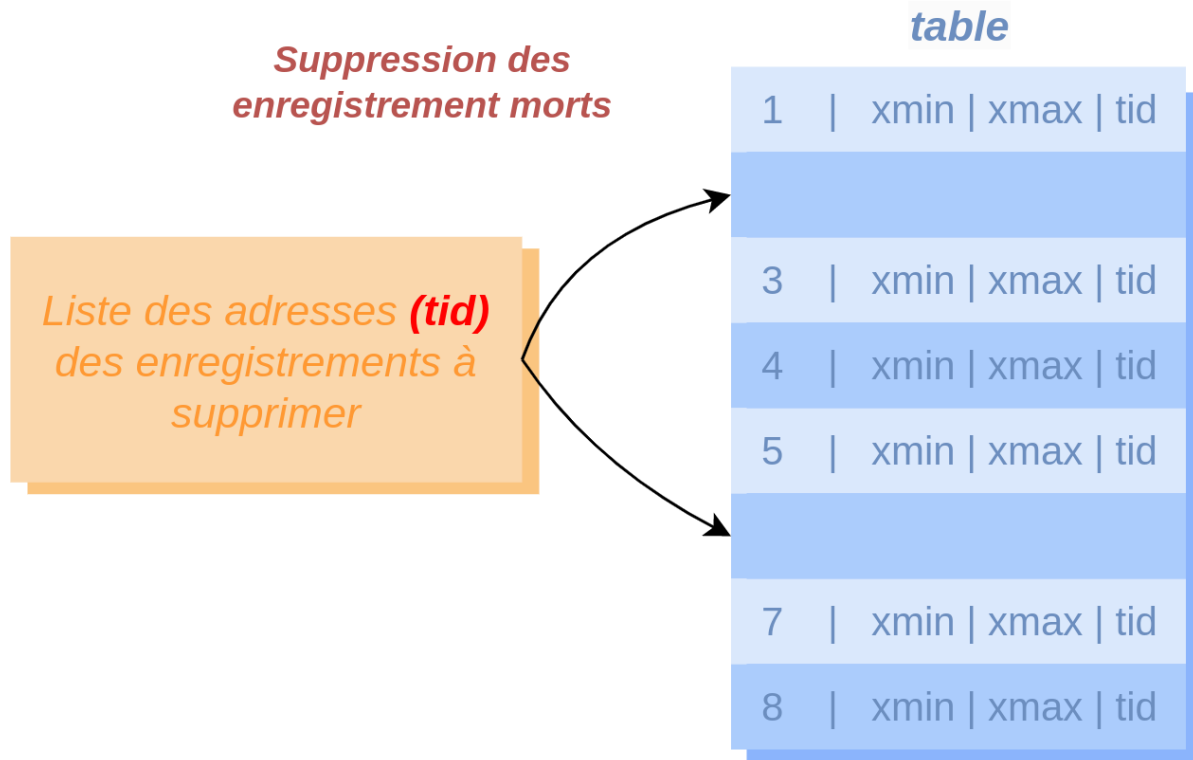


Figure 5/ .3: Phase 3/3 : suppression des enregistrements morts



NB : L'espace est rarement rendu à l'OS !

Maintenant qu'il n'y a plus d'entrée d'index pointant sur les enregistrements morts identifiés, ceux-ci peuvent disparaître. C'est le rôle de cette passe. Quand un enregistrement est supprimé d'un bloc, ce bloc est complètement réorganisé afin de consolider l'espace libre. Cet espace est renseigné dans la *Free Space Map* (FSM).

Une fois cette passe terminée, si le parcours de la table n'a pas été terminé lors de la passe précédente, le travail reprend où il en était du parcours de la table.

Si les derniers blocs de la table sont vides, ils sont rendus au système (si le verrou nécessaire peut être obtenu, et si l'option TRUNCATE n'est pas off). C'est le seul cas où VACUUM réduit la taille de la table. Les espaces vides (et réutilisables) au milieu de la table constituent le *bloat* (littéralement « boursofflure » ou « gonflement », que l'on peut aussi traduire par fragmentation).

Les statistiques d'activité sont aussi mises à jour.

5.4 LES OPTIONS DE VACUUM



Différentes opérations :

- VACUUM
 - lignes mortes, *visibility map*, *hint bits*
- ANALYZE
 - statistiques
- FREEZE
 - gel des lignes
 - parfois gênant ou long
- FULL
 - bloquant !
 - non lancé par l'autovacuum

VACUUM

Par défaut, VACUUM procède principalement au nettoyage des lignes mortes. Pour que cela soit efficace, il met à jour la *visibility map*, et la crée au besoin. Au passage, il peut geler certaines lignes rencontrées.

L'autovacuum le déclenchera sur les tables en fonction de l'activité.

Le verrou SHARE UPDATE EXCLUSIVE posé protège la table contre les modifications simultanées du schéma, et ne gêne généralement pas les opérations, sauf les plus intrusives (il empêche par exemple un LOCK TABLE). L'autovacuum arrêtera spontanément un VACUUM qu'il aurait lancé et qui générerait ; mais un VACUUM lancé manuellement continuera jusqu'à la fin.

VACUUM ANALYZE

ANALYZE existe en tant qu'ordre séparé, pour rafraîchir les statistiques sur un échantillon des données, à destination de l'optimiseur. L'autovacuum se charge également de lancer des ANALYZE en fonction de l'activité.

L'ordre VACUUM ANALYZE (ou VACUUM (ANALYZE)) force le calcul des statistiques sur les données en même temps que le VACUUM.

VACUUM FREEZE

VACUUM FREEZE procède au « gel » des lignes visibles par toutes les transactions en cours sur l'instance, afin de parer au problème du *wraparound* des identifiants de transaction. Concrètement, il indique dans un *hint bit* de chaque ligne qu'elle est plus vieille que tous les numéros de transactions actuellement actives (avant la 9.4, la colonne système `xmin` était remplacée par un `Frozenxid`).

Un ordre FREEZE n'existe pas en tant que tel.

Préventivement, lors d'un VACUUM simple, l'autovacuum procède au gel de certaines des lignes rencontrées. De plus, il lancera un VACUUM FREEZE sur une table dont les plus vieilles transactions dépassent un certain âge. Ce peut être très long, et très lourd en écritures si une grosse table doit être entièrement gelée d'un coup. Autrement, l'activité n'est qu'exceptionnellement gênée (voir plus bas).

VACUUM FULL

L'ordre VACUUM FULL permet de reconstruire la table sans les espaces vides. C'est une opération très lourde, risquant de bloquer d'autres requêtes à cause du verrou exclusif qu'elle pose (on ne peut même plus lire la table !), mais il s'agit de la seule option qui permet de réduire la taille de la table au niveau du système de fichiers de façon certaine.

Il faut prévoir l'espace disque (la table est reconstruite à côté de l'ancienne, puis l'ancienne est supprimée). Les index sont reconstruits au passage. Un VACUUM FULL gèle agressivement les lignes, et effectue donc au passage l'équivalent d'un FREEZE.

L'autovacuum ne lancera jamais un VACUUM FULL !

Il existe aussi un ordre CLUSTER, qui permet en plus de trier la table suivant un des index.

5.4.1 Autres options de VACUUM



- VERBOSE
- Optimisations :
 - PARALLEL (v13+)
 - INDEX_CLEANUP
 - PROCESS_TOAST (v14+)
 - TRUNCATE (v12+)
- Ponctuellement :
 - SKIP_LOCKED (v12+), DISABLE_PAGE_SKIPPING (v11+)

VERBOSE :

Cette option affiche un grand nombre d'informations sur ce que fait la commande. En général c'est une bonne idée de l'activer :

```
VACUUM (VERBOSE) pgbench_accounts_5 ;
```

```
INFO: vacuuming "public.pgbench_accounts_5"
```

```
INFO: scanned index "pgbench_accounts_5_pkey" to remove 9999999 row versions
```

```
DÉTAIL : CPU: user: 12.16 s, system: 0.87 s, elapsed: 18.15 s
INFO: "pgbench_accounts_5": removed 9999999 row versions in 163935 pages
DÉTAIL : CPU: user: 0.16 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.20 s
INFO: index "pgbench_accounts_5_pkey" now contains 100000000 row versions in 301613
↪ pages
DÉTAIL : 9999999 index row versions were removed.
0 index pages have been deleted, 0 are currently reusable.
CPU: user: 0.00 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.00 s.
INFO: "pgbench_accounts_5": found 10000001 removable,
      10000051 nonremovable row versions in 327870 out of 1803279 pages
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet, oldest xmin: 1071186825
There were 1 unused item identifiers.
Skipped 0 pages due to buffer pins, 1475409 frozen pages.
0 pages are entirely empty.
CPU: user: 13.77 s, system: 0.89 s, elapsed: 19.81 s.
VACUUM
```

PARALLEL :

Apparue avec PostgreSQL 13, l'option PARALLEL permet le traitement parallélisé des index. Le nombre indiqué après PARALLEL précise le niveau de parallélisation souhaité. Par exemple :

```
VACUUM (VERBOSE, PARALLEL 4) matable ;
```

```
INFO: vacuuming "public.matable"
INFO: launched 3 parallel vacuum workers for index cleanup (planned: 3)
```

DISABLE_PAGE_SKIPPING :

Par défaut, PostgreSQL ne traite que les blocs modifiés depuis le dernier VACUUM, ce qui est un gros gain en performance (l'information est stockée dans la *Visibility Map*).

À partir de la version 11, activer l'option DISABLE_PAGE_SKIPPING force l'analyse de tous les blocs de la table. La table est intégralement reparcourue. Ce peut être utile en cas de problème, notamment pour reconstruire cette *Visibility Map*.

SKIP_LOCKED :

À partir de la version 12, l'option SKIP_LOCKED permet d'ignorer toute table pour laquelle la commande VACUUM ne peut pas obtenir immédiatement son verrou. Cela évite de bloquer le VACUUM sur une table, et peut éviter un empilement des verrous derrière celui que le VACUUM veut poser, surtout en cas de VACUUM FULL. La commande passe alors à la table suivante à traiter. Exemple :

```
# VACUUM (FULL, SKIP_LOCKED) t_un_million_int, t_cent_mille_int ;
```

```
WARNING: skipping vacuum of "t_un_million_int" --- lock not available
VACUUM
```

Une autre technique est de paramétrer dans la session un petit délai avant abandon :

```
SET lock_timeout TO '100ms' ;
```

INDEX_CLEANUP :

L'option INDEX_CLEANUP (par défaut à on jusque PostgreSQL 13 compris) déclenche systématiquement le nettoyage des index. La commande VACUUM va supprimer les enregistrements de l'index qui

pointent vers des lignes mortes de la table. Quand il faut nettoyer des lignes mortes urgemment dans une grosse table, la valeur `off` fait gagner beaucoup de temps :

```
VACUUM (VERBOSE, INDEX_CLEANUP off) unetable ;
```

Les index peuvent être nettoyés plus tard par un autre `VACUUM`, ou reconstruits.

Cette option existe aussi sous la forme d'un paramètre de stockage (`vacuum_index_cleanup`) propre à la table pour que l'autovacuum en tienne aussi compte.

En version 14, le nouveau défaut est `auto`, qui indique que PostgreSQL doit décider de faire ou non le nettoyage des index suivant la quantité d'entrées à nettoyer. Il faut au minimum 2 % d'éléments à nettoyer pour que le nettoyage ait lieu.

PROCESS_TOAST :

Cette option active ou non le traitement de la partie TOAST associée à la table. Elle est activée par défaut. Son utilité est la même que pour `INDEX_CLEANUP`.

TRUNCATE :

L'option `TRUNCATE` (à `on` par défaut) permet de tronquer les derniers blocs vides d'une table. `TRUNCATE off` évite d'avoir à poser un verrou exclusif certes court, mais parfois gênant.

Cette option existe aussi sous la forme d'un paramètre de stockage de table (`vacuum_truncate`).

Mélange des options :

Il est possible de mixer ces options presque à volonté et de préciser plusieurs tables à nettoyer :

```
VACUUM (VERBOSE, ANALYZE, INDEX_CLEANUP off, TRUNCATE off,  
        DISABLE_PAGE_SKIPPING) bigtable, smalltable ;
```


5.5 SUIVI DU VACUUM



- pg_stat_activity ou top
- La table est-elle suffisamment nettoyée ?
- Vue pg_stat_user_tables
 - last_vacuum/last_autovacuum
 - last_analyze/last_autoanalyze
- log_autovacuum_min_duration

Un VACUUM, y compris lancé par l'autovacuum, apparaît dans pg_stat_activity et le processus est visible comme processus système avec top ou ps :

```
$ ps faux
...
postgres 3470724 0.0 0.0 12985308 6544 ? Ss 13:58 0:02 \_ postgres: 13/main:
  ↳ autovacuum launcher
postgres 795432 7.8 0.0 14034140 13424 ? Rs 16:22 0:01 \_ postgres: 13/main:
  ↳ autovacuum worker
pgbench1000p10
...
```

Il est fréquent de se demander si l'autovacuum s'occupe suffisamment d'une table qui grossit ou dont les statistiques semblent périmées. La vue pg_stat_user_tables contient quelques informations. Dans l'exemple ci-dessous, nous distinguons les dates des VACUUM et ANALYZE déclenchés automatiquement ou manuellement (en fait par l'application pgbench). Si 44 305 lignes ont été modifiées depuis le rafraîchissement des statistiques, il reste 2,3 millions de lignes mortes à nettoyer (contre 10 millions vivantes).

```
# SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname = 'pgbench_accounts' \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
relid          | 489050
schemaname     | public
relname        | pgbench_accounts
seq_scan       | 1
seq_tup_read   | 10
idx_scan       | 686140
idx_tup_fetch  | 2686136
n_tup_ins      | 0
n_tup_upd      | 2343090
n_tup_del      | 452
n_tup_hot_upd  | 118551
n_live_tup     | 10044489
n_dead_tup     | 2289437
n_mod_since_analyze | 44305
n_ins_since_vacuum | 452
```

last_vacuum	2020-01-06 18:42:50.237146+01
last_autovacuum	2020-01-07 14:30:30.200728+01
last_analyze	2020-01-06 18:42:50.504248+01
last_autoanalyze	2020-01-07 14:30:39.839482+01
vacuum_count	1
autovacuum_count	1
analyze_count	1
autoanalyze_count	1

Activer le paramètre `log_autovacuum_min_duration` avec une valeur relativement faible (dépendant des tables visées de la taille des logs générés), voire le mettre à 0, est également courant et conseillé.

5.5.1 Progression du VACUUM



- Pour VACUUM simple / VACUUM FREEZE
 - vue `pg_stat_progress_vacuum`
 - blocs parcourus / nettoyés
 - nombre de passes dans l'index
- Partie ANALYZE
 - `pg_stat_progress_analyze` (v13)
- Manuel ou via autovacuum
- Pour VACUUM FULL
 - vue `pg_stat_progress_cluster` (v12)

La vue `pg_stat_progress_vacuum` contient une ligne par VACUUM (simple ou FREEZE) en cours d'exécution.

Voici un exemple :

```
SELECT * FROM pg_stat_progress_vacuum ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
pid          | 4299
datid        | 13356
datname      | postgres
relid        | 16384
phase        | scanning heap
heap_blks_total | 127293
heap_blks_scanned | 86665
heap_blks_vacuumed | 86664
```

```
index_vacuum_count | 0
max_dead_tuples    | 291
num_dead_tuples    | 53
```

Dans cet exemple, le VACUUM exécuté par le PID 4299 a parcouru 86 665 blocs (soit 68 % de la table), et en a traité 86 664.

Dans le cas d'un VACUUM ANALYZE, la seconde partie de recueil des statistiques pourra être suivie dans pg_stat_progress_analyze (à partir de PostgreSQL 13) :

```
SELECT * FROM pg_stat_progress_analyze ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
pid          | 1938258
datid        | 748619
datname      | grossetable
relid        | 748698
phase        | acquiring inherited sample rows
sample_blks_total | 1875
sample_blks_scanned | 1418
ext_stats_total | 0
ext_stats_computed | 0
child_tables_total | 16
child_tables_done | 6
current_child_table_relid | 748751
```

Les vues précédentes affichent aussi bien les opérations lancées manuellement que celles décidées par l'autovacuum.

Par contre, pour un VACUUM FULL, il faudra suivre la progression au travers de la vue pg_stat_progress_cluster (à partir de la version 12), qui renvoie par exemple :

```
$ psql -c 'VACUUM FULL big' &
```

```
$ psql
postgres=# \x
Affichage étendu activé.
```

```
postgres=# SELECT * FROM pg_stat_progress_cluster ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
pid          | 21157
datid        | 13444
datname      | postgres
relid        | 16384
command      | VACUUM FULL
phase        | seq scanning heap
cluster_index_relid | 0
heap_tuples_scanned | 13749388
heap_tuples_written | 13749388
heap_blks_total | 199105
heap_blks_scanned | 60839
index_rebuild_count | 0
```

Cette vue est utilisable aussi avec l'ordre CLUSTER, d'où le nom.

5.6 AUTOVACUUM



- Processus autovacuum
- But : ne plus s'occuper de VACUUM
- Suit l'activité
- Seuil dépassé => worker dédié
- Gère : VACUUM, ANALYZE, FREEZE
 - mais pas FULL

Le principe est le suivant :

Le démon autovacuum `laucher` s'occupe de lancer des *workers* régulièrement sur les différentes bases. Ce nouveau processus inspecte les statistiques sur les tables (vue `pg_stat_all_tables`) : nombres de lignes insérées, modifiées et supprimées. Quand certains seuils sont dépassés sur un objet, le *worker* effectue un VACUUM, un ANALYZE, voire un VACUUM FREEZE (mais jamais, rappelons-le, un VACUUM FULL).

Le nombre de ces *workers* est limité, afin de ne pas engendrer de charge trop élevée.

5.6.1 Paramétrage du déclenchement de l'autovacuum



- autovacuum (on !)
- autovacuum_naptime (1 min)
- autovacuum_max_workers (3)
 - plusieurs *workers* simultanés sur une base
 - un seul par table

autovacuum (on par défaut) détermine si l'autovacuum doit être activé.



Il est fortement conseillé de laisser autovacuum à on !

S'il le faut vraiment, il est possible de désactiver l'autovacuum sur une table précise :

```
ALTER TABLE nom_table SET (autovacuum_enabled = off);
```

mais cela est très rare. La valeur `off` n'empêche pas le déclenchement d'un `VACUUM FREEZE` s'il devient nécessaire.

`autovacuum_naptime` est le temps d'attente entre deux périodes de vérification sur la même base (1 minute par défaut). Le déclenchement de l'autovacuum suite à des modifications de tables n'est donc pas instantané.

`autovacuum_max_workers` est le nombre maximum de *workers* que l'autovacuum pourra déclencher simultanément, chacun s'occupant d'une table (ou partition de table). Chaque table ne peut être traitée simultanément que par un unique *worker*. La valeur par défaut (3) est généralement suffisante. Néanmoins, s'il y a fréquemment trois *autovacuum workers* travaillant en même temps, et surtout si cela dure, il peut être nécessaire d'augmenter ce paramètre. Cela est fréquent quand il y a de nombreuses petites tables. Noter qu'il faudra peut-être être plus généreux avec les ressources allouées (paramètres `autovacuum_vacuum_cost_delay` ou `autovacuum_vacuum_cost_limit`), car les *workers* se les partagent.

5.6.2 Déclenchement de l'autovacuum



Seuil de déclenchement =
 $threshold + scale\ factor \times nb\ lignes\ de\ la\ table$

L'autovacuum déclenche un `VACUUM` ou un `ANALYZE` à partir de seuils calculés sur le principe d'un nombre de lignes minimal (*threshold*) et d'une proportion de la table existante (*scale factor*) de lignes modifiées, insérées ou effacées. (Pour les détails précis sur ce qui suit, voir la documentation officielle¹.)

Ces seuils pourront être adaptés table par table.

¹<https://docs.postgresql.fr/current/routine-vacuuming.html#AUTOVACUUM>

5.6.3 Déclenchement de l'autovacuum (suite)



- Pour VACUUM
 - autovacuum_vacuum_scale_factor (20 %)
 - autovacuum_vacuum_threshold (50)
 - (v13) autovacuum_vacuum_insert_threshold (1000)
 - (v13) autovacuum_vacuum_insert_scale_factor (20 %)
- Pour ANALYZE
 - autovacuum_analyze_scale_factor (10 %)
 - autovacuum_analyze_threshold (50)
- Adapter pour une grosse table :


```
ALTER TABLE table_name SET (autovacuum_vacuum_scale_factor = 0.1);
```

Pour le VACUUM, si on considère les enregistrements morts (supprimés ou anciennes versions de lignes), la condition de déclenchement est :

```
nb_enregistrements_morts (pg_stat_all_tables.n_dead_tup) >=
  autovacuum_vacuum_threshold
+ autovacuum_vacuum_scale_factor × nb_enregs (pg_class.reltuples)
```

où, par défaut :

- autovacuum_vacuum_threshold vaut 50 lignes ;
- autovacuum_vacuum_scale_factor vaut 0,2 soit 20 % de la table.

Donc, par exemple, dans une table d'un million de lignes, modifier 200 050 lignes provoquera le passage d'un VACUUM.

Pour les grosses tables avec de l'historique, modifier 20 % de la volumétrie peut être extrêmement long. Quand l'autovacuum lance enfin un VACUUM, celui-ci a donc beaucoup de travail et peut durer longtemps et générer beaucoup d'écritures. Il est donc fréquent de descendre la valeur de vacuum_vacuum_scale_factor à quelques pour cent sur les grosses tables. (Une alternative est de monter autovacuum_vacuum_threshold à un nombre de lignes élevé et de descendre autovacuum_vacuum_scale_factor à 0, mais il faut alors calculer le nombre de lignes qui déclenchera le nettoyage, et cela dépend fortement de la table et de sa fréquence de mise à jour.)

S'il faut modifier un paramètre, il est préférable de ne pas le faire au niveau global mais de cibler les tables où cela est nécessaire. Par exemple, l'ordre suivant réduit à 5 % de la table le nombre de lignes à modifier avant que l'autovacuum y lance un VACUUM :

```
ALTER TABLE nom_table SET (autovacuum_vacuum_scale_factor = 0.05);
```

À partir de PostgreSQL 13, le VACUUM est aussi lancé quand il n'y a que des insertions, avec deux nouveaux paramètres et un autre seuil de déclenchement :

```
nb_enregistrements_insérés (pg_stat_all_tables.n_ins_since_vacuum) >=
    autovacuum_vacuum_insert_threshold
+ autovacuum_vacuum_insert_scale_factor × nb_enregs (pg_class.reltuples)
```

Pour l'ANALYZE, le principe est le même. Il n'y a que deux paramètres, qui prennent en compte toutes les lignes modifiées *ou* insérées, pour calculer le seuil :

```
nb_insert + nb_updates + nb_delete (n_mod_since_analyze) >=
    autovacuum_analyze_threshold + nb_enregs × autovacuum_analyze_scale_factor
```

où, par défaut :

- autovacuum_analyze_threshold vaut 50 lignes ;
- autovacuum_analyze_scale_factor vaut 0,1, soit 10 %.

Dans notre exemple d'une table, modifier 100 050 lignes provoquera le passage d'un ANALYZE.

Là encore, il est fréquent de modifier les paramètres sur les grosses tables pour rafraîchir les statistiques plus fréquemment.



Les insertions ont toujours été prises en compte pour ANALYZE, puisqu'elles modifient le contenu de la table. Par contre, jusque PostgreSQL 12 inclus, VACUUM ne tenait pas compte des lignes insérées pour déclencher son nettoyage. Or, cela avait des conséquences pour les tables à insertion seule (gel de lignes retardé, *Index Only Scan* impossibles...) Pour cette raison, à partir de la version 13, les insertions sont aussi prises en compte pour déclencher un VACUUM.

5.7 PARAMÉTRAGE DE VACUUM & AUTOVACUUM



- VACUUM vs autovacuum
- Mémoire
- Gestion des coûts
- Gel des lignes

En fonction de la tâche exacte, de l'agressivité acceptable ou de l'urgence, plusieurs paramètres peuvent être mis en place.

Ces paramètres peuvent différer (par le nom ou la valeur) selon qu'ils s'appliquent à un VACUUM lancé manuellement ou par script, ou à un processus lancé par l'autovacuum.

5.7.1 VACUUM vs autovacuum

VACUUM manuel	autovacuum
Urgent	Arrière-plan
Pas de limite	Peu agressif
Paramètres	Les mêmes + paramètres de surcharge

Quand on lance un ordre VACUUM, il y a souvent urgence, ou l'on est dans une période de maintenance, ou dans un batch. Les paramètres que nous allons voir ne cherchent donc pas, par défaut, à économiser des ressources.

À l'inverse, un VACUUM lancé par l'autovacuum ne doit pas gêner une production peut-être chargée. Il existe donc des paramètres `autovacuum_*` surchargeant les précédents, et beaucoup plus conservateurs.

5.7.2 Mémoire



- Quantité de mémoire allouable
 - `maintenance_work_mem` / `autovacuum_work_mem`
 - monté souvent à ½ à 1 Go
- Impact
 - `VACUUM`
 - construction d'index

`maintenance_work_mem` est la quantité de mémoire qu'un processus effectuant une opération de maintenance (c'est-à-dire n'exécutant pas des requêtes classiques comme `SELECT`, `INSERT`, `UPDATE`...) est autorisé à allouer pour sa tâche de maintenance.

Cette mémoire est utilisée lors de la construction d'index ou l'ajout de clés étrangères. et, dans le contexte de `VACUUM`, pour stocker les adresses des enregistrements pouvant être recyclés. Cette mémoire est remplie pendant la phase 1 du processus de `VACUUM`, tel qu'expliqué plus haut.

Rappelons qu'une adresse d'enregistrement (`tid`, pour `tuple id`) a une taille de 6 octets et est composée du numéro dans la table, et du numéro d'enregistrement dans le bloc, par exemple `(0, 1)`, `(3164, 98)` ou `(5351510, 42)`.

Le défaut de 64 Mo est assez faible. Si tous les enregistrements morts d'une table ne tiennent pas dans `maintenance_work_mem`, `VACUUM` est obligé de faire plusieurs passes de nettoyage, donc plusieurs parcours complets de chaque index. Une valeur assez élevée de `maintenance_work_mem` est donc conseillée : s'il est déjà possible de stocker plusieurs dizaines de millions d'enregistrements à effacer dans 256 Mo, 1 Go peut être utile lors de grosses purges. Attention, plusieurs `VACUUM` peuvent tourner simultanément.

Un `maintenance_work_mem` à plus de 1 Go est inutile pour le `VACUUM` (il ne sait pas utiliser plus), par contre il peut accélérer l'indexation de grosses tables.

`autovacuum_work_mem` permet de surcharger `maintenance_work_mem` spécifiquement pour l'autovacuum. Par défaut les deux sont identiques.

5.7.3 Bridage du VACUUM et de l'autovacuum



- Pauses régulières après une certaine activité
- Par bloc traité
 - vacuum_cost_page_hit/_miss/_dirty (1/10/20)
 - jusque total de vacuum_cost_limit (200)
 - pause vacuum_cost_delay (en manuel : 0 !)
- Surcharge pour l'autovacuum
 - autovacuum_vacuum_cost_limit (identique)
 - autovacuum_vacuum_cost_delay (20 ou 2 ms)
 - => débit en écriture max : ~ 4 ou 40 Mo/s

Les paramètres suivant permettent de provoquer une pause d'un VACUUM pour ne pas gêner les autres sessions en saturant le disque. Ils affectent un coût arbitraire aux trois actions suivantes :

- vacuum_cost_page_hit : coût d'accès à une page présente dans le cache (défaut : 1) ;
- vacuum_cost_page_miss : coût d'accès à une page hors du cache (défaut : 10 avant la v14, 2 à partir de la v14) ;
- vacuum_cost_page_dirty : coût de modification d'une page, et donc de son écriture (défaut : 20).

Il est déconseillé de modifier ces paramètres de coût. Ils permettent de « mesurer » l'activité de VACUUM, et le mettre en pause quand il aura atteint cette limite. Ce second point est gouverné par deux paramètres :

- vacuum_cost_limit : coût à atteindre avant de déclencher une pause (défaut : 200) ;
- vacuum_cost_delay : temps à attendre (défaut : 0 ms !)

En conséquence, les VACUUM lancés manuellement (en ligne de commande ou via vacuumdb) ne sont **pas** freinés par ce mécanisme et peuvent donc entraîner de fortes écritures, du moins par défaut. Mais c'est généralement dans un batch ou en urgence, et il vaut mieux alors être le plus rapide possible. Il est donc conseillé de laisser vacuum_cost_limit et vacuum_cost_delay ainsi, ou de ne les modifier que le temps d'une session ainsi :

```
SET vacuum_cost_limit = 200 ;
SET vacuum_cost_delay = '20ms' ;
VACUUM (VERBOSE) matable ;
```

(Pour les urgences, rappelons que l'option INDEX_CLEANUP off permet en plus d'ignorer le nettoyage des index, à partir de PostgreSQL 12.)

Les VACUUM d'autovacuum, eux, sont par défaut limités en débit pour ne pas gêner l'activité normale de l'instance. Deux paramètres surchargent les précédents :

- `autovacuum_cost_limit` vaut par défaut -1, donc reprend la valeur 200 de `vacuum_cost_limit`;
- `autovacuum_vacuum_cost_delay` vaut par défaut 2 ms (mais 20 ms avant la version 12, ce qui correspond à l'exemple ci-dessus).

Un `(autovacuum_)vacuum_cost_limit` de 200 correspond à traiter au plus 200 blocs lus en cache (car `vacuum_cost_page_hit` = 1), soit 1,6 Mo, avant de faire une pause. Si ces blocs doivent être écrits, on descend en-dessous de 10 blocs traités avant chaque pause (`vacuum_cost_page_dirty` = 20) avant la pause de 2 ms, d'où un débit en écriture maximal de l'autovacuum de 40 Mo/s (avant la version 12 : 20 ms et seulement 4 Mo/s !), et d'aut plus le double en lecture. Cela s'observe aisément par exemple avec `iotop`.

Ce débit est partagé équitablement entre les différents *workers* lancés par l'autovacuum (sauf paramétrage spécifique au niveau de la table).

Pour rendre l'autovacuum plus agressif, on peut augmenter la limite de coût, ou réduire le temps de pause, à condition de pouvoir assumer le débit supplémentaire pour les disques. La version 12 a justement réduit le délai pour tenir compte de l'évolution des disques et des volumétries.

5.7.4 Paramétrage du FREEZE



Quand le VACUUM gèle-t-il les lignes ?

- `vacuum_freeze_min_age` (50 Mtrx)
 - âge des lignes *rencontrées* à geler
- `vacuum_freeze_table_age` (150 Mtrx)
 - agressif (toute la table)
- Au plus tard, par l'autovacuum sur toute la table :
 - `autovacuum_freeze_max_age` (200 Mtrx)
- Les blocs déjà nettoyés/gelés sont notés dans la *visibility map*
- Attention après des imports en masse !
 - VACUUM FREEZE préventif en période de maintenance

Principe (rappel) :

Rappelons que les numéros de transaction stockés sur les lignes ne sont stockés que sur 32 bits, et sont recyclés. Il y a donc un risque de mélanger l'avenir et le futur des transactions lors du rebouclage (*wraparound*). Afin d'éviter ce phénomène, VACUUM « gèle » les vieux enregistrements, afin que ceux-

ci ne se retrouvent pas brusquement dans le futur. Cela implique de réécrire le bloc. Il est inutile de geler trop tôt une ligne récente, qui sera peut-être bientôt réécrite.

Paramétrage :

Plusieurs paramètres règlent ce fonctionnement. Leurs valeurs par défaut sont satisfaisantes pour la plupart des installations et ne sont pour ainsi dire jamais modifiées. Par contre, il est important de bien connaître le fonctionnement pour ne pas être surpris.

Rappelons que le numéro de transaction le plus ancien connu d'une table est porté par `pg_class.relFrozenxid`, et est sur 32 bits. Il faut utiliser la fonction `age()` pour connaître l'écart par rapport au numéro de transaction courant (géré sur 64 bits en interne).

```
SELECT relname, relfrozenxid, round(age(relfrozenxid) /1e6,2) AS "age_Mtrx"
FROM pg_class c
WHERE relname LIKE 'pgbench%' AND relkind='r'
ORDER BY age(relfrozenxid) ;
```

relname	relfrozenxid	age_Mtrx
pgbench_accounts_7	882324041	0.00
pgbench_accounts_8	882324041	0.00
pgbench_accounts_2	882324041	0.00
pgbench_history	882324040	0.00
pgbench_accounts_5	848990708	33.33
pgbench_tellers	832324041	50.00
pgbench_accounts_3	719860155	162.46
pgbench_accounts_9	719860155	162.46
pgbench_accounts_4	719860155	162.46
pgbench_accounts_6	719860155	162.46
pgbench_accounts_1	719860155	162.46
pgbench_branches	719860155	162.46
pgbench_accounts_10	719860155	162.46

Une partie du gel se fait lors d'un VACUUM normal. Si ce dernier rencontre un enregistrement plus vieux que `vacuum_freeze_min_age` (par défaut 50 millions de transactions écoulées), alors le *tuple* peut et doit être gelé. Cela ne concerne que les lignes dans des blocs qui ont des lignes mortes à nettoyer : les lignes dans des blocs un peu statiques y échappent. (Y échappent aussi les lignes qui ne sont pas forcément visibles par toutes les transactions ouvertes.)

VACUUM doit donc périodiquement déclencher un nettoyage plus agressif de toute la table (et non pas uniquement des blocs modifiés depuis le dernier VACUUM), afin de nettoyer tous les vieux enregistrements. C'est le rôle de `vacuum_freeze_table_age` (par défaut 150 millions de transactions). Si la table a atteint cet âge, un VACUUM (manuel ou automatique) lancé dessus deviendra « agressif » :

```
VACUUM (VERBOSE) pgbench_tellers ;
INFO: aggressively vacuuming "public.pgbench_tellers"
```

C'est équivalent à l'option `DISABLE_PAGE_SKIPPING` : les blocs ne contenant que des lignes vivantes seront tout de même parcourus. Les lignes non gelées qui s'y trouvent et plus vieilles que `vacuum_freeze_min_age` seront alors gelées. Ce peut être long, ou pas, en fonction de l'efficacité de l'étape précédente.

À côté des numéros de transaction habituels, les identifiants `multixact`, utilisés pour supporter le verrouillage de lignes par des transactions multiples évitent aussi le *wraparound* avec des paramètres

spécifiques (`vacuum_multixact_freeze_min_age`, `vacuum_multixact_freeze_table_age`) qui ont les mêmes valeurs que leurs homologues.

Enfin, il faut traiter le cas de tables sur lesquelles un VACUUM complet ne s'est pas déclenché depuis très longtemps. L'autovacuum y veille : `autovacuum_freeze_max_age` (par défaut 200 millions de transactions) est l'âge maximum que doit avoir une table. S'il est dépassé, un VACUUM agressif est automatiquement lancé sur cette table. Il est visible dans `pg_stat_activity` avec la mention caractéristique *to prevent wraparound* :

```
autovacuum: VACUUM public.pgbench_accounts (to prevent wraparound)
```



Ce traitement est lancé même si autovacuum est désactivé (c'est-à-dire à `off`).

En fait, un VACUUM FREEZE lancé manuellement équivaut à un VACUUM avec les paramètres `vacuum_freeze_table_age` (âge minimal de la table) et `vacuum_freeze_min_age` (âge minimal des lignes pour les geler) à 0. Il va geler toutes les lignes qui le peuvent, même « jeunes ».

Charge induite par le gel :

Le gel des lignes peut être très lourd s'il y a beaucoup de lignes à geler, ou très rapide si l'essentiel du travail a été fait par les nettoyages précédents. Si la table a déjà été entièrement gelée (parfois depuis des centaines de millions de transactions), il peut juste s'agir d'une mise à jour du `relfrozenxid`.

Les blocs déjà entièrement gelés sont stockés dans la *visibility map*. Les blocs déjà entièrement gelés sont recensés dans la *visibility map* ; ils ne seront pas parcourus s'ils ne sont plus modifiés. Cela accélère énormément le FREEZE sur les grosses tables (avant PostgreSQL 9.6, il y avait forcément au moins un parcours complet de la table !) Si le VACUUM est interrompu, ce qu'il a déjà gelé n'est pas perdu, il ne faut donc pas hésiter à l'interrompre au besoin.

ce qui explique la marge par rapport à la limite fatidique des 2 milliards de transactions.

Quelques problèmes possibles sont évoqués plus bas.

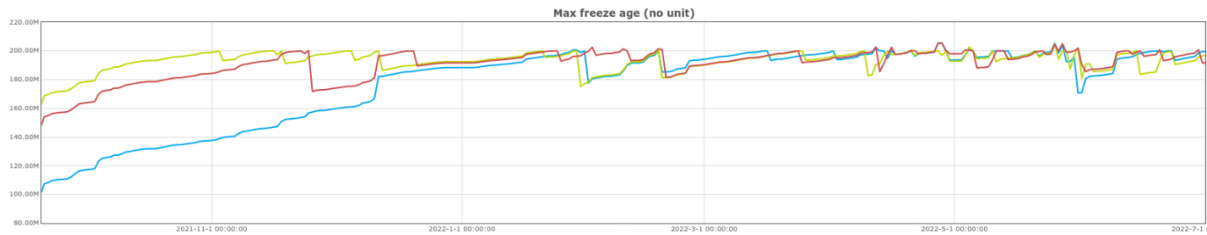
Âge d'une base :

L'âge d'une base est en fait l'âge de la table la plus ancienne. Il se calcule à partir de la colonne `pg_database.datfrozenxid` :

```
SELECT age(datfrozenxid)
FROM pg_database
WHERE datname = current_database();
```

```
   age
-----
2487153
```

Concrètement, on verra l'âge d'une base de données approcher peu à peu des 200 millions de transactions, ce qui correspondra à l'âge des plus « vieilles » tables, souvent celles sur lesquelles l'autovacuum ne passe jamais. L'âge des tables évolue même si l'essentiel de leur contenu, voire la totalité, est déjà gelé (car il peut rester le `pg_class.relfrozenxid` à mettre à jour, ce qui sera bien sûr très rapide). Cet âge va retomber quand un gel sera forcé sur ces tables, puis remonter, etc.



Rappelons que le FREEZE génère de fait la réécriture de tous les blocs concernés. Il peut être quasi-instantané, mais le déclenchement inopiné d'un VACUUM FREEZE sur l'intégralité d'une grosse table assez statique est une mauvaise surprise assez fréquente.

Une base chargée avec `pg_restore` et peu modifiée peut même voir le FREEZE se déclencher sur toutes les tables en même temps. Cela est moins grave depuis les optimisations de la 9.6, mais, après de très gros imports, il reste utile d'opérer un VACUUM FREEZE manuel, à un moment où cela gêne peu, pour éviter qu'ils ne se provoquent plus tard en période chargée.

Résumé :

Que retenir de ce paramétrage complexe ?

- le VACUUM gèlera une partie des lignes un peu anciennes lors de son fonctionnement habituel ;
- un bloc gelé non modifié ne sera plus à regeler ;
- de grosses tables statiques peuvent engendrer soudainement une grosse charge en écriture ; il vaut mieux être proactif.

5.8 AUTRES PROBLÈMES COURANTS

5.8.1 Arrêter un VACUUM ?



- Lancement manuel ou script
 - risque avec certains verrous
- Autovacuum
 - interrompre s'il gêne
- Exception : *to prevent wraparound* lent **et** bloquant
 - `pg_cancel_backend` + `VACUUM FREEZE` manuel

Le cas des VACUUM manuels a été vu plus haut : ils peuvent gêner quelques verrous ou opérations DDL. Il faudra les arrêter manuellement au besoin.

C'est différent si l'autovacuum a lancé le processus : celui-ci sera arrêté si un utilisateur pose un verrou en conflit.

La seule exception concerne un VACUUM FREEZE lancé quand la table doit être gelée, donc avec la mention *to prevent wraparound* dans `pg_stat_activity` : celui-ci ne sera pas interrompu. Il ne pose qu'un verrou destinée à éviter les modifications de schéma simultanées (SHARE UPDATE EXCLUSIVE). Comme le débit en lecture et écriture est bridé par le paramétrage habituel de l'autovacuum, ce verrou peut durer assez longtemps (surtout avant PostgreSQL 9.6, où toute la table est relue à chaque FREEZE). Cela peut s'avérer gênant avec certaines applications. Une solution est de réduire `autovacuum_vacuum_cost_delay`, surtout avant PostgreSQL 12 (voir plus haut).

Si les opérations sont impactées, on peut vouloir lancer soi-même un VACUUM FREEZE manuel, non bridé. Il faudra alors repérer le PID du VACUUM FREEZE en cours, l'arrêter avec `pg_cancel_backend`, puis lancer manuellement l'ordre VACUUM FREEZE sur la table concernée, (et rapidement avant que l'autovacuum ne relance un processus).

La supervision peut se faire avec `pg_stat_progress_vacuum` et `iotop`.

5.8.2 Ce qui peut bloquer le VACUUM FREEZE



- Causes :
 - sessions *idle in transaction* sur une longue durée
 - slot de réplication en retard/oublié
 - transactions préparées oubliées
 - erreur à l'exécution du VACUUM
- Conséquences :
 - processus autovacuum répétés
 - arrêt des transactions
 - mode single...
- Supervision :
 - `check_pg_activity:xmin,max_freeze_age`
 - surveillez les traces !

Il arrive que le fonctionnement du FREEZE soit gêné par un problème qui lui interdit de recycler les plus anciens numéros de transactions. Les causes possibles sont :

- des sessions *idle in transactions* durent depuis des jours ou des semaines (voir le statut `idle in transaction` dans `pg_stat_activity`, et au besoin fermer la session) : au pire, elles disparaissent après redémarrage ;
- des slots de réplication pointent vers un secondaire très en retard, voire disparu (consulter `pg_replication_slots`, et supprimer le slot) ;
- des transactions préparées (pas des requêtes préparées !) n'ont jamais été validées ni annulées, (voir `pg_prepared_xacts`, et annuler la transaction) : elles ne disparaissent pas après redémarrage ;
- l'opération de VACUUM tombe en erreur : corruption de table ou index, fonction d'index fonctionnel buggée, etc. (voir les traces et corriger le problème, supprimer l'objet ou la fonction, etc.).

Pour effectuer le FREEZE en urgence le plus rapidement possible, on peut utiliser, à partir de PostgreSQL 12 :

```
VACUUM (FREEZE, VERBOSE, INDEX_CLEANUP off, TRUNCATE off) ;
```

Cette commande force le gel de toutes les lignes, ignore le nettoyage des index et ne supprime pas les blocs vides finaux (le verrou peut être gênant). Un VACUUM classique serait à prévoir ensuite à l'occasion.

En toute rigueur, une version sans l'option FREEZE est encore plus rapide : le mode agressif serait déclenché mais les lignes plus récentes que `vacuum_freeze_min_age` (50 millions de transaction) ne seraient pas encore gelées. On peut même monter ce paramètre dans la session pour alléger au maximum la charge sur une table dont les lignes ont des âges bien étalés.

Ne pas oublier de nettoyer toutes les bases de l'instance.

Dans le pire des cas, plus aucune transaction ne devient possible (y compris les opérations d'administration comme DROP, ou VACUUM sans TRUNCATE off) :

```
ERROR: database is not accepting commands to avoid wraparound data loss in database
↳ "db1"
```

```
HINT: Stop the postmaster and vacuum that database in single-user mode.
You might also need to commit or roll back old prepared transactions,
or drop stale replication slots.
```

En dernière extrémité, il reste un délai de grâce d'un million de transactions, qui ne sont accessibles que dans le très austère mode monutilisateur² de PostgreSQL.

Avec la sonde Nagios `check_pgactivity`³, et les services **max_freeze_age** et **oldest_xmin**, il est possible de vérifier que l'âge des bases ne dérive pas, ou de trouver quel processus porte le xmin le plus ancien. S'il y a un problème, il entraîne généralement l'apparition de nombreux messages dans les traces : lisez-les régulièrement !

²<https://docs.postgresql.fr/current/app-postgres.html#APP-POSTGRES-SINGLE-USER>

³https://github.com/OPMDG/check_pgactivity

5.9 RÉSUMÉ DES CONSEILS SUR L'AUTOVACUUM (1/2)



- Laisser l'autovacuum faire son travail
- Augmenter le débit autorisé (< v12)
- Surveiller `last_(auto)analyze / last_(auto)vacuum`
- Nombre de *workers*
- Grosses tables, par ex :

```
ALTER TABLE table_name SET (autovacuum_analyze_scale_factor = 0.01) ;
ALTER TABLE table_name SET (autovacuum_vacuum_threshold = 1000000) ;
```

L'autovacuum fonctionne convenablement pour les charges habituelles. Il ne faut pas s'étonner qu'il fonctionne longtemps en arrière-plan : il est justement conçu pour ne pas se presser. Au besoin, ne pas hésiter à lancer manuellement l'opération, donc sans bridage en débit.

Si les disques sont bons, on peut augmenter le débit autorisé en jouant :

- réduisant, voire annulant, la durée de pause (`autovacuum_vacuum_cost_delay`) ;
- et/ou augmentant le coût à atteindre avant une pause (`autovacuum_vacuum_cost_limit`).

Comme son déclenchement est très lié à l'activité, il faut vérifier que l'autovacuum passe assez souvent sur les tables sensibles en surveillant `pg_stat_all_tables.last_autovacuum` et `last_autoanalyze`. Si les statistiques traînent à se rafraîchir, ne pas hésiter à activer plus souvent l'autovacuum sur les grosses tables problématiques ainsi :

```
-- analyze après 5 % de modification au lieu du défaut de 10 %
ALTER TABLE table_name SET (autovacuum_analyze_scale_factor = 0.05) ;
```

De même, si la fragmentation s'envole, descendre `autovacuum_vacuum_scale_factor`. (On peut préférer utiliser les variantes en `*_threshold` de ces paramètres, et mettre les `*_scale_factor` à 0).

Dans un modèle avec de très nombreuses tables actives, le nombre de *workers* doit parfois être augmenté.

5.10 RÉSUMÉ DES CONSEILS SUR L'AUTOVACUUM (2/2)



- Mode manuel
 - batchs / tables temporaires / tables à insertions seules (<v13)
 - si pressé !
- Danger du FREEZE brutal
 - prévenir
- VACUUM FULL : dernière extrémité

L'autovacuum n'est pas toujours assez rapide à se déclencher, par exemple entre les différentes étapes d'un batch : on intercalera des VACUUM ANALYZE manuels. Il faudra le faire systématiquement pour les tables temporaires (que l'autovacuum ne voit pas). Pour les tables où il n'y a que des insertions, avant PostgreSQL 13, l'autovacuum ne lance spontanément que l'ANALYZE : il faudra effectuer un VACUUM explicite pour profiter de certaines optimisations.

Un point d'attention reste le gel brutal de grosses quantités de données chargées ou modifiées en même temps. Un VACUUM FREEZE préventif dans une période calme reste la meilleure solution.

Un VACUUM FULL sur une grande table est une opération très lourde, à réserver à la récupération d'une partie significative de son espace, qui ne serait pas réutilisé plus tard.

5.11 CONCLUSION



- VACUUM fait de plus en plus de choses au fil des versions
- Convient généralement
- Paramétrage apparemment complexe
 - en fait relativement simple avec un peu d'habitude

5.11.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

5.12 QUIZ



https://dali.bo/m5_quiz

5.13 TRAVAUX PRATIQUES

5.13.1 Traiter la fragmentation



But : Traiter la fragmentation

Créer une table `t3` avec une colonne `id` de type `integer`.

Désactiver l'autovacuum pour la table `t3`.

Insérer un million de lignes dans la table `t3` avec la fonction `generate_series`.

Récupérer la taille de la table `t3`.

Supprimer les 500 000 premières lignes de la table `t3`.

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

Exécuter un `VACUUM VERBOSE` sur la table `t3`. Quelle est l'information la plus importante ?

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

Exécuter un `VACUUM FULL VERBOSE` sur la table `t3`.

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

Créer une table `t4` avec une colonne `id` de type `integer`.

Désactiver l'autovacuum pour la table `t4`.

Insérer un million de lignes dans la table `t4` avec `generate_series`.

Récupérer la taille de la table t4.

Supprimer les 500 000 **dernières** lignes de la table t4.

Récupérer la taille de la table t4. Que faut-il en déduire ?

Exécuter un VACUUM sur la table t4.

Récupérer la taille de la table t4. Que faut-il en déduire ?

5.13.2 Détecter la fragmentation



But : Détecter la fragmentation

Créer une table t5 avec deux colonnes : c1 de type integer et c2 de type text.

Désactiver l'autovacuum pour la table t5.

Insérer un million de lignes dans la table t5 avec `generate_series`.

- Installer l'extension `pg_freespacemap` (documentation : <https://docs.postgresql.fr/current/pgfreespacemap.html>)
- Que rapporte la fonction `pg_freespace()` quant à l'espace libre de la table t5 ?

- Modifier exactement 200 000 lignes de la table t5.

- Que rapporte `pg_freespace` quant à l'espace libre de la table t5 ?

Exécuter un VACUUM sur la table t5.

Que rapporte `pg_freespace` quant à l'espace libre de la table t5 ?

Récupérer la taille de la table t5.

Exécuter un `VACUUM (FULL, VERBOSE)` sur la table t5.

Récupérer la taille de la table t5 et l'espace libre rapporté par `pg_freespacemap`. Que faut-il en déduire ?

5.13.3 Gestion de l'autovacuum



But : Voir fonctionner l'autovacuum

Créer une table t6 avec une colonne id de type integer.

Insérer un million de lignes dans la table t6 :

```
INSERT INTO t6(id) SELECT generate_series (1, 1000000) ;
```

Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table t6 ? Il faudra peut-être attendre une minute. (Si la version de PostgreSQL est antérieure à la 13, il faudra lancer un `VACUUM t6`.)

Vérifier le nombre de lignes dans `pg_class.rel tuples`.

- Modifier 60 000 lignes supplémentaires de la table t6 avec :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 940000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table t6 ?
- Que faut-il en déduire ?

- Modifier 60 000 lignes supplémentaires de la table t6 avec :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 940000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table t6 ?
- Que faut-il en déduire ?

Descendre le facteur d'échelle de la table t6 à 10 % pour le VACUUM.

- Modifier encore 200 000 autres lignes de la table t6 :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 740000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue pg_stat_user_tables pour la table t6 ?
- Que faut-il en déduire ?

5.14 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

5.14.1 Traiter la fragmentation

Créer une table `t3` avec une colonne `id` de type `integer`.

```
CREATE TABLE t3(id integer);
```

```
CREATE TABLE
```

Désactiver l'autovacuum pour la table `t3`.

```
ALTER TABLE t3 SET (autovacuum_enabled = false);
```

```
ALTER TABLE
```



La désactivation de l'autovacuum ici a un but uniquement pédagogique. En production, c'est une très mauvaise idée !

Insérer un million de lignes dans la table `t3` avec la fonction `generate_series`.

```
INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 1000000);
```

```
INSERT 0 1000000
```

Récupérer la taille de la table `t3`.

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t3'));
```

```
pg_size_pretty
-----
35 MB
```

Supprimer les 500 000 premières lignes de la table `t3`.

```
DELETE FROM t3 WHERE id <= 500000;
```

```
DELETE 500000
```

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t3'));
```

```
pg_size_pretty
-----
35 MB
```

`DELETE` seul ne permet pas de regagner de la place sur le disque. Les lignes supprimées sont uniquement marquées comme étant mortes. Comme l'autovacuum est ici désactivé, PostgreSQL n'a pas encore nettoyé ces lignes.

Exécuter un `VACUUM VERBOSE` sur la table `t3`. Quelle est l'information la plus importante ?

```
VACUUM VERBOSE t3;
```

```
INFO:  vacuuming "public.t3"
INFO:  "t3": removed 500000 row versions in 2213 pages
INFO:  "t3": found 500000 removable, 500000 nonremovable row versions
        in 4425 out of 4425 pages
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet, oldest xmin: 3815272
There were 0 unused item pointers.
Skipped 0 pages due to buffer pins, 0 frozen pages.
0 pages are entirely empty.
CPU: user: 0.09 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.10 s.
VACUUM
```

L'indication :

```
removed 500000 row versions in 2213 pages
```

indique 500 000 lignes ont été nettoyées dans 2213 blocs (en gros, la moitié des blocs de la table).

Pour compléter, l'indication suivante :

```
found 500000 removable, 500000 nonremovable row versions in 4425 out of 4425 pages
```

reprend l'indication sur 500 000 lignes mortes, et précise que 500 000 autres ne le sont pas. Les 4425 pages parcourues correspondent bien à la totalité des 35 Mo de la table complète. C'est la première fois que `VACUUM` passe sur cette table, il est normal qu'elle soit intégralement parcourue.

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t3'));
```

```
pg_size_pretty
-----
35 MB
```

`VACUUM` ne permet pas non plus de gagner en espace disque. Principalement, il renseigne la structure FSM (*free space map*) sur les emplacements libres dans les fichiers des tables.

Exécuter un `VACUUM FULL VERBOSE` sur la table `t3`.

```
VACUUM FULL t3;
```

```
INFO:  vacuuming "public.t3"
INFO:  "t3": found 0 removable, 500000 nonremovable row versions in 4425 pages
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet.
CPU: user: 0.10 s, system: 0.01 s, elapsed: 0.21 s.
VACUUM
```

Récupérer la taille de la table `t3`. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t3'));
```

```
pg_size_pretty
-----
17 MB
```

Là, par contre, nous gagnons en espace disque. Le `VACUUM FULL` reconstruit la table et la fragmentation disparaît.

Créer une table `t4` avec une colonne `id` de type `integer`.

```
CREATE TABLE t4(id integer);
```

```
CREATE TABLE
```

Désactiver l'autovacuum pour la table `t4`.

```
ALTER TABLE t4 SET (autovacuum_enabled = false);
```

```
ALTER TABLE
```

Insérer un million de lignes dans la table `t4` avec `generate_series`.

```
INSERT INTO t4(id) SELECT generate_series(1, 1000000);
```

```
INSERT 0 1000000
```

Récupérer la taille de la table `t4`.

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t4'));
```

```
pg_size_pretty
-----
35 MB
```

Supprimer les 500 000 **dernières** lignes de la table `t4`.

```
DELETE FROM t4 WHERE id > 500000;
```

```
DELETE 500000
```

Récupérer la taille de la table `t4`. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t4'));
```

```
pg_size_pretty
-----
35 MB
```

Là aussi, nous n'avons rien perdu.

Exécuter un `VACUUM` sur la table `t4`.

```
VACUUM t4;
```

```
VACUUM
```

Récupérer la taille de la table t4. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t4'));

pg_size_pretty
-----
17 MB
```

En fait, il existe un cas où il est possible de gagner de l'espace disque suite à un VACUUM simple : quand l'espace récupéré se trouve en fin de table et qu'il est possible de prendre rapidement un verrou exclusif sur la table pour la tronquer. C'est assez peu fréquent mais c'est une optimisation intéressante.

5.14.2 Détecter la fragmentation

Créer une table t5 avec deux colonnes : c1 de type integer et c2 de type text.

```
CREATE TABLE t5 (c1 integer, c2 text);

CREATE TABLE
```

Désactiver l'autovacuum pour la table t5.

```
ALTER TABLE t5 SET (autovacuum_enabled=false);

ALTER TABLE
```

Insérer un million de lignes dans la table t5 avec generate_series.

```
INSERT INTO t5(c1, c2) SELECT i, 'Ligne ' || i FROM generate_series(1, 1000000) AS i;

INSERT 0 1000000
```

- Installer l'extension pg_freespacemap (documentation : <https://docs.postgresql.fr/current/pgfreespacemap.html>)
- Que rapporte la fonction pg_freespace() quant à l'espace libre de la table t5 ?

```
CREATE EXTENSION pg_freespacemap;

CREATE EXTENSION
```

Cette extension installe une fonction nommée pg_freespace, dont la version la plus simple ne demande que la table en argument, et renvoie l'espace libre dans chaque bloc, en octets, *connu de la Free Space Map*.

```
SELECT count(blkno), sum(avail) FROM pg_freespace('t5'::regclass);

count | sum
-----+-----
6274  |    0
```

et donc 6274 blocs (soit 51,4 Mo) sans aucun espace vide.

- Modifier exactement 200 000 lignes de la table t5.
- Que rapporte pg_freespace quant à l'espace libre de la table t5 ?

```
UPDATE t5 SET c2 = upper(c2) WHERE c1 <= 200000;
```

```
UPDATE 200000
```

```
SELECT count(blkno), sum(avail) FROM pg_freespace('t5'::regclass);
```

```
count | sum
-----+-----
 7451 |   32
```

La table comporte donc 20 % de blocs en plus, où sont stockées les nouvelles versions des lignes modifiées. Le champ *avail* indique qu'il n'y a quasiment pas de place libre. (Ne pas prendre la valeur de 32 octets au pied de la lettre, la *Free Space Map* ne cherche pas à fournir une valeur précise.)

Exécuter un VACUUM sur la table t5.

```
VACUUM VERBOSE t5;
```

```
INFO: vacuuming "public.t5"
```

```
INFO: "t5": removed 200000 row versions in 1178 pages
```

```
INFO: "t5": found 200000 removable, 1000000 nonremovable row versions
      in 7451 out of 7451 pages
```

```
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet, oldest xmin: 8685974
```

```
      There were 0 unused item identifiers.
```

```
      Skipped 0 pages due to buffer pins, 0 frozen pages.
```

```
      0 pages are entirely empty.
```

```
      CPU: user: 0.11 s, system: 0.03 s, elapsed: 0.33 s.
```

```
INFO: vacuuming "pg_toast.pg_toast_4160544"
```

```
INFO: index "pg_toast_4160544_index" now contains 0 row versions in 1 pages
```

```
DÉTAIL : 0 index row versions were removed.
```

```
      0 index pages have been deleted, 0 are currently reusable.
```

```
      CPU: user: 0.00 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.00 s.
```

```
INFO: "pg_toast_4160544": found 0 removable, 0 nonremovable row versions in 0 out of
      ↪ 0 pages
```

```
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet, oldest xmin: 8685974
```

```
      There were 0 unused item identifiers.
```

```
      Skipped 0 pages due to buffer pins, 0 frozen pages.
```

```
      0 pages are entirely empty.
```

```
      CPU: user: 0.00 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.00 s.
```

```
VACUUM
```

Que rapporte pg_freespace quant à l'espace libre de la table t5 ?

```
SELECT count(blkno), sum(avail) FROM pg_freespace('t5'::regclass);
```

```
count | sum
-----+-----
 7451 | 8806816
```

Il y a toujours autant de blocs, mais environ 8,8 Mo sont à présent repérés comme libres.

Il faut donc bien exécuter un VACUUM pour que PostgreSQL nettoie les blocs et mette à jour la structure FSM, ce qui nous permet de déduire le taux de fragmentation de la table.

Récupérer la taille de la table t5.

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t5'));
```

```
pg_size_pretty
-----
58 MB
```

Exécuter un VACUUM (FULL, VERBOSE) sur la table t5.

```
VACUUM (FULL, VERBOSE) t5;
```

```
INFO:  vacuuming "public.t5"
INFO:  "t5": found 200000 removable, 1000000 nonremovable row versions in 7451 pages
DÉTAIL : 0 dead row versions cannot be removed yet.
CPU: user: 0.49 s, system: 0.19 s, elapsed: 1.46 s.
VACUUM
```

Récupérer la taille de la table t5 et l'espace libre rapporté par pg_freespacemap. Que faut-il en déduire ?

```
SELECT count(blkno),sum(avail)FROM pg_freespace('t5'::regclass);
```

```
count | sum
-----+-----
6274  |    0
```

```
SELECT pg_size_pretty(pg_table_size('t5'));
```

```
pg_size_pretty
-----
49 MB
```

VACUUM FULL a réécrit la table sans les espaces morts, ce qui nous a fait gagner entre 8 et 9 Mo. La taille de la table maintenant correspond bien à celle de l'ancienne table, moins la place prise par les lignes mortes.

5.14.3 Gestion de l'autovacuum

Créer une table t6 avec une colonne id de type integer.

```
CREATE TABLE t6 (id integer) ;
```

```
CREATE TABLE
```

Insérer un million de lignes dans la table t6 :

```
INSERT INTO t6(id) SELECT generate_series (1, 1000000) ;
```

```
INSERT INTO t6(id) SELECT generate_series (1, 1000000) ;
```

```
INSERT 0 1000000
```

Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table `t6` ? Il faudra peut-être attendre une minute. (Si la version de PostgreSQL est antérieure à la 13, il faudra lancer un `VACUUM t6`.)

\x

Expanded display is on.

```
SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname = 't6' ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
relid          | 4160608
schemaname     | public
relname        | t6
seq_scan       | 0
seq_tup_read   | 0
idx_scan       | ∞
idx_tup_fetch  | ∞
n_tup_ins      | 1000000
n_tup_upd      | 0
n_tup_del      | 0
n_tup_hot_upd  | 0
n_live_tup     | 1000000
n_dead_tup     | 0
n_mod_since_analyze | 0
n_ins_since_vacuum | 0
last_vacuum    | ∞
last_autovacuum | 2021-02-22 17:42:43.612269+01
last_analyze   | ∞
last_autoanalyze | 2021-02-22 17:42:43.719195+01
vacuum_count   | 0
autovacuum_count | 1
analyze_count  | 0
autoanalyze_count | 1
```

Les deux dates `last_autovacuum` et `last_autoanalyze` sont renseignées. Il faudra peut-être attendre une minute que l'autovacuum passe sur la table (voire plus sur une instance chargée par ailleurs).

Le seuil de déclenchement de l'autoanalyze est :

`autovacuum_analyze_scale_factor` × nombre de lignes

+ `autovacuum_analyze_threshold`

soit par défaut $10\% \times 0 + 50 = 50$. Quand il n'y a que des insertions, le seuil pour l'autovacuum est :

`autovacuum_vacuum_insert_scale_factor` × nombre de lignes

+ `autovacuum_vacuum_insert_threshold`

soit $20\% \times 0 + 1000 = 1000$.

Avec un million de nouvelles lignes, les deux seuils sont franchis.



Avec PostgreSQL 12 ou antérieur, seule la ligne `last_autoanalyze` sera remplie. S'il n'y a que des insertions, le démon autovacuum ne lance un `VACUUM` spontanément qu'à partir de PostgreSQL 13.

Jusqu'en PostgreSQL 12, il faut donc lancer manuellement :

```
ANALYZE t6 ;
```

Vérifier le nombre de lignes dans `pg_class.reltuples`.

Vérifions que le nombre de lignes est à jour dans `pg_class` :

```
SELECT * FROM pg_class WHERE relname = 't6' ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
oid          | 4160608
relname      | t6
relnamespace | 2200
reltype      | 4160610
reloftype    | 0
relowner     | 10
relam        | 2
relfilenode  | 4160608
reltablespace | 0
relpages     | 4425
reltuples    | 1e+06
...
```

L'autovacuum se base entre autres sur cette valeur pour décider s'il doit passer ou pas. Si elle n'est pas encore à jour, il faut lancer manuellement :

```
ANALYZE t6 ;
```

ce qui est d'ailleurs généralement conseillé après un gros chargement.

- Modifier 60 000 lignes supplémentaires de la table t6 avec :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 940000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table t6 ?
- Que faut-il en déduire ?

```
UPDATE t6 SET id = 0 WHERE id <= 150000 ;
```

```
UPDATE 150000
```

Le démon *autovacuum* ne se déclenche pas instantanément après les écritures, attendons un peu :

```
SELECT pg_sleep(60) ;
```

```
SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname = 't6' ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
relid        | 4160608
schemaname   | public
relname      | t6
seq_scan     | 1
seq_tup_read | 1000000
```

idx_scan		∞
idx_tup_fetch		∞
n_tup_ins		1000000
n_tup_upd		150000
n_tup_del		0
n_tup_hot_upd		0
n_live_tup		1000000
n_dead_tup		150000
n_mod_since_analyze		0
n_ins_since_vacuum		0
last_vacuum		∞
last_autovacuum		2021-02-22 17:42:43.612269+01
last_analyze		∞
last_autoanalyze		2021-02-22 17:43:43.561288+01
vacuum_count		0
autovacuum_count		1
analyze_count		0
autoanalyze_count		2

Seul `last_autoanalyze` a été modifié, et il reste entre 150 000 lignes morts (`n_dead_tup`). En effet, le démon `autovacuum` traite séparément l'ANALYZE (statistiques sur les valeurs des données) et le VACUUM (recherche des espaces morts). Si l'on recalcule les seuils de déclenchement, on trouve pour l'autoanalyze :

`autovacuum_analyze_scale_factor` × nombre de lignes
+ `autovacuum_analyze_threshold`
soit par défaut $10\% \times 1\,000\,000 + 50 = 100\,050$, dépassé ici.

Pour l'autovacuum, le seuil est de :

`autovacuum_vacuum_insert_scale_factor` × nombre de lignes
+ `autovacuum_vacuum_insert_threshold`
soit $20\% \times 1\,000\,000 + 50 = 200\,050$, qui n'est pas atteint.

- Modifier 60 000 lignes supplémentaires de la table `t6` avec :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 940000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue `pg_stat_user_tables` pour la table `t6` ?
- Que faut-il en déduire ?

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 940000 ;
```

```
UPDATE 60000
```

L'autovacuum ne passe pas tout de suite, les 210 000 lignes mortes au total sont bien visibles :

```
SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname = 't6';
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
reloid      | 4160608
schemaname  | public
relname     | t6
seq_scan    | 3
seq_tup_read | 3000000
```

idx_scan		∞
idx_tup_fetch		∞
n_tup_ins		1000000
n_tup_upd		210000
n_tup_del		0
n_tup_hot_upd		65
n_live_tup		1000000
n_dead_tup		210000
n_mod_since_analyze		60000
n_ins_since_vacuum		0
last_vacuum		∞
last_autovacuum		2021-02-22 17:42:43.612269+01
last_analyze		∞
last_autoanalyze		2021-02-22 17:43:43.561288+01
vacuum_count		0
autovacuum_count		1
analyze_count		0
autoanalyze_count		2

Mais comme le seuil de 200 050 lignes modifiées à été franchi, le démon lance un VACUUM :

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
reloid          | 4160608
schemaname      | public
relname         | t6
seq_scan        | 3
seq_tup_read    | 3000000
idx_scan        | ∞
idx_tup_fetch   | ∞
n_tup_ins       | 1000000
n_tup_upd       | 210000
n_tup_del       | 0
n_tup_hot_upd   | 65
n_live_tup      | 896905
n_dead_tup      | 0
n_mod_since_analyze | 60000
n_ins_since_vacuum | 0
last_vacuum     | ∞
last_autovacuum | 2021-02-22 17:47:43.740962+01
last_analyze    | ∞
last_autoanalyze | 2021-02-22 17:43:43.561288+01
vacuum_count    | 0
autovacuum_count | 2
analyze_count   | 0
autoanalyze_count | 2
```

Noter que `n_dead_tup` est revenu à 0. `last_auto_analyze` indique qu'un nouvel ANALYZE n'a pas été exécuté : seules 60 000 lignes ont été modifiées (voir `n_mod_since_analyze`), en-dessous du seuil de 100 050.

Descendre le facteur d'échelle de la table `t6` à 10 % pour le VACUUM.

```
ALTER TABLE t6 SET (autovacuum_vacuum_scale_factor=0.1);
```

```
ALTER TABLE
```

- Modifier encore 200 000 autres lignes de la table t6 :

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 740000 ;
```

- Attendre une minute.
- Que contient la vue pg_stat_user_tables pour la table t6 ?
- Que faut-il en déduire ?

```
UPDATE t6 SET id=1 WHERE id > 740000 ;
```

```
UPDATE 200000
```

```
SELECT pg_sleep(60);
```

```
SELECT * FROM pg_stat_user_tables WHERE relname='t6' ;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
relid          | 4160608
schemaname     | public
relname        | t6
seq_scan       | 4
seq_tup_read    | 4000000
idx_scan        | 0
idx_tup_fetch   | 0
n_tup_ins       | 1000000
n_tup_upd       | 410000
n_tup_del       | 0
n_tup_hot_upd   | 65
n_live_tup      | 1000000
n_dead_tup      | 0
n_mod_since_analyze | 0
n_ins_since_vacuum | 0
last_vacuum     | 0
last_autovacuum | 2021-02-22 17:53:43.563671+01
last_analyze    | 0
last_autoanalyze | 2021-02-22 17:53:43.681023+01
vacuum_count     | 0
autovacuum_count | 3
analyze_count    | 0
autoanalyze_count | 3
```

Le démon a relancé un VACUUM et un ANALYZE. Avec un facteur d'échelle à 10 %, il ne faut plus attendre que la modification de 100 050 lignes pour que le VACUUM soit déclenché par le démon. C'était déjà le seuil pour l'ANALYZE.

6/ Partitionnement déclaratif (introduction)



- Le partitionnement déclaratif apparaît avec PostgreSQL 10
- Préférer PostgreSQL 13 ou plus récent
- Ne plus utiliser l'ancien partitionnement par héritage.

Ce module introduit le partitionnement déclaratif introduit avec PostgreSQL 10, et amélioré dans les versions suivantes. PostgreSQL 13 au minimum est conseillé pour ne pas être gêné par une des limites levées dans les versions précédentes (et non développées ici).

Le partitionnement par héritage, au fonctionnement totalement différent, reste utilisable, mais ne doit plus servir aux nouveaux développements, du moins pour les cas décrits ici.

6.1 PRINCIPE & INTÉRÊTS DU PARTITIONNEMENT



- Faciliter la maintenance de gros volumes
 - VACUUM (FULL), réindexation, déplacements, sauvegarde logique...
- Performances
 - 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 : VACUUM FULL trop long, espace disque insuffisant, autovacuum pas assez réactif, réindexation interminable... Il est aussi aberrant de conserver beaucoup de données d'archives dans des tables lourdement sollicitées pour les données récentes.

Le partitionnement consiste à séparer une même table en plusieurs sous-tables (partitions) 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 ne sait pas paralléliser la sauvegarde d'une table volumineuse et non partitionnée, mais parallélise celle de différentes partitions d'une même table.

C'est aussi un moyen de déplacer 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.

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 (`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 DÉCLARATIF



- Table partitionnée
 - structure uniquement
 - index/contraintes répercutés sur les partitions
- Partitions :
 - 1 partition = 1 table classique, utilisable directement
 - clé de partitionnement (inclue dans PK/UK)
 - partition par défaut
 - sous-partitions possibles
 - FDW comme partitions possible
 - attacher/détacher une partition

En partitionnement déclaratif, une table partitionnée ne contient pas de données par elle-même. Elle définit la structure (champs, types) et les contraintes et index, qui sont répercutées sur ses partitions.

Une partition est une table à part entière, rattachée à une table partitionnée. Sa structure suit automatiquement celle de la table partitionnée et ses modifications. Cependant, des index ou contraintes supplémentaires propres à cette partition peuvent être ajoutées de la même manière que pour une table classique.

La partition se définit par une « clé de partitionnement », sur une ou plusieurs colonnes. Les lignes de même clé se retrouvent dans la même partition. La clé peut se définir comme :

- une liste de valeurs ;
- une plage de valeurs ;
- une valeur de hachage.

Les clés des différentes partitions ne doivent pas se recouvrir.

Une partition peut elle-même être partitionnée, sur une autre clé, ou la même.

Une table classique peut être attachée à une table partitionnée. Une partition peut être détachée et redevenir une table indépendante normale.

Même une table distante (utilisant *foreign data wrapper*) peut être définie comme partition, avec des restrictions. Pour les performances, préférer alors PostgreSQL 14 au moins.

Les clés étrangères entre tables partitionnées ne sont pas un problème dans les versions récentes de PostgreSQL.

Le routage des données insérées ou modifiées vers la bonne partition est géré de façon automatique en fonction de la définition des partitions. La création d'une partition par défaut permet d'éviter des erreurs si aucune partition ne convient.

De même, à la lecture de la table partitionnée, les différentes partitions nécessaires sont accédées de manière transparente.

Pour le développeur, la table principale peut donc être utilisée comme une table classique. Il vaut mieux cependant qu'il connaisse le mode de partitionnement, pour utiliser la clé autant que possible. La complexité supplémentaire améliorera les performances. L'accès direct aux partitions par leur nom de table reste possible, et peut parfois améliorer les performances. Un développeur pourra aussi purger des données plus rapidement, en effectuant un simple DROP de la partition concernée.

6.2.1 Partitionnement par liste



```
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_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5) ;
...
```

Le partitionnement par liste définit les valeurs d'une colonne acceptables dans chaque partition.

Utilisations courantes : partitionnement par année, par statut, par code géographique...

6.2.2 Partitionnement par intervalle



```
CREATE TABLE logs ( d timestamptz, contenu text) PARTITION BY RANGE (d) ;

CREATE TABLE logs_201901 PARTITION OF logs
    FOR VALUES FROM ('2019-01-01') TO ('2019-02-01');
CREATE TABLE logs_201902 PARTITION OF logs
    FOR VALUES FROM ('2019-02-01') TO ('2019-03-01');
...
CREATE TABLE logs_201912 PARTITION OF logs
    FOR VALUES FROM ('2019-12-01') TO ('2020-01-01');
...
CREATE TABLE logs_autres PARTITION OF logs
    DEFAULT ;                                -- pour ne rien perdre
```

Utilisations courantes : partitionnement par date, par plages de valeurs continues, alphabétiques...

L'exemple ci-dessus utilise le partitionnement par mois. Chaque partition est définie par des plages de date. Noter que la borne supérieure ne fait *pas* partie des données de la partition. Elle doit donc être aussi la borne inférieure de la partie suivante.

La description de la table partitionnée devient :

```
=# \d+ logs
          Table partitionnée « public.logs »
  Colonne |          Type          | ... | Stockage | ...
  ---+-----+-----+-----+-----+
  d       | timestamp with time zone | ... | plain    | ...
  contenu | text                    | ... | extended | ...
Clé de partition : RANGE (d)
Partitions: logs_201901 FOR VALUES FROM ('2019-01-01 00:00:00+01') TO ('2019-02-01
↪ 00:00:00+01'),
           logs_201902 FOR VALUES FROM ('2019-02-01 00:00:00+01') TO ('2019-03-01
↪ 00:00:00+01'),
           ...
           logs_201912 FOR VALUES FROM ('2019-12-01 00:00:00+01') TO ('2020-01-01
↪ 00:00:00+01'),
           logs_autres DEFAULT
```

La partition par défaut reçoit toutes les données qui ne vont dans aucune autre partition : cela évite des erreurs d'insertion. Il vaut mieux que la partition par défaut reste très petite.

Il est possible de définir des plages sur plusieurs champs :

```
CREATE TABLE tt_a PARTITION OF tt
FOR VALUES FROM (1, '2020-08-10') TO (100, '2020-08-11') ;
```

6.2.3 Partitionnement par hachage



- Hachage des valeurs
- Répartition homogène
- Indiquer un modulo et un reste

```
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) ;
```

Ce type de partitionnement vise à répartir la volumétrie dans plusieurs partitions de manière homogène, quand il n'y a pas de clé évidente. En général, il y aura plus que 3 partitions.

6.3 PERFORMANCES & PARTITIONNEMENT



- Insertions via la table principale
 - quasi aucun impact
- Lecture depuis la table principale
 - attention à la clé
- Purge
 - simple DROP ou DETACH
- Trop de partitions
 - attention au temps de planification

Des INSERT dans la table partitionnée seront redirigés directement dans les bonnes partitions avec un impact en performances quasi négligeable.

Lors des lectures ou jointures, il est important de préciser autant que possible la clé de jointure, si elle est pertinente. Dans le cas contraire, toutes les tables de la partition seront interrogées.

Dans cet exemple, la table comprend 10 partitions :

```
=# EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT COUNT(*) FROM pgbench_accounts ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Finalize Aggregate
-> Gather
  Workers Planned: 2
  -> Parallel Append
    -> Partial Aggregate
      -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_1_pkey on
      ↪ pgbench_accounts_1 pgbench_accounts
        -> Partial Aggregate
          -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_2_pkey on
          ↪ pgbench_accounts_2 pgbench_accounts_1
            -> Partial Aggregate
              -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_3_pkey on
              ↪ pgbench_accounts_3 pgbench_accounts_2
                -> Partial Aggregate
                  -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_4_pkey on
                  ↪ pgbench_accounts_4 pgbench_accounts_3
                    -> Partial Aggregate
                      -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_5_pkey on
                      ↪ pgbench_accounts_5 pgbench_accounts_4
                        -> Partial Aggregate
```

```
-> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_6_pkey on
↪ pgbench_accounts_6 pgbench_accounts_5
  -> Partial Aggregate
    -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_7_pkey on
↪ pgbench_accounts_7 pgbench_accounts_6
  -> Partial Aggregate
    -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_8_pkey on
↪ pgbench_accounts_8 pgbench_accounts_7
  -> Partial Aggregate
    -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_9_pkey on
↪ pgbench_accounts_9 pgbench_accounts_8
  -> Partial Aggregate
    -> Parallel Index Only Scan using pgbench_accounts_10_pkey on
↪ pgbench_accounts_10 pgbench_accounts_9
```

Avec la clé, PostgreSQL se restreint à la (ou les) bonne(s) partition(s) :

```
=# EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 599999 ;
```

QUERY PLAN

```
-----
Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1 pgbench_accounts
  Index Cond: (aid = 599999)
```

Si l'on connaît la clé et que le développeur sait en déduire la table, il est aussi possible d'accéder directement à la partition :

```
=# EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM pgbench_accounts_6 WHERE aid = 599999 ;
```

QUERY PLAN

QUERY PLAN

```
-----
Index Scan using pgbench_accounts_6_pkey on pgbench_accounts_6
  Index Cond: (aid = 599999)
```

Cela allège la planification, surtout s'il y a beaucoup de partitions.

Exemples :

- dans une table partitionnée par statut de commande, beaucoup de requêtes ne s'occupent que d'un statut particulier, et peuvent donc n'appeler que la partition concernée (attention si le statut change...);
- dans une table partitionnée par mois de création d'une facture, la date de la facture permet de s'adresser directement à la bonne partition.

Il est courant que les ORM ne sachent pas exploiter cette fonctionnalité.

6.3.1 Attacher/détacher une partition



```
ALTER TABLE logs ATTACH PARTITION logs_archives  
FOR VALUES FROM (MINVALUE) TO ('2019-01-01') ;
```

- Vérification du respect de la contrainte
 - parcours complet de la table: lent + verrou !

```
ALTER TABLE logs DETACH PARTITION logs_archives ;
```

- Rapide... mais verrou

Attacher une table existante à une table partitionnée implique de définir une clé de partitionnement. PostgreSQL vérifiera que les valeurs présentes correspondent bien à cette clé. Cela peut être long, surtout que le verrou nécessaire sur la table est gênant. Pour accélérer les choses, il est conseillé d'ajouter au préalable une contrainte CHECK correspondant à la clé, voire d'ajouter d'avance les index qui seraient ajoutés lors du rattachement.

Détacher une partition est beaucoup plus rapide qu'en attacher une. Cependant, là encore, le verrou peut être gênant.

6.3.2 Supprimer une partition



```
DROP TABLE logs_2018 ;
```

Là aussi, l'opération est simple et rapide, mais demande un verrou exclusif.

6.3.3 Limitations principales du partitionnement déclaratif



- Temps de planification ! Max ~ 100 partitions
- Création non automatique
- Pas d'héritage multiple, schéma fixe
- Partitions distantes sans propagation d'index
- Limitations avant PostgreSQL 13/14

Certaines limitations du partitionnement sont liées à son principe. Les partitions ont forcément le même schéma de données que leur partition mère. Il n'y a pas de notion d'héritage multiple.



La création des partitions n'est pas automatique (par exemple dans un partitionnement par date). Il faudra prévoir de les créer par avance.



Une limitation sérieuse du partitionnement tient au temps de planification qui augmente très vite avec le nombre de partitions, même petites. En général, on considère qu'il ne faut pas dépasser 100 partitions.

Pour contourner cette limite, il reste possible de manipuler directement les partitions s'il est facile de trouver leur nom.



Avant PostgreSQL 13, de nombreuses limitations rendent l'utilisation moins pratique ou moins performante. Si le partitionnement vous intéresse, il est conseillé d'utiliser une version la plus récente possible.

6.4 CONCLUSION



- Préférer une version récente de PostgreSQL
- Pour plus de détails sur le partitionnement
 - https://dali.bo/v1_html

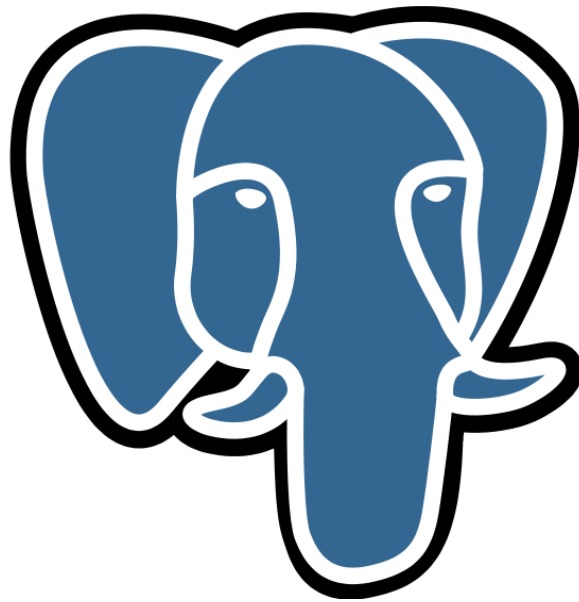
Le partitionnement déclaratif apparu en version 10 est mûr dans les dernières versions. Il introduit une complexité supplémentaire, mais peut rendre de grands services quand la volumétrie augmente.

6.5 QUIZ



https://dali.bo/v0_quiz

7/ Sauvegarde physique à chaud et PITR



7.1 INTRODUCTION



- Sauvegarde traditionnelle
 - sauvegarde `pg_dump` à chaud
 - sauvegarde des fichiers à froid
- Insuffisant pour les grosses bases
 - long à sauvegarder
 - encore plus long à restaurer
- Perte de données potentiellement importante
 - car impossible de réaliser fréquemment une sauvegarde
- Une solution : la sauvegarde PITR

La sauvegarde traditionnelle, qu'elle soit logique ou physique à froid, répond à beaucoup de besoins. Cependant, ce type de sauvegarde montre de plus en plus ses faiblesses pour les gros volumes : la sauvegarde est longue à réaliser et encore plus longue à restaurer. Et plus une sauvegarde met du temps, moins fréquemment on l'exécute. La fenêtre de perte de données devient plus importante.

PostgreSQL propose une solution à ce problème avec la sauvegarde physique à chaud. On peut l'utiliser comme un simple mode de sauvegarde supplémentaire, mais elle permet bien d'autres possibilités, d'où le nom de PITR (*Point In Time Recovery*).

7.1.1 Au menu



- Mettre en place la sauvegarde PITR
 - sauvegarde : manuelle, ou avec `pg_basebackup`
 - archivage : manuel, ou avec `pg_receivewal`
- Restaurer une sauvegarde PITR
- Des outils

Ce module fait le tour de la sauvegarde PITR, de la mise en place de l'archivage (de manière manuelle ou avec l'outil `pg_receivewal`) à la sauvegarde des fichiers (là aussi, en manuel, ou avec l'outil `pg_basebackup`). Il discute aussi de la restauration d'une telle sauvegarde. Nous évoquerons très rapidement quelques outils externes pour faciliter ces sauvegardes.

NB : `pg_receivewal` s'appelait `pg_receivexlog` avant PostgreSQL 10.

7.2 PITR



- *Point In Time Recovery*
- À chaud
- En continu
- Cohérente

PITR est l'acronyme de *Point In Time Recovery*, autrement dit restauration à un point dans le temps.

C'est une sauvegarde à chaud et surtout en continu. Là où une sauvegarde logique du type `pg_dump` se fait au mieux une fois toutes les 24 h, la sauvegarde PITR se fait en continu grâce à l'archivage des journaux de transactions. De ce fait, ce type de sauvegarde diminue très fortement la fenêtre de perte de données.

Bien qu'elle se fasse à chaud, la sauvegarde est cohérente.

7.2.1 Principes



- Les journaux de transactions contiennent toutes les modifications
- Il faut les archiver
 - ...et avoir une image des fichiers à un instant t
- La restauration se fait en restaurant cette image
 - ...et en rejouant les journaux
 - dans l'ordre
 - entièrement
 - ou partiellement (*ie* jusqu'à un certain moment)

Quand une transaction est validée, les données à écrire dans les fichiers de données sont d'abord écrites dans un journal de transactions. Ces journaux décrivent donc toutes les modifications survenant sur les fichiers de données, que ce soit les objets utilisateurs comme les objets systèmes. Pour reconstruire un système, il suffit donc d'avoir ces journaux et d'avoir un état des fichiers du répertoire des données à un instant t. Toutes les actions effectuées après cet instant t pourront être rejouées en demandant à PostgreSQL d'appliquer les actions contenues dans les journaux. Les opérations stockées dans les journaux correspondent à des modifications physiques de fichiers, il faut donc partir d'une sauvegarde au niveau du système de fichier, un export avec `pg_dump` n'est pas utilisable.

Il est donc nécessaire de conserver ces journaux de transactions. Or PostgreSQL les recycle dès qu'il n'en a plus besoin. La solution est de demander au moteur de les archiver ailleurs avant ce recyclage. On doit aussi disposer de l'ensemble des fichiers qui composent le répertoire des données (incluant les tablespaces si ces derniers sont utilisés).

La restauration a besoin des journaux de transactions archivés. Il ne sera pas possible de restaurer et éventuellement revenir à un point donné avec la sauvegarde seule. En revanche, une fois la sauvegarde des fichiers restaurée et la configuration réalisée pour rejouer les journaux archivés, il sera possible de les rejouer tous ou seulement une partie d'entre eux (en s'arrêtant à un certain moment). Ils doivent impérativement être rejoués dans l'ordre de leur écriture (et donc de leur nom).

7.2.2 Avantages



- Sauvegarde à chaud
- Rejeu d'un grand nombre de journaux
- Moins de perte de données

Tout le travail est réalisé à chaud, que ce soit l'archivage des journaux ou la sauvegarde des fichiers de la base. En effet, il importe peu que les fichiers de données soient modifiés pendant la sauvegarde car les journaux de transactions archivés permettront de corriger toute incohérence par leur application.

Il est possible de rejouer un très grand nombre de journaux (une journée, une semaine, un mois, etc.). Évidemment, plus il y a de journaux à appliquer, plus cela prendra du temps. Mais il n'y a pas de limite au nombre de journaux à rejouer.

Dernier avantage, c'est le système de sauvegarde qui occasionnera le moins de perte de données. Généralement, une sauvegarde `pg_dump` s'exécute toutes les nuits, disons à 3 h du matin. Supposons qu'un gros problème survienne à midi. S'il faut restaurer la dernière sauvegarde, la perte de données sera de 9 h. Le volume maximum de données perdu correspond à l'espacement des sauvegardes. Avec l'archivage continu des journaux de transactions, la fenêtre de perte de données va être fortement réduite. Plus l'activité est intense, plus la fenêtre de temps sera petite : il faut changer de fichier de journal pour que le journal précédent soit archivé et les fichiers de journaux sont de taille fixe.

Pour les systèmes n'ayant pas une grosse activité, il est aussi possible de forcer un changement de journal à intervalle régulier, ce qui a pour effet de forcer son archivage, et donc dans les faits de pouvoir s'assurer une perte correspondant au maximum à cet intervalle.

7.2.3 Inconvénients



- Sauvegarde de l'instance complète
- Nécessite un grand espace de stockage (données + journaux)
- Risque d'accumulation des journaux
 - dans `pg_wal` en cas d'échec d'archivage... avec arrêt si il est plein !
 - dans le dépôt d'archivage si échec des sauvegardes
- Restauration de l'instance complète
- Impossible de changer d'architecture (même OS conseillé)
- Plus complexe

Certains inconvénients viennent directement du fait qu'on copie les fichiers : sauvegarde et restauration complète (impossible de ne restaurer qu'une seule base ou que quelques tables), restauration sur la même architecture (32/64 bits, *little/big endian*). Il est même fortement conseillé de restaurer dans la même version du même système d'exploitation, sous peine de devoir réindexer l'instance (différence de définition des locales notamment).

Elle nécessite en plus un plus grand espace de stockage car il faut sauvegarder les fichiers (dont les index) ainsi que les journaux de transactions sur une certaine période, ce qui peut être volumineux (en tout cas beaucoup plus que des `pg_dump`).

En cas de problème dans l'archivage et selon la méthode choisie, l'instance ne voudra pas effacer les journaux non archivés. Il y a donc un risque d'accumulation de ceux-ci. Il faudra donc surveiller la taille du `pg_wal`. En cas de saturation, PostgreSQL s'arrête !

Enfin, la sauvegarde PITR est plus complexe à mettre en place qu'une sauvegarde `pg_dump`. Elle nécessite plus d'étapes, une réflexion sur l'architecture à mettre en œuvre et une meilleure compréhension des mécanismes internes à PostgreSQL pour en avoir la maîtrise.

7.3 COPIE PHYSIQUE À CHAUD PONCTUELLE AVEC PG_BASEBACKUP



- Réalise les différentes étapes d'une sauvegarde
 - via 1 ou 2 connexions de réplication + slots de réplication
 - base backup + journaux
- Copie intégrale,
 - image de la base à la **fin** du backup
- Fichier manifeste (v13+)
- Comprime la sauvegarde côté serveur ou client (v15+)
- Pas d'incrémental
- Configuration : *streaming* (rôle, droits, slots)

```
$ pg_basebackup --format=tar --wal-method=stream \
--checkpoint=fast --progress -h 127.0.0.1 -U sauve \
-D /var/lib/postgresql/backups/
```

Description :

pg_basebackup est un produit qui a beaucoup évolué dans les dernières versions de PostgreSQL. De plus, le paramétrage par défaut depuis la version 10 le rend immédiatement utilisable.

Il permet de réaliser toute la sauvegarde de la base, à distance, via deux connexions de réplication : une pour les données, une pour les journaux de transactions qui sont générés pendant la copie. Sa compression permet d'éviter une durée de transfert ou une place disque occupée trop importante. Cela a évidemment un coût, notamment au niveau CPU, sur le serveur ou sur le client suivant le besoin. Il est simple à mettre en place et à utiliser, et permet d'éviter de nombreuses étapes que nous verrons par la suite.

Par contre, il ne permet pas de réaliser une sauvegarde incrémentale, et ne permet pas de continuer à archiver les journaux, contrairement aux outils de PITR classiques. Cependant, ceux-ci peuvent l'utiliser pour réaliser la première copie des fichiers d'une instance.

Mise en place :

pg_basebackup nécessite des connexions de réplication. Il peut utiliser un slot de réplication, une technique qui fiabilise la sauvegarde ou la réplication en indiquant à l'instance quels journaux elle doit conserver. Par défaut, tout est en place pour cela dans PostgreSQL 10 et suivants pour une connexion en local :

```
wal_level = replica
max_wal_senders = 10
max_replication_slots = 10
```

Ensuite, il faut configurer le fichier `pg_hba.conf` pour accepter la connexion du serveur où est exécutée `pg_basebackup`. Dans notre cas, il s'agit du même serveur avec un utilisateur dédié :

```
host replication sauve 127.0.0.1/32 scram-sha-256
```

Enfin, il faut créer un utilisateur dédié à la réplication (ici `sauve`) qui sera le rôle créant la connexion et lui attribuer un mot de passe :

```
CREATE ROLE sauve LOGIN REPLICATION;  
\password sauve
```

Dans un but d'automatisation, le mot de passe finira souvent dans un fichier `.pgpass` ou équivalent.

Il ne reste plus qu'à :

- lancer `pg_basebackup`, ici en lui demandant une archive au format `tar` ;
- archiver les journaux en utilisant une connexion de réplication par *streaming* ;
- forcer le *checkpoint*.

Cela donne la commande suivante, ici pour une sauvegarde en local :

```
$ pg_basebackup --format=tar --wal-method=stream \  
--checkpoint=fast --progress -h 127.0.0.1 -U sauve \  
-D /var/lib/postgresql/backups/
```

```
644320/644320 kB (100%), 1/1 tablespace
```

Le résultat est ici un ensemble des deux archives : les journaux sont à part et devront être dépaquetés dans le `pg_wal` à la restauration.

```
$ ls -l /var/lib/postgresql/backups/  
total 4163772  
-rw----- 1 postgres postgres 659785216 Oct  9 11:37 base.tar  
-rw----- 1 postgres postgres 16780288 Oct  9 11:37 pg_wal.tar
```

La cible doit être vide. En cas d'arrêt avant la fin, il faudra tout recommencer de zéro, c'est une limite de l'outil.

Restauration :

Pour restaurer, il suffit de remplacer le PGDATA corrompu par le contenu de l'archive, ou de créer une nouvelle instance et de remplacer son PGDATA par cette sauvegarde. Au démarrage, l'instance repérera qu'elle est une sauvegarde restaurée et réappliquera les journaux. L'instance contiendra les données telles qu'elles étaient à la **fin** du `pg_basebackup`.

Noter que les fichiers de configuration ne sont PAS inclus s'ils ne sont pas dans le PGDATA, notamment sur Debian et ses versions dérivées.

Différences entre les versions :

À partir de la v10, un slot temporaire sera créé par défaut pour garantir que le serveur gardera les journaux jusqu'à leur copie intégrale.

À partir de la version 13, la commande `pg_basebackup` crée un fichier manifeste contenant la liste des fichiers sauvegardés, leur taille et une somme de contrôle. Cela permet de vérifier la sauvegarde

avec l'outil `pg_verifybackup` (ce dernier ne fonctionne hélas que sur une sauvegarde au format `plain`, ou décompressée).

Lisez bien la documentation de `pg_basebackup`¹ pour votre version précise de PostgreSQL, des options ont changé de nom au fil des versions.



Même avec un serveur un peu ancien, il est possible d'installer un `pg_basebackup` récent, en installant les outils clients de la dernière version de PostgreSQL.

L'outil est développé plus en détail dans notre module I4².

¹<https://docs.postgresql.fr/current/app-pgbasebackup.html>

²https://dali.bo/i4_html

7.4 SAUVEGARDE PITR



2 étapes :

- Archivage des journaux de transactions
 - archivage interne
 - ou outil `pg_receivewal`
- Sauvegarde des fichiers
 - `pg_basebackup`
 - ou manuellement (outils de copie classiques)

Même si la mise en place est plus complexe qu'un `pg_dump`, la sauvegarde PITR demande peu d'étapes. La première chose à faire est de mettre en place l'archivage des journaux de transactions. Un choix est à faire entre un archivage classique et l'utilisation de l'outil `pg_receivewal`.

Lorsque cette étape est réalisée (et fonctionnelle), il est possible de passer à la seconde : la sauvegarde des fichiers. Là-aussi, il y a différentes possibilités : soit manuellement, soit `pg_basebackup`, soit son propre script ou un outil extérieur.

7.4.1 Méthodes d'archivage



- Deux méthodes :
 - processus interne `archiver`
 - outil `pg_receivewal` (flux de réplication)

La méthode historique est la méthode utilisant le processus `archiver`. Ce processus fonctionne sur le serveur à sauvegarder et est de la responsabilité du serveur PostgreSQL. Seule sa (bonne) configuration incombe au DBA.

Une autre méthode existe : `pg_receivewal`. Cet outil livré aussi avec PostgreSQL se comporte comme un serveur secondaire. Il reconstitue les journaux de transactions à partir du flux de réplication.

Chaque solution a ses avantages et inconvénients qu'on étudiera après avoir détaillé leur mise en place.

7.4.2 Choix du répertoire d'archivage



- À faire quelle que soit la méthode d'archivage
- Attention aux droits d'écriture dans le répertoire
 - la commande configurée pour la copie doit pouvoir écrire dedans
 - et potentiellement y lire

Dans le cas de l'archivage historique, le serveur PostgreSQL va exécuter une commande qui va copier les journaux à l'extérieur de son répertoire de travail :

- sur un disque différent du même serveur ;
- sur un disque d'un autre serveur ;
- sur des bandes, un CDROM, etc.

Dans le cas de l'archivage avec `pg_receivewal`, c'est cet outil qui va écrire les journaux dans un répertoire de travail. Cette écriture ne peut se faire qu'en local. Cependant, le répertoire peut se trouver dans un montage NFS.

L'exemple pris ici utilise le répertoire `/mnt/nfs1/archivage` comme répertoire de copie. Ce répertoire est en fait un montage NFS. Il faut donc commencer par créer ce répertoire et s'assurer que l'utilisateur Unix (ou Windows) `postgres` peut écrire dedans :

```
# mkdir /mnt/nfs1/archivage
# chown postgres:postgres /mnt/nfs1/archivage
```

7.4.3 Processus archiver : configuration



- configuration (`postgresql.conf`)
 - `wal_level = replica`
 - `archive_mode = on` (ou `always`)
 - `archive_command = '... une commande ...'`
 - ou: `archive_library = '... une bibliothèque ...'` (v15+)
 - `archive_timeout = '... min'`
- Ne pas oublier de forcer l'écriture de l'archive sur disque
- Code retour de l'archivage entre 0 (ok) et 125

Après avoir créé le répertoire d'archivage, il faut configurer PostgreSQL pour lui indiquer comment archiver.

Niveau d'archivage :

La valeur par défaut de `wal_level` est adéquate :

```
wal_level = replica
```

Ce paramètre indique le niveau des informations écrites dans les journaux de transactions. Avec un niveau `minimal`, les journaux ne servent qu'à garantir la cohérence des fichiers de données en cas de crash. Dans le cas d'un archivage, il faut écrire plus d'informations, d'où la nécessité du niveau `replica` (défaut à partir de PostgreSQL 10).

Le niveau `logical`, nécessaire à la réplication logique³, convient également.

Mode d'archivage :

Il s'active ainsi sur une instance seule ou primaire :

```
archive_mode = on
```

(La valeur `always` permet d'archiver depuis un secondaire). Le changement nécessite un redémarrage !

Enfin, une commande d'archivage doit être définie par le paramètre `archive_command`. `archive_command` sert à archiver un seul fichier à chaque appel. PostgreSQL l'appelle une fois pour chaque fichier WAL, impérativement dans l'ordre des fichiers. En cas d'échec, elle est répétée indéfiniment jusqu'à réussite, avant de passer à l'archivage du fichier suivant. C'est la technique encore la plus utilisée.

(Noter qu'à partir de la version 15, il existe une alternative, avec l'utilisation du paramètre `archive_library`. Il est possible d'indiquer une bibliothèque partagée qui fera ce travail d'archivage. Une telle bibliothèque, écrite en C, devrait être plus puissante et performante. Un module basique est fourni avec PostgreSQL : `basic_archive`⁴). Notre blog présente un exemple fonctionnel de module d'archivage⁵ utilisant une extension en C pour compresser les journaux de transactions. Mais en production, il vaudra mieux utiliser une bibliothèque fournie par un outil PITR reconnu. Cependant, à notre connaissance (en août 2023), aucun outil connu n'utilise encore cette fonctionnalité.)

Exemples d'archive_command :

PostgreSQL laisse le soin à l'administrateur de définir la méthode d'archivage des journaux de transactions suivant son contexte. Si vous utilisez un outil de sauvegarde, la commande vous sera probablement fournie. Une simple commande de copie suffit dans la plupart des cas. La directive `archive_command` peut alors être positionnée comme suit :

```
archive_command = 'cp %p /mnt/nfs1/archivage/%f'
```

Le joker `%p` est remplacé par le chemin complet vers le journal de transactions à archiver, alors que le joker `%f` correspond au nom du journal de transactions une fois archivé.

³https://dali.bo/w5_html

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/basic-archive.html>

⁵<https://blog.dalibo.com/2023/07/28/hackingpg2.html>

En toute rigueur, une copie du fichier ne suffit pas. Par exemple, dans le cas de la commande `cp`, le nouveau fichier n'est pas immédiatement écrit sur disque. La copie est effectuée dans le cache disque du système d'exploitation. En cas de crash juste après la copie, il est tout à fait possible de perdre l'archive. Il est donc essentiel d'ajouter une étape de synchronisation du cache sur disque.

La commande d'archivage suivante est donnée dans la documentation officielle à titre d'exemple :

```
archive_command = 'test ! -f /mnt/server/archivedir/%f && cp %p  
↳ /mnt/server/archivedir/%f'
```



Cette commande a deux inconvénients. Elle ne garantit pas que les données seront synchronisées sur disque. De plus si le fichier existe ou a été copié partiellement à cause d'une erreur précédente, la copie ne s'effectuera pas.

Cette protection est une bonne chose. Cependant, il faut être vigilant lorsque l'on rétablit le fonctionnement de l'*archiver* suite à un incident ayant provoqué des écritures partielles dans le répertoire d'archive, comme une saturation de l'espace disque.

Il est aussi possible d'y placer le nom d'un script bash, perl ou autre. L'intérêt est de pouvoir faire plus qu'une simple copie. On peut y ajouter la demande de synchronisation du cache sur disque. Il peut aussi être intéressant de tracer l'action de l'archivage par exemple, ou encore de compresser le journal avant archivage.



Il faut s'assurer d'une seule chose : la commande d'archivage doit retourner 0 en cas de réussite et surtout une valeur différente de 0 en cas d'échec.

Si le code retour de la commande est compris entre 1 et 125, PostgreSQL va tenter périodiquement d'archiver le fichier jusqu'à ce que la commande réussisse (autrement dit, renvoie 0).

Tant qu'un fichier journal n'est pas considéré comme archivé avec succès, PostgreSQL ne le supprimera ou recyclera pas !

Il ne cherchera pas non plus à archiver les fichiers suivants.



De plus si le code retour de la commande est supérieur à 125, le processus *archiver* redémarrera, et l'erreur ne sera pas comptabilisée dans la vue `pg_stat_archiver` ! Ce cas de figure inclut les erreurs de type `command not found` associées aux codes retours 126 et 127, ou le cas de `rsync`, qui renvoie un code retour 255 en cas d'erreur de syntaxe ou de configuration du `ssh`.

Il est donc important de surveiller le processus d'archivage et de faire remonter les problèmes à un opérateur. Les causes d'échec sont nombreuses : problème réseau, montage inaccessible, erreur de

paramétrage de l'outil, droits insuffisants ou expirés, génération de journaux trop rapide...

À titre d'exemple encore, les commandes utilisées par pgBackRest ou barman ressemblent à ceci :

```
# pgBackRest
archive_command='/usr/bin/pgbackrest --stanza=prod archive-push %p'

# barman
archive_command='/usr/bin/barman-wal-archive backup prod %p'
```



Enfin, le paramétrage suivant archive « dans le vide ». Cette astuce est utilisée lors de certains dépannages, ou pour éviter le redémarrage que nécessiterait la désactivation de `archive_mode`.

```
archive_mode = on
archive_command = '/bin/true'
```

Période minimale entre deux archivages :

Si l'activité en écriture est très réduite, il peut se passer des heures entre deux archivages de journaux. Il est alors conseillé de garantir qu'un archivage aura lieu périodiquement en indiquant un délai maximum entre deux archivages :

```
archive_timeout = '5min'
```

(La valeur par défaut, 0, désactive ce comportement.) Une conséquence sera l'archivage de journaux de transactions partiellement remplis. Comme la taille reste fixe (16 Mo par fichier par défaut), la consommation en terme d'espace disque sera donc plus importante (la compression par l'outil d'archivage compense généralement cela), et le temps de restauration plus long.

7.4.4 Processus archiver : lancement



- Redémarrage de PostgreSQL
 - si modification de `wal_level` et/ou `archive_mode`
- ou rechargement de la configuration

Il ne reste plus qu'à indiquer à PostgreSQL de recharger sa configuration pour que l'archivage soit en place (avec `SELECT pg_reload_conf();` ou la commande `reload` adaptée au système). Dans le cas où l'un des paramètres `wal_level` et `archive_mode` a été modifié, il faudra relancer PostgreSQL.

7.4.5 Processus archiver : supervision



- Vue `pg_stat_archiver`
- `pg_wal/archive_status/`
- Taille de `pg_wal`
 - si saturation : Arrêt !
- Traces

PostgreSQL archive les journaux impérativement dans l'ordre.



S'il y a un problème d'archivage d'un journal, les suivants ne seront pas archivés non plus, et vont s'accumuler dans `pg_wal` ! De plus, une saturation de la partition portant `pg_wal` mènera à l'arrêt de l'instance PostgreSQL !

La supervision se fait de quatre manières complémentaires.

Taille :

Si le répertoire `pg_wal` commence à grossir fortement, c'est que PostgreSQL n'arrive plus à recycler ses journaux de transactions : c'est un indicateur d'une commande d'archivage n'arrivant pas à faire son travail pour une raison ou une autre. Ce peut être temporaire si l'archivage est juste lent. Si l'archivage est bloqué, ce répertoire grossira indéfiniment.

Vue `pg_stat_archiver` :

La vue système `pg_stat_archiver` indique les derniers journaux archivés et les dernières erreurs. Dans l'exemple suivant, il y a eu un problème pendant quelques secondes, d'où 6 échecs, avant que l'archivage reprenne :

```
# SELECT * FROM pg_stat_archiver \gx
-[ RECORD 1 ]-----+-----
archived_count      | 156
last_archived_wal   | 00000002000000001000000D9
last_archived_time  | 2020-01-17 18:26:03.715946+00
failed_count        | 6
last_failed_wal     | 00000002000000001000000D7
last_failed_time    | 2020-01-17 18:24:24.463038+00
stats_reset         | 2020-01-17 16:08:37.980214+00
```

Comme dit plus haut, pour que cette supervision soit fiable, la commande exécutée doit renvoyer un code retour inférieur ou égal à 125. Dans le cas contraire, le processus archiver redémarre et l'erreur n'apparaît pas dans la vue !

Traces :

On trouvera la sortie et surtout les messages d'erreurs du script d'archivage dans les traces (qui dépendent bien sûr du script utilisé) :

```
2020-01-17 18:24:18.427 UTC [15431] LOG:  archive command failed with exit code 3
2020-01-17 18:24:18.427 UTC [15431] DETAIL:  The failed archive command was:
    rsync pg_wal/0000000200000001000000D7 /opt/pgsql/archives/0000000200000001000000D7
rsync: change_dir#3 "/opt/pgsql/archives" failed: No such file or directory (2)
rsync error: errors selecting input/output files, dirs (code 3) at main.c(695)
[Receiver=3.1.2]
2020-01-17 18:24:19.456 UTC [15431] LOG:  archive command failed with exit code 3
2020-01-17 18:24:19.456 UTC [15431] DETAIL:  The failed archive command was:
    rsync pg_wal/0000000200000001000000D7 /opt/pgsql/archives/0000000200000001000000D7
rsync: change_dir#3 "/opt/pgsql/archives" failed: No such file or directory (2)
rsync error: errors selecting input/output files, dirs (code 3) at main.c(695)
[Receiver=3.1.2]
2020-01-17 18:24:20.463 UTC [15431] LOG:  archive command failed with exit code 3
```

C'est donc le premier endroit à regarder en cas de souci ou lors de la mise en place de l'archivage.

pg_wal/archive_status :

Enfin, on peut monitorer les fichiers présents dans `pg_wal/archive_status`. Les fichiers `.ready`, de taille nulle, indiquent en permanence quels sont les journaux prêts à être archivés. Théoriquement, leur nombre doit donc rester faible et retomber rapidement à 0 ou 1. Le service `ready_archives` de la sonde Nagios `check_pgactivity`⁶ se base sur ce répertoire.

```
postgres=# SELECT * FROM pg_ls_dir ('pg_wal/archive_status') ORDER BY 1;
```

```
      pg_ls_dir
-----
0000000200000001000000DE.done
0000000200000001000000DF.done
0000000200000001000000E0.done
0000000200000001000000E1.ready
0000000200000001000000E2.ready
0000000200000001000000E3.ready
0000000200000001000000E4.ready
0000000200000001000000E5.ready
0000000200000001000000E6.ready
00000002.history.done
```

⁶https://github.com/OPMDG/check_pgactivity

7.4.6 pg_receivewal



- Archivage via le protocole de réplication
- Enregistre en local les journaux de transactions
- Permet de faire de l'archivage PITR
 - toujours au plus près du primaire
- Slots de réplication obligatoires

`pg_receivewal` est un outil permettant de se faire passer pour un serveur secondaire utilisant la réplication en flux (*streaming replication*) dans le but d'archiver en continu les journaux de transactions. Il fonctionne habituellement sur un autre serveur, où seront archivés les journaux. C'est une alternative à l'archiver.

Comme il utilise le protocole de réplication, les journaux archivés ont un retard bien inférieur à celui induit par la configuration du paramètre `archive_command` ou du paramètre `archive_library`, les journaux de transactions étant écrits au fil de l'eau avant d'être complets. Cela permet donc de faire de l'archivage PITR avec une perte de données minimum en cas d'incident sur le serveur primaire. On peut même utiliser une réplication synchrone (paramètres `synchronous_commit` et `synchronous_standby_names`) pour ne perdre aucune transaction, si l'on accepte un impact certain sur la latence des transactions.

Cet outil utilise les mêmes options de connexion que la plupart des outils PostgreSQL, avec en plus l'option `-D` pour spécifier le répertoire où sauvegarder les journaux de transactions. L'utilisateur spécifié doit bien évidemment avoir les attributs `LOGIN` et `REPLICATION`.

Comme il s'agit de conserver toutes les modifications effectuées par le serveur dans le cadre d'une sauvegarde permanente, il est nécessaire de s'assurer qu'on ne puisse pas perdre des journaux de transactions. Il n'y a qu'un seul moyen pour cela : utiliser la technologie des slots de réplication. En utilisant un slot de réplication, `pg_receivewal` s'assure que le serveur ne va pas recycler des journaux dont `pg_receivewal` n'aurait pas reçu les enregistrements. On retrouve donc le risque d'accumulation des journaux sur le serveur principal si `pg_receivewal` ne fonctionne pas.

Voici l'aide de cet outil en v15 :

```
$ pg_receivewal --help
pg_receivewal reçoit le flux des journaux de transactions PostgreSQL.
```

```
Usage :
  pg_receivewal [OPTION]...
```

```
Options :
  -D, --directory=RÉPERTOIRE    reçoit les journaux de transactions dans ce
                                répertoire
  -E, --endpos=LSN              quitte après avoir reçu le LSN spécifié
  --if-not-exists                ne pas renvoyer une erreur si le slot existe
```

<code>-n, --no-loop</code>	déjà lors de sa création
<code>--no-sync</code>	ne boucle pas en cas de perte de la connexion
<code>-s, --status-interval=SECS</code>	n'attend pas que les modifications soient proprement écrites sur disque
<code>-S, --slot=NOMREP</code>	durée entre l'envoi de paquets de statut au (par défaut 10)
<code>--synchronous</code>	slot de réplication à utiliser
<code>-v, --verbose</code>	vide le journal de transactions immédiatement après son écriture
<code>-V, --version</code>	affiche des messages verbeux
<code>-Z, --compress=METHOD[:DETAIL]</code>	affiche la version puis quitte
<code>-?, --help</code>	compresse comme indiqué
	affiche cette aide puis quitte
Options de connexion :	
<code>-d, --dbname=CHAÎNE_CONNEX</code>	chaîne de connexion
<code>-h, --host=HÔTE</code>	hôte du serveur de bases de données ou répertoire des sockets
<code>-p, --port=PORT</code>	numéro de port du serveur de bases de données
<code>-U, --username=UTILISATEUR</code>	se connecte avec cet utilisateur
<code>-w, --no-password</code>	ne demande jamais le mot de passe
<code>-W, --password</code>	force la demande du mot de passe (devrait survenir automatiquement)
Actions optionnelles :	
<code>--create-slot</code>	crée un nouveau slot de réplication (pour le nom du slot, voir <code>--slot</code>)
<code>--drop-slot</code>	supprime un nouveau slot de réplication (pour le nom du slot, voir <code>--slot</code>)
Rapporter les bogues à pgsql-bugs@lists.postgresql.org .	
Page d'accueil de PostgreSQL : https://www.postgresql.org/	

7.4.7 pg_receivewal - configuration serveur



- postgresql.conf (si < v10) :

```
max_wal_senders = 10
max_replication_slots = 10
```

- pg_hba.conf :

```
host replication repli_user 192.168.0.0/24 scram-sha-256
```

- Utilisateur de réplication :

```
CREATE ROLE repli_user LOGIN REPLICATION PASSWORD 'supersecret'
```

Le paramètre `max_wal_senders` indique le nombre maximum de connexions de réplication sur le serveur. Logiquement, une valeur de 1 serait suffisante, mais il faut compter sur quelques soucis réseau qui pourraient faire perdre la connexion à `pg_receivewal` sans que le serveur primaire n'en soit mis au courant, et du fait que certains autres outils peuvent utiliser la réplication. `max_replication_slots` indique le nombre maximum de slots de réplication. Pour ces deux paramètres, le défaut est 10 à partir de PostgreSQL 10, mais 0 sur les versions précédentes, et il faudra les modifier.

Si l'on modifie un de ces paramètres, il est nécessaire de redémarrer le serveur PostgreSQL.

Les connexions de réplication nécessitent une configuration particulière au niveau des accès. D'où la modification du fichier `pg_hba.conf`. Le sous-réseau (192.168.0.0/24) est à modifier suivant l'adressage utilisé. Il est d'ailleurs préférable de n'indiquer que le serveur où est installé `pg_receivewal` (plutôt que l'intégralité d'un sous-réseau).

L'utilisation d'un utilisateur de réplication n'est pas obligatoire mais fortement conseillée pour des raisons de sécurité.

7.4.8 `pg_receivewal` - redémarrage du serveur



- Redémarrage de PostgreSQL
- Slot de réplication

```
SELECT pg_create_physical_replication_slot('archivage');
```

Pour que les modifications soient prises en compte, nous devons redémarrer le serveur.

Enfin, nous devons créer le slot de réplication qui sera utilisé par `pg_receivewal`. La fonction `pg_create_physical_replication_slot()` est là pour ça. Il est à noter que la liste des slots est disponible dans le catalogue système `pg_replication_slots`.

7.4.9 pg_receivewal - lancement de l'outil



- Exemple de lancement

```
pg_receivewal -D /data/archives -S archive
```

- Journaux créés en temps réel dans le répertoire de stockage
- Mise en place d'un script de démarrage
- S'il n'arrive pas à joindre le serveur primaire
 - Au démarrage de l'outil : pg_receivewal s'arrête
 - En cours d'exécution : pg_receivewal tente de se reconnecter
- Nombreuses options

Une fois le serveur PostgreSQL redémarré, on peut alors lancer pg_receivewal :

```
pg_receivewal -h 192.168.0.1 -U repli_user -D /data/archives -S archive
```

Les journaux de transactions sont alors créés en temps réel dans le répertoire indiqué (ici, /data/archives):

```
-rwx----- 1 postgres postgres 16MB juil. 27 000000010000000000000000E*
-rwx----- 1 postgres postgres 16MB juil. 27 000000010000000000000000F*
-rwx----- 1 postgres postgres 16MB juil. 27 000000010000000000000010.partial*
```

En cas d'incident sur le serveur primaire, il est alors possible de partir d'une sauvegarde physique et de rejouer les journaux de transactions disponibles (sans oublier de supprimer l'extension `.partial` du dernier journal).

Il faut mettre en place un script de démarrage pour que pg_receivewal soit redémarré en cas de redémarrage du serveur.

7.4.10 Avantages et inconvénients



- Méthode archiver
 - simple à mettre en place
 - perte au maximum d'un journal de transactions
- Méthode `pg_receivewal`
 - mise en place plus complexe
 - perte minimale voire nulle

La méthode archiver est la méthode la plus simple à mettre en place. Elle se lance au lancement du serveur PostgreSQL, donc il n'est pas nécessaire de créer et installer un script de démarrage. Cependant, un journal de transactions n'est archivé que quand PostgreSQL l'ordonne, soit parce qu'il a rempli le journal en question, soit parce qu'un utilisateur a forcé un changement de journal (avec la fonction `pg_switch_wal` ou suite à un `pg_stop_backup`), soit parce que le délai maximum entre deux archivages a été dépassé (paramètre `archive_timeout`). Il est donc possible de perdre un grand nombre de transactions (même si cela reste bien inférieur à la perte qu'une restauration d'une sauvegarde logique occasionnerait).

La méthode `pg_receivewal` est plus complexe à mettre en place. Il faut exécuter ce démon, généralement sur un autre serveur. Un script de démarrage doit donc être configuré. Par contre, elle a le gros avantage de ne perdre pratiquement aucune transaction, surtout en mode synchrone. Les enregistrements de transactions sont envoyés en temps réel à `pg_receivewal`. Ce dernier les place dans un fichier de suffixe `.partial`, qui est ensuite renommé pour devenir un journal de transactions complet.

7.5 SAUVEGARDE PITR MANUELLE



- 3 étapes :
 - fonction de démarrage
 - copie des fichiers par outil externe
 - fonction d'arrêt
- Exclusive : simple... & obsolète ! (< v15)
- Concurrente : plus complexe à scripter
- Aucun impact pour les utilisateurs ; pas de verrou
- Préférer des outils dédiés qu'un script maison

Une fois l'archivage en place, une sauvegarde à chaud a lieu en trois temps :

- l'appel à la fonction de démarrage ;
- la copie elle-même par divers outils externes (PostgreSQL ne s'en occupe pas) ;
- l'appel à la fonction d'arrêt.

La fonction de démarrage s'appelle `pg_backup_start()` à partir de la version 15 mais avait pour nom `pg_start_backup()` auparavant. De la même façon, la fonction d'arrêt s'appelle `pg_backup_stop()` à partir de la version 15, mais `pg_stop_backup()` avant.

La sauvegarde exclusive était la plus simple, et cela en faisait le choix par défaut. Il suffisait d'appeler les fonctions concernées avant et après la copie des fichiers. Il ne pouvait y en avoir qu'une à la fois. Elle ne fonctionnait que depuis un primaire.



À cause de ces limites et de différents problèmes, la sauvegarde exclusive est déclarée obsolète depuis la 9.6, et n'est plus disponible depuis la version 15. Même sur les versions antérieures, il est conseillé d'utiliser dès maintenant des scripts utilisant les sauvegardes concurrentes.

Tout ce qui suit ne concerne plus que la sauvegarde concurrente.

La sauvegarde concurrente, apparue avec PostgreSQL 9.6, peut être lancée plusieurs fois en parallèle. C'est utile pour créer des secondaires alors qu'une sauvegarde physique tourne, par exemple. Elle est nettement plus complexe à gérer par script. Elle peut être exécutée depuis un serveur secondaire, ce qui allège la charge sur le primaire.

Pendant la sauvegarde, l'utilisateur ne verra aucune différence (à part peut-être la conséquence d'I/O saturées pendant la copie). Aucun verrou n'est posé. Lectures, écritures, suppression et création de tables, archivage de journaux et autres opérations continuent comme si de rien n'était.



La description du mécanisme qui suit est essentiellement destinée à la compréhension et l'expérimentation. En production, un script maison reste une possibilité, mais préférez des outils dédiés et fiables : `pg_basebackup`, `pgBackRest`...

Les sauvegardes manuelles servent cependant encore quand on veut utiliser une sauvegarde par snapshot, ou avec `rsync` (car `pg_basebackup` ne sait pas synchroniser vers une sauvegarde interrompue ou ancienne), et quand les outils conseillés ne sont pas utilisables ou disponibles sur le système.

7.5.1 Sauvegarde manuelle - 1/3 : `pg_backup_start`



```
SELECT pg_backup_start (
    - un_label : texte
    - fast : forcer un checkpoint ?
)
```

L'exécution de `pg_backup_start()` peut se faire depuis n'importe quelle base de données de l'instance.

(Rappelons que pour les versions avant la 15, la fonction s'appelle `pg_start_backup()`. Pour effectuer une sauvegarde non-exclusive avec ces versions, il faudra positionner un troisième paramètre⁷ à `false`.)

Le label (le texte en premier argument) n'a aucune importance pour PostgreSQL (il ne sert qu'à l'administrateur, pour reconnaître le backup).

Le deuxième argument est un booléen qui permet de demander un *checkpoint* immédiat, si l'on est pressé et si un pic d'I/O n'est pas gênant. Sinon il faudra attendre souvent plusieurs minutes (selon la configuration du déclenchement du prochain checkpoint, dépendant des paramètres `checkpoint_timeout` et `max_wal_size` et de la rapidité d'écriture imposée par `checkpoint_completion_target`).

La session qui exécute la commande `pg_backup_start()` doit être la même que celle qui exécutera plus tard `pg_backup_stop()`. Nous verrons que cette dernière fonction fournira de quoi créer deux fichiers, qui devront être nommés `backup_label` et `tablespace_map`. Si la connexion est interrompue avant `pg_backup_stop()`, alors la sauvegarde doit être considérée comme invalide.

En plus de rester connectés à la base, les scripts qui gèrent la sauvegarde concurrente doivent donc récupérer et conserver les informations renvoyées par la commande de fin de sauvegarde.

⁷<https://docs.postgresql.fr/14/continuous-archiving.html#BACKUP-LOWLEVEL-BASE-BACKUP-EXCLUSIVE>

La sauvegarde PITR est donc devenue plus complexe au fil des versions, et il est donc recommandé d'utiliser plutôt `pg_basebackup` ou des outils la supportant (`barman`, `pgBackRest`...).

7.5.2 Sauvegarde manuelle - 2/3 : copie des fichiers



- Cas courant : snapshot
 - cohérence ? redondance ?
- Sauvegarde des fichiers **à chaud**
 - répertoire principal des données
 - tablespaces
- Copie forcément incohérente (la restauration des journaux corrigera)
- `rsync` et autres outils
- Ignorer :
 - `postmaster.pid`, `log`, `pg_wal`, `pg_replslot` et quelques autres
- Ne pas oublier : configuration !

La deuxième étape correspond à la sauvegarde des fichiers. Le choix de l'outil dépend de l'administrateur. Cela n'a aucune incidence au niveau de PostgreSQL.

La sauvegarde doit comprendre aussi les tablespaces si l'instance en dispose.

Snapshot :

Il est assez fréquent que les sauvegardes se fassent par snapshot au niveau de la baie, de l'hyperviseur, directement ou via divers outils intégrés (Veeam, Tina...), ou encore de l'OS (LVM, ZFS...). Il est crucial que cette sauvegarde soit bien cohérente, y compris entre les tablespaces. Cela est de la seule responsabilité de l'outil utilisé. Il faut en étudier sa documentation pour savoir exactement ce qu'il fait.

Dans les cas simples, la restauration de ce snapshot équivaudra pour PostgreSQL à un redémarrage brutal, mais pour une sauvegarde PITR, il faudra encadrer le snapshot des appels aux fonctions de démarrage et d'arrêt ci-dessus. La facilité d'implémentation dépend de l'outil utilisé. Il faut aussi vérifier qu'il sait gérer les sauvegardes non exclusives pour utiliser PostgreSQL 15 et supérieurs.



Le point noir de la sauvegarde par snapshot est d'être liée au même système matériel que l'instance PostgreSQL (disque, hyperviseur, datacenter...). Une défaillance grave du matériel peut donc emporter, corrompre ou bloquer la sauvegarde en même temps que la sauvegarde. La sécurité de l'instance est donc reportée sur celle de l'infrastructure sous-jacente. Une copie parallèle des données de manière plus classique est conseillée pour éviter un désastre total.

Copie manuelle :



La sauvegarde se fait à chaud : il est donc possible que pendant ce temps des fichiers changent, disparaissent avant d'être copiés ou apparaissent sans être copiés. Cela n'a pas d'importance en soi car les journaux de transactions corrigeront cela (leur archivage doit donc commencer **avant** le début de la sauvegarde et se poursuivre sans interruption jusqu'à la fin).

Il **faut** s'assurer que l'outil de sauvegarde supporte cela, c'est-à-dire qu'il soit capable de différencier les codes d'erreurs dus à « des fichiers ont bougé ou disparu lors de la sauvegarde » des autres erreurs techniques. Par exemple convient : il retourne 1 pour le premier cas d'erreur, et 2 quand l'erreur est critique. `rsync` est très courant également.

Sur les plateformes Microsoft Windows, peu d'outils sont capables de copier des fichiers en cours de modification. Assurez-vous d'en utiliser un possédant cette fonctionnalité. À noter : l'outil `tar` (ainsi que d'autres issus du projet GNU) est disponible nativement à travers le projet `unxutils`⁸.

Exclusions :

Des fichiers et répertoires sont à ignorer, pour gagner du temps ou faciliter la restauration. Voici la liste exhaustive (disponible aussi dans la documentation officielle⁹) :

- `postmaster.pid`, `postmaster.opts`, `pg_internal.init` ;
- les fichiers de données des tables non journalisées (*unlogged*) ;
- `pg_wal`, ainsi que les sous-répertoires (mais à archiver séparément !) ;
- `pg_replslot` : les slots de réplication seront au mieux périmés, au pire gênants sur l'instance restaurée ;
- `pg_dynshmem`, `pg_notify`, `pg_serial`, `pg_snapshots`, `pg_stat_tmp` et `pg_subtrans` ne doivent pas être copiés (ils contiennent des informations propres à l'instance, ou qui ne survivent pas à un redémarrage) ;
- les fichiers et répertoires commençant par `pgsql_tmp` (fichiers temporaires) ;
- les fichiers autres que les fichiers et les répertoires standards (donc pas les liens symboliques).

On n'oubliera pas les fichiers de configuration s'ils ne sont pas dans le PGDATA.

⁸<http://unxutils.sourceforge.net/>

⁹<https://docs.postgresql.fr/current/continuous-archiving.html#BACKUP-LOWLEVEL-BASE-BACKUP>

7.5.3 Sauvegarde manuelle - 3/3 : pg_backup_stop



Ne pas oublier !!

```
SELECT * FROM pg_backup_stop (
    - true : attente de l'archivage
)
```

La dernière étape correspond à l'exécution de la procédure stockée `SELECT * FROM pg_backup_stop()`.



N'oubliez pas d'exécuter `pg_backup_stop()`, de vérifier qu'il finit avec succès et de récupérer les informations qu'il renvoie !
Cet oubli trop courant rend vos sauvegardes inutilisables !

PostgreSQL va alors :

- marquer cette fin de backup dans le journal des transactions (étape capitale pour la restauration) ;
- forcer la finalisation du journal de transactions courant et donc son archivage, afin que la sauvegarde (fichiers + archives) soit utilisable même en cas de crash juste l'appel à la fonction : `pg_backup_stop()` ne rendra pas la main (par défaut) tant que ce dernier journal n'aura pas été archivé avec succès.

La fonction renvoie :

- le *lsn* de fin de backup ;
- un champ destiné au fichier `backup_label` ;
- un champ destiné au fichier `tablespace_map`.

```
# SELECT * FROM pg_stop_backup() \gx
```

NOTICE: **all** required WAL segments have been archived

```
-[ RECORD 1 ]-----
lsn          | 22/2FE5C788
labelfile    | START WAL LOCATION: 22/2B000028 (file 0000000010000000220000002B)+
              | CHECKPOINT LOCATION: 22/2B000060                                     +
              | BACKUP METHOD: streamed                                              +
              | BACKUP FROM: master                                                 +
              | START TIME: 2019-12-16 13:53:41 CET                                  +
              | LABEL: rr                                                            +
              | START TIMELINE: 1                                                    +
spcmapfile   | 134141 /tbl/froid                                                    +
```

```
| 134152 /tbl/quota
|
```

+

Ces informations se retrouvent aussi dans un fichier `.backup` mêlé aux journaux :

```
# cat /var/lib/postgresql/12/main/pg_wal/00000001000000220000002B.00000028.backup
```

```
START WAL LOCATION: 22/2B000028 (file 00000001000000220000002B)
STOP WAL LOCATION: 22/2FE5C788 (file 00000001000000220000002F)
CHECKPOINT LOCATION: 22/2B000060
BACKUP METHOD: streamed
BACKUP FROM: master
START TIME: 2019-12-16 13:53:41 CET
LABEL: rr
START TIMELINE: 1
STOP TIME: 2019-12-16 13:54:04 CET
STOP TIMELINE: 1
```

Il faudra créer le fichier `tblspace_map` avec le contenu du champ `spcmapfile` :

```
134141 /tbl/froid
34152 /tbl/quota
```

... ce qui n'est pas trivial à scripter.

Ces deux fichiers devront être placés dans la sauvegarde, pour être présent d'entrée dans le PGDATA du serveur restauré.

À partir du moment où `pg_backup_stop()` rend la main, il est possible de restaurer la sauvegarde obtenue puis de rejouer les journaux de transactions suivants en cas de besoin, sur un autre serveur ou sur ce même serveur.

Tous les journaux archivés avant celui précisé par le champ `START WAL LOCATION` dans le fichier `backup_label` ne sont plus nécessaires pour la récupération de la sauvegarde du système de fichiers et peuvent donc être supprimés. Attention, il y a plusieurs compteurs hexadécimaux différents dans le nom du fichier journal, qui ne sont pas incrémentés de gauche à droite.

7.5.4 Sauvegarde de base à chaud : `pg_basebackup`



Outil de sauvegarde pouvant aussi servir au base backup

- Backup de base ici **sans** les journaux :

```
$ pg_basebackup --format=tar --wal-method=none \
  --checkpoint=fast --progress -h 127.0.0.1 -U sauve \
  -D /var/lib/postgresql/backups/
```

`pg_basebackup` a été décrit plus haut. Il a l'avantage d'être simple à utiliser, de savoir quels fichiers ne pas copier, de fiabiliser la sauvegarde par un slot de réplication. Il ne réclame en général pas de configuration supplémentaire.

Si l'archivage est déjà en place, copier les journaux est inutile (`--wal-method=none`). Nous verrons plus tard comment lui indiquer où les chercher.

L'inconvénient principal de `pg_basebackup` reste son incapacité à reprendre une sauvegarde interrompue ou à opérer une sauvegarde différentielle ou incrémentale.

7.5.5 Fréquence de la sauvegarde de base



- Dépend des besoins
- De tous les jours à tous les mois
- Plus elles sont espacées, plus la restauration est longue
 - et plus le risque d'un journal corrompu ou absent est important

La fréquence dépend des besoins. Une sauvegarde par jour est le plus commun, mais il est possible d'espacer encore plus la fréquence.

Cependant, il faut conserver à l'esprit que plus la sauvegarde est ancienne, plus la restauration sera longue car un plus grand nombre de journaux seront à rejouer.

7.5.6 Suivi de la sauvegarde de base



- Vue `pg_stat_progress_basebackup`
 - à partir de la v13

La version 13 permet de suivre la progression de la sauvegarde de base, quelque soit l'outil utilisé à condition qu'il passe par le protocole de réplication.

Cela permet ainsi de savoir à quelle phase la sauvegarde se trouve, quelle volumétrie a été envoyée, celle à envoyer, etc.

7.6 RESTAURER UNE SAUVEGARDE PITR



- Une procédure relativement simple
- Mais qui doit être effectuée rigoureusement

La restauration se déroule en trois voire quatre étapes suivant qu'elle est effectuée sur le même serveur ou sur un autre serveur.

7.6.1 Restaurer une sauvegarde PITR (1/5)



- S'il s'agit du même serveur
 - arrêter PostgreSQL
 - supprimer le répertoire des données
 - supprimer les tablespaces

Dans le cas où la restauration a lieu sur le même serveur, quelques étapes préliminaires sont à effectuer.

Il faut arrêter PostgreSQL s'il n'est pas arrêté. Cela arrivera quand la restauration a pour but, par exemple, de récupérer des données qui ont été supprimées par erreur.

Ensuite, il faut supprimer (ou archiver) l'ancien répertoire des données pour pouvoir y placer l'ancienne sauvegarde des fichiers. Écraser l'ancien répertoire n'est pas suffisant, il faut le supprimer, ainsi que les répertoires des tablespaces au cas où l'instance en possède.

7.6.2 Restaurer une sauvegarde PITR (2/5)



- Restaurer les fichiers de la sauvegarde
- Supprimer les fichiers compris dans le répertoire `pg_wal` restauré
 - ou mieux, ne pas les avoir inclus dans la sauvegarde initialement
- Restaurer le dernier journal de transactions connu (si disponible)

La sauvegarde des fichiers peut enfin être restaurée. Il faut bien porter attention à ce que les fichiers soient restaurés au même emplacement, tablespaces compris.

Une fois cette étape effectuée, il peut être intéressant de faire un peu de ménage. Par exemple, le fichier `postmaster.pid` peut poser un problème au démarrage. Conserver les journaux applicatifs n'est pas en soi un problème mais peut porter à confusion. Il est donc préférable de les supprimer. Quant aux journaux de transactions compris dans la sauvegarde, bien que ceux en provenance des archives seront utilisés même s'ils sont présents aux deux emplacements, il est préférable de les supprimer. La commande sera similaire à celle-ci :

```
$ rm postmaster.pid log/* pg_wal/[0-9A-F]*
```

Enfin, s'il est possible d'accéder au journal de transactions courant au moment de l'arrêt de l'ancienne instance, il est intéressant de le restaurer dans le répertoire `pg_wal` fraîchement nettoyé. Ce dernier sera pris en compte en toute fin de restauration des journaux depuis les archives et permettra donc de restaurer les toutes dernières transactions validées sur l'ancienne instance, mais pas encore archivées.

7.6.3 Restaurer une sauvegarde PITR (3/5)



- Commande de restauration dans `postgresql.conf` (v12+)
 - `restore_command = '... une commande ...'`
 - fichier `recovery.signal`
- Jusqu'à v11, fichier séparé :
 - `recovery.conf` (dans PGDATA)

Jusqu'en version 11 incluse, la restauration se configure dans un fichier spécifique, appelé `recovery.conf`, impérativement dans le répertoire des données.

À partir de la version 12, on utilise directement `postgresql.conf`, ou un fichier inclus, ou `postgresql.auto.conf`. Par contre, il faut créer un fichier vide `recovery.signal`.

Ce sont ces fichiers `recovery.signal` ou `recovery.conf` qui permettent à PostgreSQL de savoir qu'il doit se lancer dans une restauration, et n'a pas simplement subi un arrêt brutal (auquel cas il ne restaurerait que les journaux en place).

Si vous êtes sur une version antérieure à la version 12, vous pouvez vous inspirer du fichier exemple fourni avec PostgreSQL. Pour une version 10 par exemple, sur Red Hat et dérivés, c'est `/usr/pgsql-10/share/recovery.conf.sample`. Sur Debian et dérivés, c'est `/usr/share/postgresql/10/recovery.conf.sample`. Il contient certains paramètres liés à la mise en place d'un serveur secondaire (*standby*) inutiles ici. Sinon, les paramètres sont dans les différentes parties du `postgresql.conf`.

Le paramètre essentiel est `restore_command`. Il est le pendant des paramètres `archive_command` et `archive_library` pour l'archivage. Cette commande est souvent fournie par l'outil de sauvegarde si vous en utilisez un. Si nous poursuivons notre exemple, ce paramètre pourrait être :

```
restore_command = 'cp /mnt/nfs1/archivage/%f %p'
```

Si le but est de restaurer tous les journaux archivés, il n'est pas nécessaire d'aller plus loin dans la configuration. La restauration se poursuivra jusqu'à l'épuisement de tous les journaux disponibles.

7.6.4 Restaurer une sauvegarde PITR (4/5)



- Jusqu'où restaurer :
 - `recovery_target_name`, `recovery_target_time`
 - `recovery_target_xid`, `recovery_target_lsn`
 - `recovery_target_inclusive`
- Le backup de base doit être antérieur !
- Suivi de timeline :
 - `recovery_target_timeline:latest?`
- Et on fait quoi ?
 - `recovery_target_action:pause`
 - `pg_wal_replay_resume` pour ouvrir immédiatement
 - ou modifier & redémarrer

Si l'on ne veut pas simplement restaurer tous les journaux, par exemple pour s'arrêter avant une fausse manipulation désastreuse, plusieurs paramètres permettent de préciser le point d'arrêt :

- jusqu'à un certain nom, grâce au paramètre `recovery_target_name` (le nom correspond à un label enregistré précédemment dans les journaux de transactions grâce à la fonction `pg_create_restore_point()`);
- jusqu'à une certaine heure, grâce au paramètre `recovery_target_time`;
- jusqu'à un certain identifiant de transaction, grâce au paramètre `recovery_target_xid`, numéro de transaction qu'il est possible de chercher dans les journaux eux-mêmes grâce à l'utilitaire `pg_waldump`;
- jusqu'à un certain LSN (*Log Sequence Number*¹⁰), grâce au paramètre `recovery_target_lsn`, que là aussi on doit aller chercher dans les journaux eux-mêmes.

¹⁰<https://docs.postgresql.fr/current/datatype-pg-lsn.html>

Avec le paramètre `recovery_target_inclusive` (par défaut à `true`), il est possible de préciser si la restauration se fait en incluant les transactions au nom, à l'heure ou à l'identifiant de transaction demandé, ou en les excluant.

Dans les cas complexes, nous verrons plus tard que choisir la *timeline* (avec `recovery_target_timeline`, en général à `latest`) peut être utile.



Ces restaurations ponctuelles ne sont possibles que si elles correspondent à un état cohérent d'**après** la fin du *base backup*, soit après le moment du `pg_stop_backup`. Si l'on a un historique de plusieurs sauvegardes, il faudra en choisir une antérieure au point de restauration voulu. Ce n'est pas forcément la dernière. Les outils ne sont pas forcément capables de deviner la bonne sauvegarde à restaurer.

Il est possible de demander à la restauration de s'arrêter une fois arrivée au stade voulu avec :

```
recovery_target_action = pause
```

C'est même l'action par défaut si une des options d'arrêt ci-dessus a été choisie : cela permet à l'utilisateur de vérifier que le serveur est bien arrivé au point qu'il désirait. Les alternatives sont `promote` et `shutdown`.

Si la cible est atteinte mais que l'on décide de continuer la restauration jusqu'à un autre point (évidemment postérieur), il faut modifier la cible de restauration dans le fichier de configuration, et **redémarrer** PostgreSQL. C'est le seul moyen de rejouer d'autres journaux sans ouvrir l'instance en écriture.

Si l'on est arrivé au point de restauration voulu, un message de ce genre apparaît :

```
LOG:  recovery stopping before commit of transaction 8693270, time 2021-09-02
      ↪ 11:46:35.394345+02
LOG:  pausing at the end of recovery
HINT:  Execute pg_wal_replay_resume() to promote.
```

(Le terme *promote* pour une restauration est un peu abusif.) `pg_wal_replay_resume()` — malgré ce que pourrait laisser croire son nom ! — provoque ici l'arrêt immédiat de la restauration, donc ignore les opérations contenues dans les WALs que l'on n'a pas souhaités restaurer, puis le serveur s'ouvre en écriture sur une nouvelle timeline.



Attention : jusqu'à PostgreSQL 12 inclus, si un `recovery_target` est spécifié mais n'est toujours *pas* atteint à la fin du rejeu des archives, alors le mode *recovery* se termine et le serveur est promu sans erreur, et ce, même si `recovery_target_action` a la valeur `pause` ! (À condition, bien sûr, que le point de cohérence ait tout de même été dépassé.) Il faut donc être vigilant quant aux messages dans le fichier de trace de PostgreSQL !

À partir de PostgreSQL 13, l'instance détecte le problème et s'arrête avec un message FATAL : la restauration ne s'est pas déroulée comme attendu. S'il manque juste certains journaux de transactions, cela permet de relancer PostgreSQL après correction de l'oubli.

La documentation officielle complète sur le sujet est sur le site du projet¹¹.

7.6.5 Restaurer une sauvegarde PITR (5/5)



- Démarrer PostgreSQL
- Rejeu des journaux
- Vérifier que le point de cohérence est atteint !

La dernière étape est particulièrement simple. Il suffit de démarrer PostgreSQL. PostgreSQL va comprendre qu'il doit rejouer les journaux de transactions.

Les journaux doivent se dérouler au moins jusqu'à rencontrer le « point de cohérence », c'est-à-dire la mention insérée par `pg_backup_stop()`. Avant cela, il n'est pas possible de savoir si les fichiers issus du *base backup* sont à jour ou pas, et il est impossible de démarrer l'instance avant ce point. Le message apparaît dans les traces et, dans le doute, on doit vérifier sa présence :

```
2020-01-17 16:08:37.285 UTC [15221] LOG: restored log file
↳ "000000001000000001000000031"...
2020-01-17 16:08:37.789 UTC [15221] LOG: restored log file
↳ "000000001000000001000000032"...
2020-01-17 16:08:37.949 UTC [15221] LOG: consistent recovery state reached
      at 1/32BFDD88
2020-01-17 16:08:37.949 UTC [15217] LOG: database system is ready to accept
      read only connections
2020-01-17 16:08:38.009 UTC [15221] LOG: restored log file
↳ "000000001000000001000000033"...
```

PostgreSQL continue ensuite jusqu'à arriver à la limite fixée, jusqu'à ce qu'il ne trouve plus de journal à rejouer, ou que le bloc de journal lu soit incohérent (ce qui indique qu'on est arrivé à la fin d'un

¹¹<https://www.postgresql.org/docs/current/runtime-config-wal.html#RUNTIME-CONFIG-WAL-RECOVERY-TARGET>

journal qui n'a pas été terminé, le journal courant au moment du crash par exemple). Par défaut en v12 il vérifiera qu'il n'existe pas une *timeline* supérieure sur laquelle basculer (par exemple s'il s'agit de la deuxième restauration depuis la sauvegarde du PGDATA). Puis il va s'ouvrir en écriture (sauf si vous avez demandé `recovery_target_action = pause`).

```
2020-01-17 16:08:45.938 UTC [15221] LOG: restored log file "00000000100000000100000003C"
      from archive
2020-01-17 16:08:46.116 UTC [15221] LOG: restored log file
      ↪ "00000000100000000100000003D"...
2020-01-17 16:08:46.547 UTC [15221] LOG: restored log file
      ↪ "00000000100000000100000003E"...
2020-01-17 16:08:47.262 UTC [15221] LOG: restored log file
      ↪ "00000000100000000100000003F"...
2020-01-17 16:08:47.842 UTC [15221] LOG: invalid record length at 1/3F0000A0:
      wanted 24, got 0
2020-01-17 16:08:47.842 UTC [15221] LOG: redo done at 1/3F000028
2020-01-17 16:08:47.842 UTC [15221] LOG: last completed transaction was
      at log time 2020-01-17 14:59:30.093491+00
2020-01-17 16:08:47.860 UTC [15221] LOG: restored log file
      ↪ "00000000100000000100000003F"...
cp: cannot stat '/opt/pgsql/archives/00000002.history': No such file or directory
2020-01-17 16:08:47.966 UTC [15221] LOG: selected new timeline ID: 2
2020-01-17 16:08:48.179 UTC [15221] LOG: archive recovery complete
cp: cannot stat '/opt/pgsql/archives/00000001.history': No such file or directory
2020-01-17 16:08:51.613 UTC [15217] LOG: database system is ready
      to accept connections
```

À partir de la version 12, le fichier `recovery.signal` est effacé.

Avant la v12, si un fichier `recovery.conf` est présent, il sera renommé en `recovery.done`.



Ne jamais supprimer ou renommer manuellement un `recovery.conf` !

Le fichier `backup_label` d'une sauvegarde exclusive est renommé en `backup_label.old`.

7.6.6 Restauration PITR : durée



- Durée dépendante du nombre de journaux
 - rejeu séquentiel des WAL
- Accéléré en version 15 (*prefetch*)

La durée de la restauration est fortement dépendante du nombre de journaux. Ils sont rejoués séquentiellement. Mais avant cela, un fichier journal peut devoir être récupéré, décompressé, et restauré

dans `pg_wal`.

Il est donc préférable qu'il n'y ait pas trop de journaux à rejouer, et donc qu'il n'y ait pas trop d'espaces entre sauvegardes complètes successives.

La version 15 a optimisé le rejeu en permettant l'activation du *prefetch* des blocs de données lors du rejeu des journaux.

Un outil comme pgBackRest en mode asynchrone permet de paralléliser la récupération des journaux, ce qui permet de les récupérer via le réseau et de les décompresser par avance pendant que PostgreSQL traite les journaux précédents.

7.6.7 Restauration PITR : différentes timelines



- Fin de *recovery* => changement de *timeline* :
 - l'historique des données prend une autre voie
 - le nom des WAL change
 - fichier `.history`
- Permet plusieurs restaurations PITR à partir du même *basebackup*
- Choix : `recovery_target_timeline`
 - défaut : `latest (v12)` ou `current (!) (<v12)`

Lorsque le mode *recovery* s'arrête, au point dans le temps demandé ou faute d'archives disponibles, l'instance accepte les écritures. De nouvelles transactions se produisent alors sur les différentes bases de données de l'instance. Dans ce cas, l'historique des données prend un chemin différent par rapport aux archives de journaux de transactions produites avant la restauration. Par exemple, dans ce nouvel historique, il n'y a pas le `DROP TABLE` malencontreux qui a imposé de restaurer les données. Cependant, cette transaction existe bien dans les archives des journaux de transactions.

On a alors plusieurs historiques des transactions, avec des « bifurcations » aux moments où on a réalisé des restaurations. PostgreSQL permet de garder ces historiques grâce à la notion de *timeline*. Une *timeline* est donc l'un de ces historiques, elle se matérialise par un ensemble de journaux de transactions, identifiée par un numéro. Le numéro de la *timeline* est le premier nombre hexadécimal du nom des segments de journaux de transactions (le second est le numéro du journal et le troisième le numéro du segment). Lorsqu'une instance termine une restauration PITR, elle peut archiver immédiatement ces journaux de transactions au même endroit, les fichiers ne seront pas écrasés vu qu'ils seront nommés différemment. Par exemple, après une restauration PITR s'arrêtant à un point situé dans le segment `00000001000000000000000009` :

```
$ ls -l /backup/postgresql/archived_wal/
000000010000000010000003C
```

```
00000001000000010000003D
00000001000000010000003E
00000001000000010000003F
000000010000000100000040
00000002.history
00000002000000010000003F
000000020000000100000040
000000020000000100000041
```

À la sortie du mode *recovery*, l'instance doit choisir une nouvelle *timeline*. Les *timelines* connues avec leur point de départ sont suivies grâce aux fichiers *history*, nommés d'après le numéro hexadécimal sur huit caractères de la *timeline* et le suffixe *.history*, et archivés avec les fichiers WAL. En partant de la *timeline* qu'elle quitte, l'instance restaure les fichiers *history* des *timelines* suivantes pour choisir la première disponible, et archive un nouveau fichier *.history* pour la nouvelle *timeline* sélectionnée, avec l'adresse du point de départ dans la *timeline* qu'elle quitte :

```
$ cat 00000002.history
1  0/9765A80  before 2015-10-20 16:59:30.103317+02
```

Après une seconde restauration, ciblant la *timeline* 2, l'instance choisit la *timeline* 3 :

```
$ cat 00000003.history
1  0/9765A80  before 2015-10-20 16:59:30.103317+02
2  0/105AF7D0 before 2015-10-22 10:25:56.614316+02
```

On peut choisir la *timeline* cible en configurant le paramètre `recovery_target_timeline`. À partir de la version 12, `recovery_target_timeline` est par défaut à `latest` et la restauration suit les changements de *timeline* depuis le moment de la sauvegarde.



Cependant, jusqu'en version 11 comprise, la valeur par défaut est `current` et la restauration se fait dans la même *timeline* que le *base backup*. Si entre-temps il y a eu une bascule ou une précédente restauration, la nouvelle *timeline* ne sera pas automatiquement suivie !

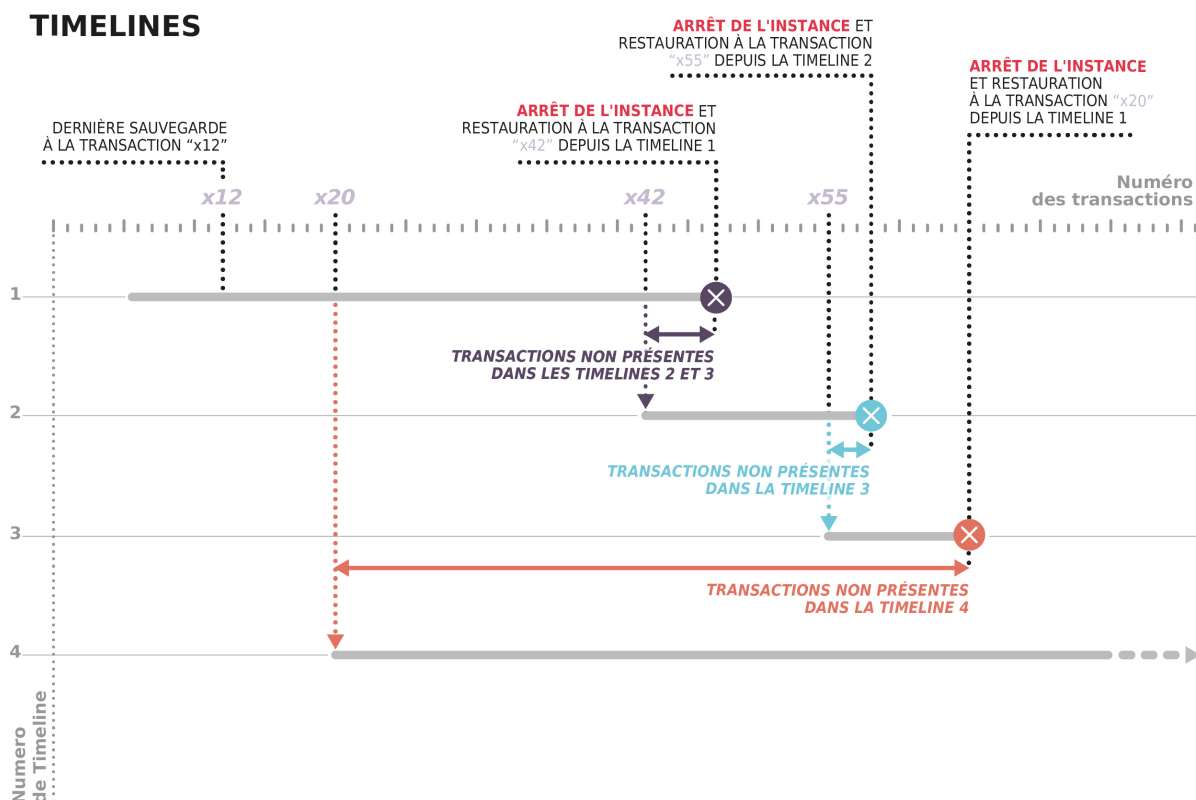
Pour choisir une autre *timeline*, il faut donner le numéro de la *timeline* cible comme valeur du paramètre `recovery_target_timeline`. Cela permet d'effectuer plusieurs restaurations successives à partir du même *base backup* et d'archiver au même endroit sans mélanger les journaux.



Le numéro de *timeline* dans les traces ou affiché par `pg_controldata` est en décimal. Mais les fichiers *.history* portent un numéro en hexadécimal (par exemple `00000014.history` pour la *timeline* 20). On peut fournir les deux à `recovery_target_timeline` (20 ou `'0x14'`). Attention, il n'y a pas de contrôle !

Attention : pour restaurer dans une *timeline* précise, il faut que le fichier *history* correspondant soit encore présent dans les archives, sous peine d'erreur.

7.6.8 Restauration PITR : illustration des timelines



Ce schéma illustre ce processus de plusieurs restaurations successives, et la création de différentes *timelines* qui en résulte.

On observe ici les éléments suivants avant la première restauration :

- la fin de la dernière sauvegarde se situe en haut à gauche sur l'axe des transactions, à la transaction x12 ;
- cette sauvegarde a été effectuée alors que l'instance était en activité sur la *timeline* 1.

On décide d'arrêter l'instance alors qu'elle est arrivée à la transaction x47, par exemple parce qu'une nouvelle livraison de l'application a introduit un bug qui provoque des pertes de données. L'objectif est de restaurer l'instance avant l'apparition du problème afin de récupérer les données dans un état cohérent, et de relancer la production à partir de cet état. Pour cela, on restaure les fichiers de l'instance à partir de la dernière sauvegarde, puis on modifie le fichier de configuration pour que l'instance, lors de sa phase de *recovery* :

- restaure les WAL archivés jusqu'à l'état de cohérence (transaction x12) ;
- restaure les WAL archivés jusqu'au point précédant immédiatement l'apparition du bug appli-catif (transaction x42).

On démarre ensuite l'instance et on l'ouvre en écriture, on constate alors que celle-ci bascule sur la *timeline* 2, la bifurcation s'effectuant à la transaction x42. L'instance étant de nouveau ouverte en

écriture, elle va générer de nouveaux WAL, qui seront associés à la nouvelle *timeline* : ils n'écrasent pas les fichiers WAL archivés de la *timeline* 1, ce qui permet de les réutiliser pour une autre restauration en cas de besoin (par exemple si la transaction x42 utilisée comme point d'arrêt était trop loin dans le passé, et que l'on désire restaurer de nouveau jusqu'à un point plus récent).

Un peu plus tard, on a de nouveau besoin d'effectuer une restauration dans le passé - par exemple, une nouvelle livraison applicative a été effectuée, mais le bug rencontré précédemment n'était toujours pas corrigé. On restaure donc de nouveau les fichiers de l'instance à partir de la même sauvegarde, puis on configure PostgreSQL pour suivre la *timeline* 2 (paramètre `recovery_target_timeline = 2`) jusqu'à la transaction x55. Lors du *recovery*, l'instance va :

- restaurer les WAL archivés jusqu'à l'état de cohérence (transaction x12) ;
- restaurer les WAL archivés jusqu'au point de la bifurcation (transaction x42) ;
- suivre la *timeline* indiquée (2) et rejouer les WAL archivés jusqu'au point précédant immédiatement l'apparition du bug applicatif (transaction x55).

On démarre ensuite l'instance et on l'ouvre en écriture, on constate alors que celle-ci bascule sur la *timeline* 3, la bifurcation s'effectuant cette fois à la transaction x55.

Enfin, on se rend compte qu'un problème bien plus ancien et subtil a été introduit précédemment aux deux restaurations effectuées. On décide alors de restaurer l'instance jusqu'à un point dans le temps situé bien avant, jusqu'à la transaction x20. On restaure donc de nouveau les fichiers de l'instance à partir de la même sauvegarde, et on configure le serveur pour restaurer jusqu'à la transaction x20. Lors du *recovery*, l'instance va :

- restaurer les WAL archivés jusqu'à l'état de cohérence (transaction x12) ;
- restaurer les WAL archivés jusqu'au point précédant immédiatement l'apparition du bug applicatif (transaction x20).

Comme la création des deux *timelines* précédentes est archivée dans les fichiers *history*, l'ouverture de l'instance en écriture va basculer sur une nouvelle *timeline* (4). Suite à cette restauration, toutes les modifications de données provoquées par des transactions effectuées sur la *timeline* 1 après la transaction x20, ainsi que celles effectuées sur les *timelines* 2 et 3, ne sont donc pas présentes dans l'instance.

7.6.9 Après la restauration



- Bien vérifier que l'archivage a repris
 - et que les archives des journaux sont complètes
- Ne pas hésiter à reprendre une sauvegarde complète
- Bien vérifier que les secondaires ont suivi

Une fois le nouveau primaire en place, la production peut reprendre, mais il faut vérifier que la sauvegarde PITR est elle aussi fonctionnelle.

Ce nouveau primaire a généralement commencé à archiver ses journaux à partir du dernier journal récupéré de l'ancien primaire, renommé avec l'extension `.partial`, juste avant la bascule sur la nouvelle *timeline*. Il faut bien sûr vérifier que l'archivage des nouveaux journaux fonctionne.

Sur l'ancien primaire, les derniers journaux générés juste avant l'incident n'ont pas forcément été archivés. Ceux-ci possèdent un fichier témoin `.ready` dans `pg_wal/archive_status`. Même s'ils ont été copiés manuellement vers le nouveau primaire avant sa promotion, celui-ci ne les a pas archivés.

Rappelons qu'un « trou » dans le flux des journaux dans le dépôt des archives empêchera la restauration d'aller au-delà de ce point !

Il est possible de forcer l'archivage des fichiers `.ready` depuis l'ancien primaire, avant la bascule, en exécutant à la main les `restore_command` que PostgreSQL aurait générées, mais la facilité pour le faire dépend de l'outil.

La copie de journaux à la main est donc risquée. Il ne faut pas hésiter à reprendre une sauvegarde complète du nouveau primaire pour repartir d'une base sûre.

Quant aux éventuels autres secondaires, il faut bien vérifier que leur configuration a été modifiée et qu'ils suivent. S'ils sont en *log shipping*, la remarque sur l'archivage ci-dessus est encore plus importante.

7.7 POUR ALLER PLUS LOIN



- Gagner en place
 - ...en compressant les journaux de transactions
- Les outils dédiés à la sauvegarde

7.7.1 Compresser les journaux de transactions



- Objectif : éviter de consommer trop de place disque
- Outils de compression standards : `gzip`, `bzip2`, `lzma`
 - attention à ne pas ralentir l'archivage
- `wal_compression`

L'un des problèmes de la sauvegarde PITR est la place prise sur disque par les journaux de transactions. Avec un journal généré toutes les 5 minutes, cela représente 16 Mo (par défaut) toutes les 5 minutes, soit 192 Mo par heure, ou 5 Go par jour. Il n'est pas forcément possible de conserver autant de journaux. Une solution est la compression à la volée et il existe deux types de compression.

La méthode la plus simple et la plus sûre pour les données est une compression non destructive, comme celle proposée par les outils `gzip`, `bzip2`, `lzma`, etc. L'algorithme peut être imposé ou inclus dans l'outil PITR choisi. La compression peut ne pas être très intéressante en terme d'espace disque gagné. Néanmoins, un fichier de 16 Mo aura généralement une taille compressée comprise entre 3 et 6 Mo. Attention par ailleurs au temps de compression des journaux, qui peut entraîner un retard conséquent de l'archivage par rapport à l'écriture des journaux en cas d'écritures lourdes : une compression élevée mais lente peut être dangereuse.

Noter que la compression des journaux à la source existe aussi (paramètre `wal_compression`, désactivé par défaut), qui s'effectue au niveau de la page, avec un coût en CPU à l'écriture des journaux.

7.7.2 Outils de sauvegarde PITR dédiés



- Se faciliter la vie avec différents outils
 - pgBackRest
 - barman
 - pitrery (< v15, déprécié)
- Fournissent :
 - un outil pour les backups, les purges...
 - une commande pour l'archivage

Il n'est pas conseillé de réinventer la roue et d'écrire soi-même des scripts de sauvegarde, qui doivent prévoir de nombreux cas et bien gérer les erreurs. La sauvegarde concurrente est également difficile à manier. Des outils reconnus existent, dont nous évoquerons brièvement les plus connus. Il en existe d'autres. Ils ne font pas partie du projet PostgreSQL à proprement parler et doivent être installés séparément.

Les outils décrits succinctement plus bas fournissent :

- un outil pour procéder aux sauvegardes, gérer la péremption des archives... ;
- un outil qui sera appelé par `archive_command`.

Leur philosophie peut différer, notamment en terme de centralisation ou de compromis entre simplicité et fonctionnalités. Ces dernières s'enrichissent d'ailleurs au fil du temps.

7.7.3 pgBackRest



- Gère la sauvegarde et la restauration
 - *pull* ou *push*, multidépôts
 - mono ou multi-serveurs
- Indépendant des commandes système
 - utilise un protocole dédié
- Sauvegardes complètes, différentielles ou incrémentales
- Multi-thread, sauvegarde depuis un secondaire, archivage asynchrone...
- Projet mature

pgBackRest¹² est un outil de gestion de sauvegardes PITR écrit en perl et en C, par David Steele de Crunchy Data.

Il met l'accent sur les performances avec de gros volumes et les fonctionnalités, au prix d'une complexité à la configuration :

- un protocole dédié pour le transfert et la compression des données ;
- des opérations parallélisables en multi-thread ;
- la possibilité de réaliser des sauvegardes complètes, différentielles et incrémentielles ;
- la possibilité d'archiver ou restaurer les WAL de façon asynchrone, et donc plus rapide ;
- la possibilité d'abandonner l'archivage en cas d'accumulation et de risque de saturation de `pg_wal` ;
- la gestion de dépôts de sauvegarde multiples (pour sécuriser notamment),
- le support intégré de dépôts S3 ou Azure ;
- la sauvegarde depuis un serveur secondaire ;
- le chiffrement des sauvegardes ;
- la restauration en mode delta, très pratique pour restaurer un serveur qui a décroché mais n'a que peu divergé ;
- la reprise d'une sauvegarde échouée.

Le projet est récent, très actif, considéré comme fiable, et les fonctionnalités proposées sont intéressantes.

Pour la supervision de l'outil, une sonde Nagios est fournie par un des développeurs : `check_pgbackrest`¹³.

7.7.4 barman



- Gère la sauvegarde et la restauration
 - mode *pull*
 - multi-serveurs
- Une seule commande (`barman`)
- Et de nombreuses actions
 - `list-server`, `backup`, `list-backup`, `recover...`
- Spécificité : gestion de `pg_receivewal`

`barman` est un outil créé par 2ndQuadrant (racheté depuis par EDB). Il a pour but de faciliter la mise en place de sauvegardes PITR. Il gère à la fois la sauvegarde et la restauration.

La commande `barman` dispose de plusieurs actions :

¹²<https://pgbackrest.org/>

¹³https://github.com/pgstef/check_pgbackrest/

- `list-server`, pour connaître la liste des serveurs configurés ;
- `backup`, pour lancer une sauvegarde de base ;
- `list-backup`, pour connaître la liste des sauvegardes de base ;
- `show-backup`, pour afficher des informations sur une sauvegarde ;
- `delete`, pour supprimer une sauvegarde ;
- `recover`, pour restaurer une sauvegarde (la restauration peut se faire à distance).

Contrairement aux autres outils présentés ici, `barman` permet d'utiliser `pg_receivewal`.

Il supporte aussi les dépôts S3 ou blob Azure.

Site web de `barman`¹⁴

7.7.5 `pitrery`



- Projet en fin de vie, non compatible v15+
- Gère la sauvegarde et la restauration
 - mode push
 - mono-serveur
- Multi-commandes
 - `archive_wal`
 - `pitrery`
 - `restore_wal`

`pitrery` a été créé par la société Dalibo. Il mettait l'accent sur la simplicité de sauvegarde et la restauration de la base.



Après 10 ans de développement actif, le projet `Pitrery` est désormais placé en maintenance LTS (*Long Term Support*) jusqu'en novembre 2026. Plus aucune nouvelle fonctionnalité n'y sera ajoutée, les mises à jour concerneront les correctifs de sécurité uniquement. Il est désormais conseillé de lui préférer `pgBackRest`. Il n'est plus compatible avec PostgreSQL 15 et supérieur.

Site Web de `pitrery`¹⁵.

¹⁴<https://www.pgbarman.org/>

¹⁵<https://dalibo.github.io/pitrery/>

7.8 CONCLUSION



- Une sauvegarde
 - fiable
 - éprouvée
 - rapide
 - continue
- Mais
 - plus complexe à mettre en place que `pg_dump`
 - qui restaure toute l'instance

Cette méthode de sauvegarde est la seule utilisable dès que les besoins de performance de sauvegarde et de restauration augmentent (*Recovery Time Objective* ou RTO), ou que le volume de perte de données doit être drastiquement réduit (*Recovery Point Objective* ou RPO).

7.8.1 Questions



N'hésitez pas, c'est le moment !

7.9 QUIZ



https://dali.bo/i2_quiz

7.10 TRAVAUX PRATIQUES

7.10.1 pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration



But : Créer une sauvegarde physique à chaud à un moment précis de la base avec `pg_basebackup`, et la restaurer.

Configurer la réplication dans `postgresql.conf` :

- désactiver l'archivage s'il est actif
- autoriser des connexions de réplication en streaming en local.

Pour insérer des données :

- générer de l'activité avec `pgbench` en tant qu'utilisateur **postgres** :

```
$ createdb bench
$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench -i -s 100 bench
$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench bench -n -P 5 -T 720
```

- laisser tourner en arrière-plan
- surveiller l'évolution de l'activité sur la table `pgbench_history`, par exemple ainsi :

```
$ watch -n 1 "psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history ;'"
```

En parallèle, sauvegarder l'instance avec :

- `pg_basebackup` au format tar, compressé avec gzip ;
- sans oublier les journaux ;
- avec l'option `--max-rate=16M` pour ralentir la sauvegarde ;
- le répertoire de sauvegarde sera `/var/lib/pgsql/15/backups/basebackup` ;
- surveillez la progression dans une autre session avec la vue système adéquate.

Une fois la sauvegarde terminée :

- regarder les fichiers générés ;
- arrêter la session `pgbench` ; Afficher la date de dernière modification dans `pgbench_history`.

- Arrêter l'instance.
- Faire une copie à froid des données (par exemple avec `cp -rfp`) vers `/var/lib/pgsql/15/data.old`

(cette copie resservira plus tard).

- Vider le répertoire des données.
- Restaurer la sauvegarde `pg_basebackup` en décompressant ses deux archives.
- Redémarrer l'instance.

Une fois l'instance restaurée et démarrée, vérifier les traces : la base doit accepter les connexions.

Quelle est la dernière donnée restaurée ?

Tenter une nouvelle restauration depuis l'archive `pg_basebackup` *sans* restaurer les journaux de transaction. Que se passe-t-il ?

7.10.2 `pg_basebackup` : sauvegarde ponctuelle & restauration des journaux suivants



But : Coupler une sauvegarde à chaud avec `pg_basebackup` et l'archivage

Remettre en place la copie de l'instance prise précédemment. Configurer l'archivage vers un répertoire `/var/lib/postgresql/15/archives`, par exemple avec `rsync`. Configurer la commande de restauration inverse. Démarrer PostgreSQL.

Générer à nouveau de l'activité avec `pgbench`. Vérifier que l'archivage fonctionne.

En parallèle, lancer une nouvelle sauvegarde avec `pg_basebackup` au format plain.

Utiliser `pg_verify_backup` pour contrôler l'intégrité de la sauvegarde.

À quoi correspond le fichier `.backup` dans les archives ?

Noter la valeur des dernières données insérées.

Effacer le PGDATA. Restaurer la sauvegarde *sans* les journaux. Configurer la `restore_command`. Créer le fichier `recovery.signal`. Démarrer PostgreSQL.

Vérifier les traces, ainsi que les données restaurées une fois le service démarré.

Vérifier quelles données ont été restaurées.

7.11 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTIONS)

7.11.1 pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration

Configurer la réplication dans `postgresql.conf` :

- désactiver l'archivage s'il est actif
- autoriser des connexions de réplication en streaming en local.

On n'aura ici pas besoin de l'archivage. S'il est déjà actif, on peut se contenter d'inhiber ainsi la commande d'archivage :

```
archive_mode = on
archive_command = '/bin/true'
```

(Cela permet d'épargner le redémarrage à chaque modification de `archive_mode`.)

Vérifier la configuration de l'autorisation de connexion en réplication dans `pg_hba.conf`. Si besoin, mettre à jour la ligne en fin de fichier :

```
local    replication    all                                     peer
```

Cela va ouvrir l'accès sans mot de passe depuis l'utilisateur système **postgres**.

Redémarrer PostgreSQL :

```
# systemctl restart postgresql-15
```

Pour insérer des données :

- générer de l'activité avec `pgbench` en tant qu'utilisateur **postgres** :

```
$ createdb bench
$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench -i -s 100 bench
$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench bench -n -P 5 -T 720
```

- laisser tourner en arrière-plan
- surveiller l'évolution de l'activité sur la table `pgbench_history`, par exemple ainsi :

```
$ watch -n 1 "psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history ;'"
```

En parallèle, sauvegarder l'instance avec :

- `pg_basebackup` au format tar, compressé avec `gzip` ;
- sans oublier les journaux ;
- avec l'option `--max-rate=16M` pour ralentir la sauvegarde ;
- le répertoire de sauvegarde sera `/var/lib/pgsql/15/backups/basebackup` ;
- surveillez la progression dans une autre session avec la vue système adéquate.

En tant que **postgres** :

```
$ pg_basebackup -D /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup -Ft \
--checkpoint=fast --gzip --progress --max-rate=16M
```

1583675/1583675 kB (100%), 1/1 tablespace

La progression peut se suivre depuis psql avec :

```
$ \x on
$ SELECT * FROM pg_stat_progress_basebackup ;
$ \watch
```

Thu Jan 5 16:58:05 2023 (every 2s)

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
pid          | 19763
phase        | waiting for checkpoint to finish
backup_total  |
backup_streamed | 0
tablespaces_total | 0
↵
tablespaces_streamed | 0
↵
```

Thu Jan 5 16:58:07 2023 (every 2s)

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----
pid          | 19763
phase        | streaming database files
backup_total  | 1611215360
backup_streamed | 29354496
tablespaces_total | 1
tablespaces_streamed | 0
...
```

Évidemment, en production, il ne faut pas sauvegarder en local.

Une fois la sauvegarde terminée :

- regarder les fichiers générés ;
- arrêter la session pgbench ; Afficher la date de dernière modification dans pgbench_history.

```
$ ls -lha /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup
...
-rw-----. 1 postgres postgres 180K Jan 5 17:00 backup_manifest
-rw-----. 1 postgres postgres 91M Jan 5 17:00 base.tar.gz
-rw-----. 1 postgres postgres 23M Jan 5 17:00 pg_wal.tar.gz
```

On obtient donc :

- une archive de la sauvegarde « de base » ;
- une archive des journaux nécessaires ;
- un fichier manifeste au format texte contenant les sommes de contrôles des fichiers archivés.

pgbench s'arrête avec un simple **Ctrl-C**. L'heure de dernière modification est :

```
$ psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history;'
```

```
-----
           max
-----
2023-01-05 17:01:51.595414
```

- Arrêter l'instance.
- Faire une copie à froid des données (par exemple avec `cp -rfp`) vers `/var/lib/pgsql/15/data.old` (cette copie resservira plus tard).

```
# systemctl stop postgresql-15
```

```
$ cp -rfp /var/lib/pgsql/15/data /var/lib/pgsql/15/data.old
```

- Vider le répertoire des données.
- Restaurer la sauvegarde `pg_basebackup` en décompressant ses deux archives.
- Redémarrer l'instance.

On restaure dans le répertoire de données l'archive de base, puis les journaux dans leur sous-répertoire. La suppression des journaux est optionnelle, mais elle nous permettra de ne pas mélanger les traces d'avant et d'après la restauration.

```
$ rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/*
$ tar -C /var/lib/pgsql/15/data \
  -xzf /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup/base.tar.gz
$ tar -C /var/lib/pgsql/15/data/pg_wal \
  -xzf /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup/pg_wal.tar.gz
$ rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/log/*

# systemctl start postgresql-15
```

Une fois l'instance restaurée et démarrée, vérifier les traces : la base doit accepter les connexions.

```
$ tail -F /var/lib/pgsql/15/data/log/postgresql-*.log
...
2023-01-05 17:10:51.412 UTC [20057] LOG:  database system was interrupted; last
    ↪ known up at 2023-01-05 16:59:03 UTC
2023-01-05 17:10:51.510 UTC [20057] LOG:  redo starts at 0/830000B0
2023-01-05 17:10:52.105 UTC [20057] LOG:  consistent recovery state reached at
    ↪ 0/8E8450F0
2023-01-05 17:10:52.105 UTC [20057] LOG:  redo done at 0/8E8450F0 system usage: CPU:
    ↪ user: 0.28 s, system: 0.24 s, elapsed: 0.59 s
2023-01-05 17:10:52.181 UTC [20055] LOG:  checkpoint starting: end-of-recovery
    ↪ immediate wait
2023-01-05 17:10:53.446 UTC [20055] LOG:  checkpoint complete: wrote 16008 buffers
    ↪ (97.7%); ...
2023-01-05 17:10:53.466 UTC [20051] LOG:  database system is ready to accept
    ↪ connections
```

PostgreSQL considère qu'il a été interrompu brutalement et part en *recovery*. Noter en particulier la mention *consistent recovery state reached* : la sauvegarde est bien cohérente.

Quelle est la dernière donnée restaurée ?

```
$ psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history;'
```

```
-----  
max  
-----  
2023-01-05 17:00:40.936925
```

Grâce aux journaux (pg_wal) restaurés, l'ensemble des modifications survenues **pendant** la sauvegarde ont bien été récupérées. Par contre, les données générées après la sauvegarde n'ont, elles, pas été récupérées.

Tenter une nouvelle restauration depuis l'archive pg_basebackup *sans* restaurer les journaux de transaction. Que se passe-t-il ?

```
# systemctl stop postgresql-15  
# rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/*  
# tar -C /var/lib/pgsql/15/data \  
-xzf /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup/base.tar.gz  
# rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/log/*  
# systemctl start postgresql-15
```

Résultat :

Job for postgresql-15.service failed because the control process exited with error
↪ code.

See "systemctl status postgresql-15.service" and "journalctl -xe" for details.

Pour trouver la cause :

```
# tail -F /var/lib/pgsql/15/data/log/postgresql-*.log  
...  
2023-01-05 17:16:52.048 UTC [20177] LOG:  database system was interrupted; last  
↪ known up at 2023-01-05 16:59:03 UTC  
2023-01-05 17:16:52.134 UTC [20177] LOG:  invalid checkpoint record  
2023-01-05 17:16:52.134 UTC [20177] FATAL:  could not locate required checkpoint  
↪ record  
2023-01-05 17:16:52.134 UTC [20177] HINT:  If you are restoring from a backup, touch  
↪ "/var/lib/pgsql/15/data/recovery.signal" and add required recovery options.  
If you are not restoring from a backup, try removing the file  
↪ "/var/lib/pgsql/15/data/backup_label".  
Be careful: removing "/var/lib/pgsql/15/data/backup_label" will result in a  
↪ corrupt cluster if restoring from a backup.
```

PostgreSQL ne trouve pas les journaux nécessaires à sa restauration à un état cohérent, le service refuse de démarrer. Il a trouvé un checkpoint dans le fichier backup_label créé au début de la sauvegarde, mais aucun checkpoint postérieur dans les journaux (et pour cause).

Les traces contiennent ensuite des suggestions qui peuvent être utiles.

Cependant, un fichier recovery.signal ne sert à rien sans recovery_command, et nous n'en avons pas encore paramétré ici.



Quant au fichier `backup_label`, le supprimer permettrait peut-être de démarrer l'instance mais celle-ci serait alors dans un état incohérent !

Il y a plus de chance que cela finisse ainsi :

```
2023-01-05 17:33:53.046 UTC [20512] PANIC:  could not locate a valid checkpoint
↪ record
```

En résumé : la restauration des journaux n'est pas optionnelle !

7.11.2 pg_basebackup : sauvegarde ponctuelle & restauration des journaux suivants

Remettre en place la copie de l'instance prise précédemment. Configurer l'archivage vers un répertoire `/var/lib/pgsql/15/archives`, par exemple avec `rsync`. Configurer la commande de restauration inverse. Démarrer PostgreSQL.

```
# systemctl stop postgresql-15
# rm -rf /var/lib/pgsql/15/data
# cp -rfp /var/lib/pgsql/15/data.old /var/lib/pgsql/15/data
```

Créer le répertoire d'archivage s'il n'existe pas déjà :

```
$ mkdir /var/lib/pgsql/15/archives
```

Là encore, en production, ce sera un partage distant. L'utilisateur système **postgres** doit avoir le droit d'y écrire.

L'archivage se définit dans `postgresql.conf` :

```
archive_mode = on
archive_command = 'rsync %p /var/lib/pgsql/15/archives/%f'
```

et on peut y définir aussi tout de suite la commande de restauration :

```
restore_command = 'rsync /var/lib/pgsql/15/archives/%f %p'

# systemctl start postgresql-15
```

Générer à nouveau de l'activité avec `pgbench`. Vérifier que l'archivage fonctionne.

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench bench -n -P 5 -T 720

$ ls -lha /var/lib/pgsql/15/archives
...
-rw-----. 1 postgres postgres 16M Jan  5 18:32 000000010000000000000000BB
-rw-----. 1 postgres postgres 16M Jan  5 18:32 000000010000000000000000BC
-rw-----. 1 postgres postgres 16M Jan  5 18:32 000000010000000000000000BD
...
```

En parallèle, lancer une nouvelle sauvegarde avec `pg_basebackup` au format plain.

```
$ rm -rf /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup
$ pg_basebackup -D /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup -Fp \
--checkpoint=fast --progress --max-rate=16M
```

```
1586078/1586078 kB (100%), 1/1 tablespace
```

Le répertoire cible devra avoir été vidé.

La taille de la sauvegarde sera bien sûr nettement plus grosse qu'en tar compressé.

Utiliser `pg_verifybackup` pour contrôler l'intégrité de la sauvegarde.

Si tout va bien, le message sera lapidaire :

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pg_verifybackup /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup
backup successfully verified
```

S'il y a un problème, des messages de ce genre apparaîtront :

```
pg_verifybackup: error: "global/TEST" is present on disk but not in the manifest
pg_verifybackup: error: "global/2671" is present in the manifest but not on disk
pg_verifybackup: error: "postgresql.conf" has size 29507 on disk but size 29506 in
↪ the manifest
```

À quoi correspond le fichier `.backup` dans les archives ?

En effet, ce fichier apparaît parmi les journaux archivés :

```
$ ls -lha /var/lib/pgsql/15/archives
...
-rw----- . 1 postgres postgres 16M Jan  5 18:33 000000010000000000000000BE
-rw----- . 1 postgres postgres 341 Jan  5 18:34
↪ 000000010000000000000000BE.00003E00.backup
-rw----- . 1 postgres postgres 16M Jan  5 18:33 000000010000000000000000BF
...
```

Son contenu correspond au futur backup_label :

```
START WAL LOCATION: 0/BE003E00 (file 000000010000000000000000BE)
STOP WAL LOCATION: 0/C864D0F8 (file 000000010000000000000000C8)
CHECKPOINT LOCATION: 0/BE0AB340
BACKUP METHOD: streamed
BACKUP FROM: primary
START TIME: 2023-01-05 18:32:52 UTC
LABEL: pg_basebackup base backup
START TIMELINE: 1
STOP TIME: 2023-01-05 18:34:29 UTC
STOP TIMELINE: 1
```

Noter la valeur des dernières données insérées.

```
$ psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history;'
max
```

```
-----
2023-01-05 18:41:23.068948
```

Effacer le PGDATA. Restaurer la sauvegarde *sans* les journaux. Configurer la `restore_command`.
Créer le fichier `recovery.signal`. Démarrer PostgreSQL.

```
# systemctl stop postgresql-15
# rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/*
# tar -C /var/lib/pgsql/15/data \
  -xzf /var/lib/pgsql/15/backups/basebackup/base.tar.gz
# rm -rf /var/lib/pgsql/15/data/log/*
```

Créer le fichier `recovery.signal` :

```
$ touch /var/lib/pgsql/15/data/recovery.signal
```

Démarrer le service :

```
# systemctl start postgresql-15
```

Vérifier les traces, ainsi que les données restaur  es une fois le service démarré.

Les traces sont plus complexes à cause de la restauration depuis les archives :

```
# tail -F /var/lib/pgsql/15/data/log/postgresql-*.log
...
2023-01-05 18:43:24.572 UTC [22535] LOG:  database system was interrupted; last
  ↳ known up at 2023-01-05 18:32:52 UTC
rsync: link_stat "/var/lib/pgsql/15/archives/00000002.history" failed: No such file
  ↳ or directory (2)
rsync error: some files/attrs were not transferred (see previous errors) (code 23)
  ↳ at main.c(1189) [sender=3.1.3]
2023-01-05 18:43:24.657 UTC [22535] LOG:  starting archive recovery
2023-01-05 18:43:24.728 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000BE" from archive
2023-01-05 18:43:24.797 UTC [22535] LOG:  redo starts at 0/BE003E00
2023-01-05 18:43:24.960 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000BF" from archive
2023-01-05 18:43:25.167 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000C0" from archive
2023-01-05 18:43:25.408 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000C1" from archive
...
2023-01-05 18:43:27.036 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000C8" from archive
2023-01-05 18:43:27.240 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000C9" from archive
2023-01-05 18:43:27.331 UTC [22535] LOG:  consistent recovery state reached at
  ↳ 0/C864D0F8
2023-01-05 18:43:27.331 UTC [22530] LOG:  database system is ready to accept
  ↳ read-only connections
2023-01-05 18:43:27.551 UTC [22535] LOG:  restored log file
  ↳ "000000010000000000000000CA" from archive
```

```
2023-01-05 18:43:27.799 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000CB" from archive
...
2023-01-05 18:43:34.510 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000E0" from archive
2023-01-05 18:43:34.792 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000E1" from archive
2023-01-05 18:43:35.047 UTC [22535] LOG:  redo in progress, elapsed time: 10.25 s,
↳ current LSN: 0/E0FF3438
2023-01-05 18:43:35.254 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000E2" from archive
2023-01-05 18:43:36.016 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000E3" from archive
...
2023-01-05 18:43:40.052 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000EF" from archive
2023-01-05 18:43:40.376 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000F0" from archive
rsync: link_stat "/var/lib/pgsql/15/archives/000000010000000000000000F1" failed: No
↳ such file or directory (2)
rsync error: some files/attrs were not transferred (see previous errors) (code 23)
↳ at main.c(1189) ...
rsync: link_stat "/var/lib/pgsql/15/archives/000000010000000000000000F1" failed: No
↳ such file or directory (2)
rsync error: some files/attrs were not transferred (see previous errors) (code 23)
↳ at main.c(1189) ...
2023-01-05 18:43:40.576 UTC [22535] LOG:  redo done at 0/F0A6C9E0 system usage:
CPU: user: 2.51 s, system: 2.28 s, elapsed:
↳ 15.77 s
2023-01-05 18:43:40.577 UTC [22535] LOG:  last completed transaction
was at log time 2023-01-05 18:41:23.077219+00
2023-01-05 18:43:40.638 UTC [22535] LOG:  restored log file
↳ "000000010000000000000000F0" from archive
rsync: link_stat "/var/lib/pgsql/15/archives/00000002.history" failed: No such file
↳ or directory (2)
rsync error: some files/attrs were not transferred (see previous errors) (code 23)
↳ at main.c(1189) ...
2023-01-05 18:43:40.743 UTC [22535] LOG:  selected new timeline ID: 2
rsync: link_stat "/var/lib/pgsql/15/archives/00000001.history" failed: No such file
↳ or directory (2)
rsync error: some files/attrs were not transferred (see previous errors) (code 23)
↳ at main.c(1189) ...
2023-01-05 18:43:40.875 UTC [22535] LOG:  archive recovery complete
2023-01-05 18:43:40.883 UTC [22533] LOG:  checkpoint starting: end-of-recovery
↳ immediate wait
2023-01-05 18:43:43.155 UTC [22533] LOG:  checkpoint complete: wrote 16012 buffers
↳ (97.7%); ...
2023-01-05 18:43:43.195 UTC [22530] LOG:  database system is ready to accept
↳ connections
```

Les messages d'erreur de rsync ne sont pas inquiétants : celui-ci ne trouve simplement pas les fichiers demandés à la `restore_command`. PostgreSQL sait ainsi qu'il n'y a pas de fichier `00000002.history` et donc pas de timeline de ce numéro. Il devine aussi qu'il a restauré tous les journaux quand la récupération de l'un d'entre eux échoue.

La progression de la restauration peut être suivie grâce aux différents messages ci-dessous, de démarrage, d'atteinte du point de cohérence, de statut... jusqu'à l'heure exacte de restauration. Enfin, il y a bascule sur une nouvelle *timeline*, et un checkpoint.

```
LOG:  starting archive recovery
LOG:  redo starts at 0/BE003E00
LOG:  consistent recovery state reached at 0/C864D0F8
LOG:  redo in progress, elapsed time: 10.25 s, current LSN: 0/E0FF3438
LOG:  redo done at 0/F0A6C9E0 ...
LOG:  last completed transaction was at log time 2023-01-05 18:41:23.077219+00
LOG:  selected new timeline ID: 2
LOG:  archive recovery complete
LOG:  checkpoint complete:
```

Noter que les journaux portent la nouvelle *timeline* :

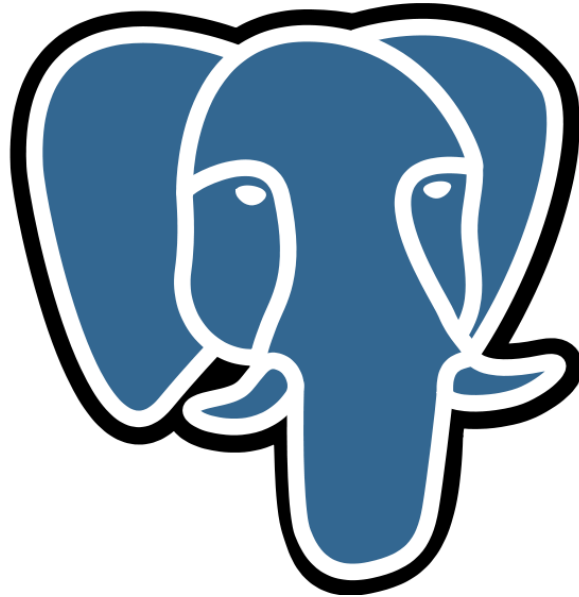
```
$ ls -l /var/lib/pgsql/15/data/pg_wal/
...
-rw-----. 1 postgres postgres 16777216 Jan  5 18:43 00000002000000001000000023
-rw-----. 1 postgres postgres 16777216 Jan  5 18:43 00000002000000001000000024
-rw-----. 1 postgres postgres      42 Jan  5 18:43 00000002.history
drwx-----. 2 postgres postgres      35 Jan  5 18:43 archive_status
```

Vérifier quelles données ont été restaurées.

Cette fois, toutes les données générées après la sauvegarde ont bien été récupérées :

```
$ psql -d bench -c 'SELECT max(mtime) FROM pgbench_history;'
      max
-----
2023-01-05 18:41:23.068948
```


8/ PostgreSQL : Gestion d'un sinistre



8.1 INTRODUCTION



- Une bonne politique de sauvegardes est cruciale
 - mais elle n'empêche pas les incidents
- Il faut être prêt à y faire face

Ce module se propose de faire une description des bonnes et mauvaises pratiques en cas de coup dur :

- crash de l'instance ;
- suppression / corruption de fichiers ;
- problèmes matériels ;
- sauvegardes corrompues...

Seront également présentées les situations classiques de désastres, ainsi que certaines méthodes et outils dangereux et déconseillés.

L'objectif est d'aider à convaincre de l'intérêt qu'il y a à anticiper les problèmes, à mettre en place une politique de sauvegarde pérenne, et à ne pas tenter de manipulation dangereuse sans comprendre précisément à quoi l'on s'expose.

Ce module est en grande partie inspiré de *The Worst Day of Your Life*, une présentation de Christophe Pettus au FOSDEM 2014¹

8.1.1 Au menu



- Anticiper les désastres
- Réagir aux désastres
- Rechercher l'origine du problème
- Outils utiles
- Cas type de désastres

¹<http://thebuild.com/presentations/worst-day-fosdem-2014.pdf>

8.2 ANTICIPER LES DÉSASTRES



- Un désastre peut toujours survenir
- Il faut savoir le détecter le plus tôt possible
 - et s'être préparé à y répondre

Il est impossible de parer à tous les cas de désastres imaginables.

Le matériel peut subir des pannes, une faille logicielle non connue peut être exploitée, une modification d'infrastructure ou de configuration peut avoir des conséquences imprévues à long terme, une erreur humaine est toujours possible.

Les principes de base de la haute disponibilité (redondance, surveillance...) permettent de mitiger le problème, mais jamais de l'éliminer complètement.

Il est donc extrêmement important de se préparer au mieux, de procéder à des simulations, de remettre en question chaque brique de l'infrastructure pour être capable de détecter une défaillance et d'y réagir rapidement.

8.2.1 Documentation



- Documentation complète et à jour
 - emplacement et fréquence des sauvegardes
 - emplacement des traces
 - procédures et scripts d'exploitation
- Sauvegarder et versionner la documentation

Par nature, les désastres arrivent de façon inattendue.

Il faut donc se préparer à devoir agir en urgence, sans préparation, dans un environnement perturbé et stressant — par exemple, en pleine nuit, la veille d'un jour particulièrement critique pour l'activité de la production.

Un des premiers points d'importance est donc de s'assurer de la présence d'une documentation claire, précise et à jour, afin de minimiser le risque d'erreurs humaines.

Cette documentation devrait détailler l'architecture dans son ensemble, et particulièrement la politique de sauvegarde choisie, l'emplacement de celles-ci, les procédures de restauration et éventuellement de bascule vers un environnement de secours.

Les procédures d'exploitation doivent y être expliquées, de façon détaillée mais claire, afin qu'il n'y ait pas de doute sur les actions à effectuer une fois la cause du problème identifiée.

La méthode d'accès aux informations utiles (traces de l'instance, du système, supervision...) devrait également être soigneusement documentée afin que le diagnostic du problème soit aussi simple que possible.

Toutes ces informations doivent être organisées de façon claire, afin qu'elles soient immédiatement accessibles et exploitables aux intervenants lors d'un problème.

Il est évidemment tout aussi important de penser à versionner et sauvegarder cette documentation, afin que celle-ci soit toujours accessible même en cas de désastre majeur (perte d'un site).

8.2.2 Procédures et scripts



- Procédures détaillées de restauration / PRA
 - préparer des scripts / utiliser des outils
 - minimiser le nombre d'actions manuelles
- Tester les procédures régulièrement
 - bases de test, développement...
 - s'assurer que chacun les maîtrise
- Sauvegarder et versionner les scripts

La gestion d'un désastre est une situation particulièrement stressante, le risque d'erreur humaine est donc accru.

Un DBA devant restaurer d'urgence l'instance de production en pleine nuit courra plus de risques de faire une fausse manipulation s'il doit taper une vingtaine de commandes en suivant une procédure dans une autre fenêtre (voire un autre poste) que s'il n'a qu'un script à exécuter.

En conséquence, il est important de minimiser le nombre d'actions manuelles à effectuer dans les procédures, en privilégiant l'usage de scripts d'exploitation ou d'outils dédiés (comme pgBackRest ou barman pour restaurer une instance PostgreSQL).

Néanmoins, même cette pratique ne suffit pas à exclure tout risque.

L'utilisation de ces scripts ou de ces outils doit également être comprise, correctement documentée, et les procédures régulièrement testées. Le test idéal consiste à remonter fréquemment des environnements de développement et de test ; vos développeurs vous en seront d'ailleurs reconnaissants.

Dans le cas contraire, l'utilisation d'un script ou d'un outil peut aggraver le problème, parfois de façon dramatique — par exemple, l'écrasement d'un environnement sain lors d'une restauration parce que la procédure ne mentionne pas que le script doit être lancé depuis un serveur particulier.

L'aspect le plus important est de s'assurer par des tests réguliers **et manuels** que les procédures sont à jour, n'ont pas de comportement inattendu, et sont maîtrisées par toute l'équipe d'exploitation.

Tout comme pour la documentation, les scripts d'exploitation doivent également être sauvegardés et versionnés.

8.2.3 Supervision et historisation



- Tout doit être supervisé
 - réseau, matériel, système, logiciels...
 - les niveaux d'alerte doivent être significatifs
- Les métriques importantes doivent être historisées
 - cela permet de retrouver le moment où le problème est apparu
 - quand cela a un sens, faire des graphes

La supervision est un sujet vaste, qui touche plus au domaine de la haute disponibilité.

Un désastre sera d'autant plus difficile à gérer qu'il est détecté tard. La supervision en place doit donc être pensée pour détecter tout type de défaillance (penser également à superviser la supervision !).

Attention à bien calibrer les niveaux d'alerte, la présence de trop de messages augmente le risque que l'un d'eux passe inaperçu, et donc que l'incident ne soit détecté que tardivement.

Pour aider la phase de diagnostic de l'origine du problème, il faut prévoir d'historiser un maximum d'informations.

La présentation de celles-ci est également importante : il est plus facile de distinguer un pic brutal du nombre de connexions sur un graphique que dans un fichier de traces de plusieurs Go !

8.2.4 Automatisation



- Des outils existent
 - PAF (Pacemaker), patroni, repmgr...
- Automatiser une bascule est complexe
 - cela peut mener à davantage d'incidents
 - voire à des désastres (*split brain*)

Si on poursuit jusqu'au bout le raisonnement précédent sur le risque à faire effectuer de nombreuses opérations manuelles lors d'un incident, la conclusion logique est que la solution idéale serait de les éliminer complètement, et d'automatiser complètement le déclenchement et l'exécution de la procédure.

Un problème est que toute solution visant à automatiser une tâche se base sur un nombre limité de paramètres et sur une vision restreinte de l'architecture.

De plus, il est difficile à un outil de bascule automatique de diagnostiquer correctement certains types d'incident, par exemple une partition réseau. L'outil peut donc détecter à tort un incident, surtout s'il est réglé de façon à être assez sensible, et ainsi provoquer lui-même une coupure de service inutile.

Dans le pire des cas, l'outil peut être amené à prendre une mauvaise décision amenant à une situation de désastre, comme un *split brain* (deux instances PostgreSQL se retrouvent ouvertes en écriture en même temps sur les mêmes données).

Il est donc fortement préférable de laisser un administrateur prendre les décisions potentiellement dangereuses, comme une bascule ou une restauration.

8.3 RÉAGIR AUX DÉSASTRES



- Savoir identifier un problème majeur
- Bons réflexes
- Mauvais réflexes

En dépit de toutes les précautions que l'on peut être amené à prendre, rien ne peut garantir qu'aucun problème ne surviendra.

Il faut donc être capable d'identifier le problème lorsqu'il survient, et être prêt à y répondre.

8.3.1 Symptômes d'un désastre



- Crash de l'instance
- Résultats de requêtes erronés
- Messages d'erreurs dans les traces
- Dégradation importante des temps d'exécution
- Processus manquants
 - ou en court d'exécution depuis trop longtemps

De très nombreux éléments peuvent aider à identifier que l'on est en situation d'incident grave.

Le plus flagrant est évidemment le crash complet de l'instance PostgreSQL, ou du serveur l'hébergeant, et l'impossibilité pour PostgreSQL de redémarrer.

Les désastres les plus importants ne sont toutefois pas toujours aussi simples à détecter.

Les crash peuvent se produire uniquement de façon ponctuelle, et il existe des cas où l'instance redémarre immédiatement après (typiquement suite au `kill -9` d'un processus backend PostgreSQL).

Cas encore plus délicat, il peut également arriver que les résultats de requêtes soient erronés (par exemple en cas de corruption de fichiers d'index) sans qu'aucune erreur n'apparaisse.

Les symptômes classiques permettant de détecter un problème majeur sont :

- la présence de messages d'erreurs dans les traces de PostgreSQL (notamment des messages PANIC ou FATAL, mais les messages ERROR et WARNING sont également très significatifs, particulièrement s'ils apparaissent soudainement en très grand nombre) ;

- la présence de messages d'erreurs dans les traces du système d'exploitation (notamment concernant la mémoire ou le système de stockage) ;
- le constat d'une dégradation importante des temps d'exécution des requêtes sur l'instance ;
- l'absence de certains processus critiques de PostgreSQL ;
- la présence de processus présents depuis une durée inhabituelle (plusieurs semaines, mois...).

8.3.2 Bons réflexes 1



- Garder la tête froide
- Répartir les tâches clairement
- Minimiser les canaux de communication
- Garder des notes de chaque action entreprise

Une fois que l'incident est repéré, il est important de ne pas foncer tête baissée dans des manipulations.

Il faut bien sûr prendre en considération la criticité du problème, notamment pour définir la priorité des actions (par exemple, en cas de perte totale d'un site, quelles sont les applications à basculer en priorité ?), mais quelle que soit la criticité ou l'impact, il ne faut jamais effectuer une action sans en avoir parfaitement saisi l'impact et s'être assuré qu'elle répondait bien au problème rencontré.

Si le travail s'effectue en équipe, il faut bien faire attention à répartir les tâches clairement, afin d'éviter des manipulations concurrentes ou des oublis qui pourraient aggraver la situation.

Il faut également éviter de multiplier les canaux de communication, cela risque de favoriser la perte d'information, ce qui est critique dans une situation de crise.

Surtout, une règle majeure est de prendre le temps de noter systématiquement toutes les actions entreprises.

Les commandes passées, les options utilisées, l'heure d'exécution, toutes ces informations sont très importantes, déjà pour pouvoir agir efficacement en cas de fausse manipulation, mais également pour documenter la gestion de l'incident après coup, et ainsi en conserver une trace qui sera précieuse si celui-ci venait à se reproduire.

8.3.3 Bons réflexes 2



- Se prémunir contre une aggravation du problème
 - couper les accès applicatifs
- Si une corruption est suspectée
 - arrêter immédiatement l'instance
 - faire une sauvegarde immédiate des fichiers
 - travailler sur une copie

S'il y a suspicion de potentielle corruption de données, il est primordial de s'assurer au plus vite de couper tous les accès applicatifs vers l'instance afin de ne pas aggraver la situation.

Il est généralement préférable d'avoir une coupure de service plutôt qu'un grand volume de données irrécupérables.

Ensuite, il faut impérativement faire une sauvegarde complète de l'instance avant de procéder à toute manipulation. En fonction de la nature du problème rencontré, le type de sauvegarde pouvant être effectué peut varier (un export de données ne sera possible que si l'instance est démarrée et que les fichiers sont lisibles par exemple). En cas de doute, la sauvegarde la plus fiable qu'il est possible d'effectuer est une copie des fichiers à froid (instance arrêtée) - toute autre action (y compris un export de données) pourrait avoir des conséquences indésirables.

Si des manipulations doivent être tentées pour tenter de récupérer des données, il faut impérativement travailler sur une copie de l'instance, restaurée à partir de cette sauvegarde. Ne jamais travailler directement sur une instance de production corrompue, la moindre action (même en lecture) pourrait aggraver le problème !

Pour plus d'information, voir sur le wiki PostgreSQL².

²<https://wiki.postgresql.org/wiki/Corruption>

8.3.4 Bons réflexes 3



- Déterminer le moment de démarrage du désastre
- Adopter une vision générale plutôt que focalisée sur un détail
- Remettre en cause chaque élément de l'architecture
 - aussi stable (et/ou coûteux/complexe) soit-il
- Éliminer en priorité les causes possibles côté hardware, système
- Isoler le comportement précis du problème
 - identifier les requêtes / tables / index impliqués

La première chose à identifier est l'instant précis où le problème a commencé à se manifester. Cette information est en effet déterminante pour identifier la cause du problème, et le résoudre — notamment pour savoir à quel instant il faut restaurer l'instance si cela est nécessaire.

Il convient pour cela d'utiliser les outils de supervision et de traces (système, applicatif et PostgreSQL) pour remonter au moment d'apparition des premiers symptômes. Attention toutefois à ne pas confondre les symptômes avec le problème lui-même ! Les symptômes les plus visibles ne sont pas forcément apparus les premiers. Par exemple, la charge sur la machine est un symptôme, mais n'est jamais la cause du problème. Elle est liée à d'autres phénomènes, comme des problèmes avec les disques ou un grand nombre de connexions, qui peuvent avoir commencé à se manifester bien avant que la charge ne commence réellement à augmenter.

Si la nature du problème n'est pas évidente à ce stade, il faut examiner l'ensemble de l'architecture en cause, sans en exclure d'office certains composants (baie de stockage, progiciel...), quels que soient leur complexité / coût / stabilité supposés. Si le comportement observé côté PostgreSQL est difficile à expliquer (crashes plus ou moins aléatoires, nombreux messages d'erreur sans lien apparent...), il est préférable de commencer par s'assurer qu'il n'y a pas un problème de plus grande ampleur (système de stockage, virtualisation, réseau, système d'exploitation).

Un bon indicateur consiste à regarder si d'autres instances / applications / processus rencontrent des problèmes similaires.

Ensuite, une fois que l'ampleur du problème a été cernée, il faut procéder méthodiquement pour en déterminer la cause et les éléments affectés.

Pour cela, les informations les plus utiles se trouvent dans les traces, généralement de PostgreSQL ou du système, qui vont permettre d'identifier précisément les éventuels fichiers ou relations corrompus.

8.3.5 Bons réflexes 4



- En cas de défaillance matérielle
 - s'assurer de corriger sur du hardware sain et non affecté !
 - baies partagées...

Cette recommandation peut paraître aller de soi, mais si les problèmes sont provoqués par une défaillance matérielle, il est impératif de s'assurer que le travail de correction soit effectué sur un environnement non affecté.

Cela peut s'avérer problématique dans le cadre d'architecture mutualisant les ressources, comme des environnements virtualisés ou utilisant une baie de stockage.

Prendre également la précaution de vérifier que l'intégrité des sauvegardes n'est pas affectée par le problème.

8.3.6 Bons réflexes 5



- Communiquer, ne pas rester isolé
- Demander de l'aide si le problème est trop complexe
 - autres équipes
 - support
 - forums
 - listes

La communication est très importante dans la gestion d'un désastre.

Il est préférable de minimiser le nombre de canaux de communication plutôt que de les multiplier (téléphone, e-mail, chat, ticket...), ce qui pourrait amener à une perte d'informations et à des délais indésirables.

Il est primordial de rapidement cerner l'ampleur du problème, et pour cela il est généralement nécessaire de demander l'expertise d'autres administrateurs / équipes (applicatif, système, réseau, virtualisation, SAN...). Il ne faut pas rester isolé et risquer que la vision étroite que l'on a des symptômes (notamment en terme de supervision / accès aux traces) empêche l'identification de la nature réelle du problème.

Si la situation semble échapper à tout contrôle, et dépasser les compétences de l'équipe en cours d'intervention, il faut chercher de l'aide auprès de personnes compétentes, par exemple auprès d'autres équipes, du support.

En aucun cas, il ne faut se mettre à suivre des recommandations glanées sur Internet, qui ne se rapporteraient que très approximativement au problème rencontré, voire pas du tout. Si nécessaire, on trouve en ligne des forums et des listes de discussions spécialisées sur lesquels il est également possible d'obtenir des conseils — il est néanmoins indispensable de prendre en compte que les personnes intervenant sur ces médias le font de manière bénévole. Il est déraisonnable de s'attendre à une réaction immédiate, aussi urgent le problème soit-il, et les suggestions effectuées le sont sans aucune garantie.

8.3.7 Bons réflexes 6



- Dérouler les procédures comme prévu
- En cas de situation non prévue, s'arrêter pour faire le point
 - ne pas hésiter à remettre en cause l'analyse
 - ou la procédure elle-même

Dans l'idéal, des procédures détaillant les actions à effectuer ont été écrites pour le cas de figure rencontré. Dans ce cas, une fois que l'on s'est assuré d'avoir identifié la procédure appropriée, il faut la dérouler méthodiquement, point par point, et valider à chaque étape que tout se déroule comme prévu.

Si une étape de la procédure ne se passe pas comme prévu, il ne faut pas tenter de poursuivre tout de même son exécution sans avoir compris ce qui s'est passé et les conséquences. Cela pourrait être dangereux.

Il faut au contraire prendre le temps de comprendre le problème en procédant comme décrit précédemment, quitte à remettre en cause toute l'analyse menée auparavant, et la procédure ou les scripts utilisés.

C'est également pour parer à ce type de cas de figure qu'il est important de travailler sur une copie et non sur l'environnement de production directement.

8.3.8 Bons réflexes 7



- En cas de bug avéré
 - tenter de le cerner et de le reproduire au mieux
 - le signaler à la communauté de préférence (configuration, comment reproduire)

Ce n'est heureusement pas fréquent, mais il est possible que l'origine du problème soit liée à un bug de PostgreSQL lui-même.

Dans ce cas, la méthodologie appropriée consiste à essayer de reproduire le problème le plus fidèlement possible et de façon systématique, pour le cerner au mieux.

Il est ensuite très important de le signaler au plus vite à la communauté, généralement sur la liste `pgsql-bugs@postgresql.org` (cela nécessite une inscription préalable), en respectant les règles définies dans la documentation³.

Notamment (liste non exhaustive) :

- indiquer la version précise de PostgreSQL installée, et la méthode d'installation utilisée ;
- préciser la plate-forme utilisée, notamment la version du système d'exploitation utilisé et la configuration des ressources du serveur ;
- signaler uniquement les faits observés, éviter les spéculations sur l'origine du problème ;
- joindre le détail des messages d'erreurs observés (augmenter la verbosité des erreurs avec le paramètre `log_error_verbosity`) ;
- joindre un cas complet permettant de reproduire le problème de façon aussi simple que possible.

Pour les problèmes relevant du domaine de la sécurité (découverte d'une faille), la liste adéquate est `security@postgresql.org`.

³<https://www.postgresql.org/docs/current/static/bug-reporting.html>

8.3.9 Bons réflexes 8



- Après correction
- Tester complètement l'intégrité des données
 - pour détecter tous les problèmes
- Validation avec export logique complet

```
pg_dumpall > /dev/null
```

- Ou physique

```
pg_basebackup
```

- Reconstruction dans une autre instance (vérification de cohérence)

```
pg_dumpall | psql -h autre serveur
```

Une fois les actions correctives réalisées (restauration, recréation d'objets, mise à jour des données...), il faut tester intensivement pour s'assurer que le problème est bien complètement résolu.

Il est donc extrêmement important d'avoir préparé des cas de tests permettant de reproduire le problème de façon certaine, afin de valider la solution appliquée.

En cas de suspicion de corruption de données, il est également important de tenter de procéder à la lecture de la totalité des données depuis PostgreSQL.

Un premier outil pour cela est une sauvegarde avec `pg_basebackup` (voir plus loin).

Alternativement, la commande suivante, exécutée avec l'utilisateur système propriétaire de l'instance (généralement `postgres`) effectue une lecture complète de toutes les tables (mais sans les index ni les vues matérialisées), sans nécessiter de place sur disque supplémentaire :

```
$ pg_dumpall > /dev/null
```

Sous Windows Powershell, la commande est :

```
PS C:\ pg_dumpall > $null
```

Cette commande ne devrait renvoyer aucune erreur. En cas de problème, notamment une somme de contrôle qui échoue, une erreur apparaîtra :

```
pg_dump: WARNING: page verification failed, calculated checksum 20565 but expected
↳ 17796
pg_dump: erreur : Sauvegarde du contenu de la table « corrompue » échouée :
    échec de PQgetResult().
pg_dump: erreur : Message d'erreur du serveur :
    ERROR: invalid page in block 0 of relation base/104818/104828
```



```
pg_dump: erreur : La commande était : COPY public.corrompue (i) TO stdout;  
pg_dumpall: erreur : échec de pg_dump sur la base de données « corruption », quitte
```

Même si la lecture des données par `pg_dumpall` ou `pg_dump` ne renvoie aucune erreur, il est toujours possible que des problèmes subsistent, par exemple des corruptions silencieuses, des index incohérents avec les données...

Dans les situations les plus extrêmes (problème de stockage, fichiers corrompus), il est important de tester la validité des données dans une nouvelle instance en effectuant un export/import complet des données.

Par exemple, initialiser une nouvelle instance avec `initdb`, sur un autre système de stockage, voire sur un autre serveur, puis lancer la commande suivante (l'application doit être coupée, ce qui est normalement le cas depuis la détection de l'incident si les conseils précédents ont été suivis) pour exporter et importer à la volée :

```
$ pg_dumpall -h <serveur_corrompu> -U postgres | psql -h <nouveau_serveur> \  
                                     -U postgres postgres  
$ vacuumdb --analyze -h <nouveau_serveur> -U postgres postgres
```

D'éventuels problèmes peuvent être détectés lors de l'import des données, par exemple si des corruptions entraînent l'échec de la reconstruction de clés étrangères. Il faut alors procéder au cas par cas.

Enfin, même si cette étape s'est déroulée sans erreur, tout risque n'est pas écarté, il reste la possibilité de corruption de données silencieuses. Sauf si la fonctionnalité de checksum de PostgreSQL a été activée sur l'instance (ce n'est pas activé par défaut !), le seul moyen de détecter ce type de problème est de valider les données fonctionnellement.

Dans tous les cas, en cas de suspicion de corruption de données en profondeur, il est fortement préférable d'accepter une perte de données et de restaurer une sauvegarde d'avant le début de l'incident, plutôt que de continuer à travailler avec des données dont l'intégrité n'est pas assurée.

8.3.10 Mauvais réflexes 1



- Paniquer
- Prendre une décision hâtive
 - exemple, supprimer des fichiers du répertoire `pg_wal`
- Lancer une commande sans la comprendre, par exemple :
 - `pg_resetwal`
 - l'extension `pg_surgery`
 - DANGER, dernier espoir

Quelle que soit la criticité du problème rencontré, la panique peut en faire quelque chose de pire.

Il faut impérativement garder son calme, et résister au mieux au stress et aux pressions qu'une situation de désastre ne manque pas de provoquer.

Il est également préférable d'éviter de sauter immédiatement à la conclusion la plus évidente. Il ne faut pas hésiter à retirer les mains du clavier pour prendre de la distance par rapport aux conséquences du problème, réfléchir aux causes possibles, prendre le temps d'aller chercher de l'information pour réévaluer l'ampleur réelle du problème.

La plus mauvaise décision que l'on peut être amenée à prendre lors de la gestion d'un incident est celle que l'on prend dans la précipitation, sans avoir bien réfléchi et mesuré son impact. Cela peut provoquer des dégâts irrécupérables, et transformer une situation d'incident en situation de crise majeure.

Un exemple classique de ce type de comportement est le cas où PostgreSQL est arrêté suite au remplissage du système de fichiers contenant les fichiers WAL, `pg_wal`.

Le réflexe immédiat d'un administrateur non averti pourrait être de supprimer les plus vieux fichiers dans ce répertoire, ce qui répond bien aux symptômes observés mais reste une erreur dramatique qui va rendre le démarrage de l'instance impossible.

Quoi qu'il arrive, ne jamais exécuter une commande sans être certain qu'elle correspond bien à la situation rencontrée, et sans en maîtriser complètement les impacts. Même si cette commande provient d'un document mentionnant les mêmes messages d'erreur que ceux rencontrés (et tout particulièrement si le document a été trouvé via une recherche hâtive sur Internet) !

Là encore, nous disposons comme exemple d'une erreur malheureusement fréquente, l'exécution de la commande `pg_resetwal` sur une instance rencontrant un problème. Comme l'indique la documentation, « *[cette commande] ne doit être utilisée qu'en dernier ressort quand le serveur ne démarre plus du fait d'une telle corruption* » et « *il ne faut pas perdre de vue que la base de données peut contenir des données incohérentes du fait de transactions partiellement validées* » (documentation⁴). Nous reviendrons ultérieurement sur les (rares) cas d'usage réels de cette commande, mais dans l'immense majorité des cas, l'utiliser va aggraver le problème, en ajoutant des problématiques de corruption logique des données !

Il convient donc de bien s'assurer de comprendre les conséquences de l'exécution de chaque action effectuée.

8.3.11 Mauvais réflexes 2



- Arrêter le diagnostic quand les symptômes disparaissent
- Ne pas pousser l'analyse jusqu'au bout

⁴<https://docs.postgresql.fr/current/app-pgresetwal.html>

Il est important de pousser la réflexion jusqu'à avoir complètement compris l'origine du problème et ses conséquences.

En premier lieu, même si les symptômes semblent avoir disparus, il est tout à fait possible que le problème soit toujours sous-jacent, ou qu'il ait eu des conséquences moins visibles mais tout aussi graves (par exemple, une corruption logique de données).

Ensuite, même si le problème est effectivement corrigé, prendre le temps de comprendre et de documenter l'origine du problème (rapport « post-mortem ») a une valeur inestimable pour prendre les mesures afin d'éviter que le problème ne se reproduise, et retrouver rapidement les informations utiles s'il venait à se reproduire malgré tout.

8.3.12 Mauvais réflexes 3



- Ne pas documenter
 - le résultat de l'investigation
 - les actions effectuées

Après s'être assuré d'avoir bien compris le problème rencontré, il est tout aussi important de le documenter soigneusement, avec les actions de diagnostic et de correction effectuées.

Ne pas le faire, c'est perdre une excellente occasion de gagner un temps précieux si le problème venait à se reproduire.

C'est également un risque supplémentaire dans le cas où les actions correctives menées n'auraient pas suffi à complètement corriger le problème ou auraient eu un effet de bord inattendu.

Dans ce cas, avoir pris le temps de noter le détail des actions effectuées fera là encore gagner un temps précieux.

8.4 RECHERCHER L'ORIGINE DU PROBLÈME



- Quelques pistes de recherche pour cerner le problème
- Liste non exhaustive

Les problèmes pouvant survenir sont trop nombreux pour pouvoir tous les lister, chaque élément matériel ou logiciel d'une architecture pouvant subir de nombreux types de défaillances.

Cette section liste quelques pistes classiques d'investigation à ne pas négliger pour s'efforcer de cerner au mieux l'étendue du problème, et en déterminer les conséquences.

8.4.1 Prérequis



- Avant de commencer à creuser
 - référencer les symptômes
 - identifier au mieux l'instant de démarrage du problème

La première étape est de déterminer aussi précisément que possible les symptômes observés, sans en négliger, et à partir de quel moment ils sont apparus.

Cela donne des informations précieuses sur l'étendue du problème, et permet d'éviter de se focaliser sur un symptôme particulier, parce que plus visible (par exemple l'arrêt brutal de l'instance), alors que la cause réelle est plus ancienne (par exemple des erreurs IO dans les traces système, ou une montée progressive de la charge sur le serveur).

8.4.2 Recherche d'historique



- Ces symptômes ont-ils déjà été rencontrés dans le passé ?
- Ces symptômes ont-ils déjà été rencontrés par d'autres ?
- Attention à ne pas prendre les informations trouvées pour argent comptant !

Une fois les principaux symptômes identifiés, il est utile de prendre un moment pour déterminer si ce problème est déjà connu.

Notamment, identifier dans la base de connaissances si ces symptômes ont déjà été rencontrés dans le passé (d'où l'importance de bien documenter les problèmes).

Au-delà de la documentation interne, il est également possible de rechercher si ces symptômes ont déjà été rencontrés par d'autres.

Pour ce type de recherche, il est préférable de privilégier les sources fiables (documentation officielle, listes de discussion, plate-forme de support...) plutôt qu'un quelconque document d'un auteur non identifié.

Dans tous les cas, il faut faire très attention à ne pas prendre les informations trouvées pour argent comptant, et ce même si elles proviennent de la documentation interne ou d'une source fiable !

Il est toujours possible que les symptômes soient similaires mais que la cause soit différente. Il s'agit donc ici de mettre en place une base de travail, qui doit être complétée par une observation directe et une analyse.

8.4.3 Matériel



- Vérifier le système disque (SAN, carte RAID, disques)
- Un `fsync` est-il bien honoré de l'OS au disque ? (batteries !)
- Rechercher toute erreur matérielle
- Firmwares pas à jour
 - ou récemment mis à jour
- Matériel récemment changé

Les défaillances du matériel, et notamment du système de stockage, sont de celles qui peuvent avoir les impacts les plus importants et les plus étendus sur une instance et sur les données qu'elle contient.

Ce type de problème peut également être difficile à diagnostiquer en se contentant d'observer les symptômes les plus visibles. Il est facile de sous-estimer l'ampleur des dégâts.

Parmi les bonnes pratiques, il convient de vérifier la configuration et l'état du système disque (SAN, carte RAID, disques).

Quelques éléments étant une source habituelle de problèmes :

- le système disque n'honore pas les ordres `fsync` ? (SAN ? virtualisation ?) ;
- quel est l'état de la batterie du cache en écriture ?

Il faut évidemment rechercher la présence de toute erreur matérielle, au niveau des disques, de la mémoire, des CPU...

Vérifier également la version des firmwares installés. Il est possible qu'une nouvelle version corrige le problème rencontré, ou à l'inverse que le déploiement d'une nouvelle version soit à l'origine du problème.

Dans le même esprit, il faut vérifier si du matériel a récemment été changé. Il arrive que de nouveaux éléments soient défectueux.

Il convient de noter que l'investigation à ce niveau peut être grandement complexifiée par l'utilisation de certaines technologies (virtualisation, baies de stockage), du fait de la mutualisation des ressources, et de la séparation des compétences et des informations de supervision entre différentes équipes.

8.4.4 Virtualisation



- Mutualisation excessive
- Configuration du stockage virtualisé
- Rechercher les erreurs aussi niveau superviseur
- Mises à jour non appliquées
 - ou appliquées récemment
- Modifications de configuration récentes

Tout comme pour les problèmes au niveau du matériel, les problèmes au niveau du système de virtualisation peuvent être complexes à détecter et à diagnostiquer correctement.

Le principal facteur de problème avec la virtualisation est lié à une mutualisation excessive des ressources.

Il est ainsi possible d'avoir un total de ressources allouées aux VM supérieur à celles disponibles sur l'hyperviseur, ce qui amène à des comportements de fort ralentissement, voire de blocage des systèmes virtualisés.

Si ce type d'architecture est couplé à un système de gestion de bascule automatique (Pacemaker, repmgr...), il est possible d'avoir des situations de bascules imprévisibles, voire des situations de *split brain*, qui peuvent provoquer des pertes de données importantes. Il est donc important de prêter une attention particulière à l'utilisation des ressources de l'hyperviseur, et d'éviter à tout prix la sur-allocation.

Par ailleurs, lorsque l'architecture inclut une brique de virtualisation, il est important de prendre en compte que certains problèmes ne peuvent être observés qu'à partir de l'hyperviseur, et pas à partir du système virtualisé. Par exemple, les erreurs matérielles ou système risquent d'être invisibles depuis une VM, il convient donc d'être vigilant, et de rechercher toute erreur sur l'hôte.

Il faut également vérifier si des modifications ont été effectuées peu avant l'incident, comme des modifications de configuration ou l'application de mises à jour.

Comme indiqué dans la partie traitant du matériel, l'investigation peut être grandement freinée par la séparation des compétences et des informations de supervision entre différentes équipes. Une bonne communication est alors la clé de la résolution rapide du problème.

8.4.5 Système d'exploitation 1



- Erreurs dans les traces
- Mises à jour système non appliquées
- Modifications de configuration récentes

Après avoir vérifié les couches matérielles et la virtualisation, il faut ensuite s'assurer de l'intégrité du système d'exploitation.

La première des vérifications à effectuer est de consulter les traces du système pour en extraire les éventuels messages d'erreur :

- sous Linux, on trouvera ce type d'informations en sortie de la commande `dmesg`, et dans les fichiers traces du système, généralement situés sous `/var/log` ;
- sous Windows, on consultera à cet effet le journal des événements (les `event logs`).

Tout comme pour les autres briques, il faut également voir s'il existe des mises à jour des paquets qui n'auraient pas été appliquées, ou à l'inverse si des mises à jour, installations ou modifications de configuration ont été effectuées récemment.

8.4.6 Système d'exploitation 2



- Opération d'IO impossible
 - FS plein ?
 - FS monté en lecture seule ?
- Tester l'écriture sur PGDATA
- Tester la lecture sur PGDATA

Parmi les problèmes fréquemment rencontrés se trouve l'impossibilité pour PostgreSQL d'accéder en lecture ou en écriture à un ou plusieurs fichiers.

La première chose à vérifier est de déterminer si le système de fichiers sous-jacent ne serait pas rempli à 100% (commande `df` sous Linux) ou monté en lecture seule (commande `mount` sous Linux).

On peut aussi tester les opérations d'écriture et de lecture sur le système de fichiers pour déterminer si le comportement y est global :

- pour tester une écriture dans le répertoire PGDATA, sous Linux :

```
$ touch $PGDATA/test_write
```

- pour tester une lecture dans le répertoire PGDATA, sous Linux :

```
$ cat $PGDATA/PGVERSION
```

Pour identifier précisément les fichiers présentant des problèmes, il est possible de tester la lecture complète des fichiers dans le point de montage :

```
$ tar cvf /dev/null $PGDATA
```

8.4.7 Système d'exploitation 3



- Consommation excessive des ressources
 - OOM killer (overcommit !)
- Après un crash, vérifier les processus actifs
 - ne pas tenter de redémarrer si des processus persistent
- Outils : `sar`, `atop`...

Sous Linux, l'installation d'outils d'aide au diagnostic sur les serveurs est très important pour mener une analyse efficace, particulièrement le paquet `sysstat` qui permet d'utiliser la commande `sar`.

La lecture des traces système et des traces PostgreSQL permettent également d'avancer dans le diagnostic.

Un problème de consommation excessive des ressources peut généralement être anticipée grâce à une supervision sur l'utilisation des ressources et des seuils d'alerte appropriés. Il arrive néanmoins parfois que la consommation soit très rapide et qu'il ne soit pas possible de réagir suffisamment rapidement.

Dans le cas d'une consommation mémoire d'un serveur Linux qui menacerait de dépasser la quantité totale de mémoire allouable, le comportement par défaut de Linux est d'autoriser par défaut la tentative d'allocation.

Si l'allocation dépasse effectivement la mémoire disponible, alors le système va déclencher un processus *Out Of Memory Killer* (OOM Killer) qui va se charger de tuer les processus les plus consommateurs.

Dans le cas d'un serveur dédié à une instance PostgreSQL, il y a de grandes chances que le processus en question appartienne à l'instance.

S'il s'agit d'un *OOM Killer* effectuant un arrêt brutal (`kill -9`) sur un backend, l'instance PostgreSQL va arrêter immédiatement tous les processus afin de prévenir une corruption de la mémoire et les redémarrer.

S'il s'agit du processus principal de l'instance (*postmaster*), les conséquences peuvent être bien plus dramatiques, surtout si une tentative est faite de redémarrer l'instance sans vérifier si des processus actifs existent encore.

Pour un serveur dédié à PostgreSQL, la recommandation est habituellement de désactiver la sur-allocation de la mémoire, empêchant ainsi le déclenchement de ce phénomène.

Voir pour cela les paramètres `kernel vm.overcommit_memory` et `vm.overcommit_ratio` (référence : https://kb.dalibo.com/overcommit_memory).

8.4.8 PostgreSQL



- Relever les erreurs dans les traces
 - ou messages inhabituels
- Vérifier les mises à jour mineures

Tout comme pour l'analyse autour du système d'exploitation, la première chose à faire est rechercher toute erreur ou message inhabituel dans les traces de l'instance. Ces messages sont habituellement assez informatifs, et permettent de cerner la nature du problème. Par exemple, si PostgreSQL ne parvient pas à écrire dans un fichier, il indiquera précisément de quel fichier il s'agit.

Si l'instance est arrêtée suite à un crash, et que les tentatives de redémarrage échouent avant qu'un message puisse être écrit dans les traces, il est possible de tenter de démarrer l'instance en exécutant directement le binaire `postgres` afin que les premiers messages soient envoyés vers la sortie standard.

Il convient également de vérifier si des mises à jour qui n'auraient pas été appliquées ne corrigeraient pas un problème similaire à celui rencontré.

Identifier les mises à jours appliquées récemment et les modifications de configuration peut également aider à comprendre la nature du problème.

8.4.9 Paramétrage de PostgreSQL : écriture des fichiers



- La désactivation de certains paramètres est dangereuse
 - `fsync`
 - `full_page_write`

Si des corruptions de données sont relevées suite à un crash de l'instance, il convient particulièrement de vérifier la valeur du paramètre `fsync`.

En effet, si celui-ci est désactivé, les écritures dans les journaux de transactions ne sont pas effectuées de façon synchrone, ce qui implique que l'ordre des écritures ne sera pas conservé en cas de crash. Le processus de *recovery* de PostgreSQL risque alors de provoquer des corruptions si l'instance est malgré tout redémarrée.

Ce paramètre ne devrait jamais être positionné à une autre valeur que `on`, sauf dans des cas extrêmement particuliers (en bref, si l'on peut se permettre de restaurer intégralement les données en cas de crash, par exemple dans un chargement de données initial).

Le paramètre `full_page_write` indique à PostgreSQL d'effectuer une écriture complète d'une page chaque fois qu'elle reçoit une nouvelle écriture après un checkpoint, pour éviter un éventuel mélange entre des anciennes et nouvelles données en cas d'écriture partielle.

La désactivation de `full_page_write` peut avoir le même type de conséquences catastrophiques que celle de `fsync` !

À partir de la version 9.5, le bloc peut être compressé avant d'être écrit dans le journal de transaction. Comme il n'y avait qu'un seul algorithme de compression, le paramètre `wal_compression` était un booléen pour activer ou non la compression. À partir de la version 15, d'autres algorithmes sont disponibles et il faut donc configurer le paramètre `wal_compression` avec le nom de l'algorithme de compression utilisable (parmi `pglz`, `lz4`, `zstd`).

8.4.10 Paramétrage de PostgreSQL : les sommes de contrôle



- Activez les checksums !
 - `initdb --data-checksums`
 - `pg_checksums --enable` (à posteriori, v12)
- Détecte les corruptions silencieuses
- Impact faible sur les performances
- Vérification lors de `pg_basebackup` (v11)

PostgreSQL ne verrouille pas tous les fichiers dès son ouverture. Sans mécanisme de sécurité, il est donc possible de modifier un fichier sans que PostgreSQL s'en rende compte, ce qui aboutit à une corruption silencieuse.

Les sommes de contrôles (*checksums*) permettent de se prémunir contre des corruptions silencieuses de données. Leur mise en place est fortement recommandée sur une nouvelle instance. Malheureusement, jusqu'en version 11 comprise, on ne peut le faire qu'à l'initialisation de l'instance. La version 12 permet de les mettre en place, *base arrêtée*, avec l'utilitaire `pg_checksums`⁵.

À titre d'exemple, créons une instance sans utiliser les *checksums*, et une autre qui les utilisera :

```
$ initdb -D /tmp/sans_checksums/
$ initdb -D /tmp/avec_checksums/ --data-checksums
```

Insérons une valeur de test, sur chacun des deux clusters :

```
CREATE TABLE test (name text);
INSERT INTO test (name) VALUES ('toto');
```

On récupère le chemin du fichier de la table pour aller le corrompre à la main (seul celui sans *checksums* est montré en exemple).

```
SELECT pg_relation_filepath('test');
```

```
pg_relation_filepath
-----
base/12036/16317
```

Instance arrêtée (pour ne pas être gêné par le cache), on va s'attacher à corrompre ce fichier, en remplaçant la valeur « *toto* » par « *goto* » avec un éditeur hexadécimal :

```
$ hexedit /tmp/sans_checksums/base/12036/16317
$ hexedit /tmp/avec_checksums/base/12036/16399
```

Enfin, on peut ensuite exécuter des requêtes sur ces deux clusters.

Sans *checksums* :

⁵<https://docs.postgresql.fr/current/app-pgchecksums.html>

```
TABLE test;
```

```
  name  
-----  
  qoto
```

Avec *checksums* :

```
TABLE test;
```

```
WARNING:  page verification failed, calculated checksum 16321  
          but expected 21348  
ERROR:   invalid page in block 0 of relation base/12036/16387
```

Depuis la version 11, les sommes de contrôles, si elles sont là, sont vérifiées par défaut lors d'un `pg_basebackup`. En cas de corruption des données, l'opération sera interrompue. Il est possible de désactiver cette vérification avec l'option `--no-verify-checksums` pour obtenir une copie, aussi corrompue que l'original, mais pouvant servir de base de travail.

En pratique, si vous utilisez PostgreSQL 9.5 au moins et si votre processeur supporte les instructions SSE 4.2 (voir dans `/proc/cpuinfo`), il n'y aura pas d'impact notable en performances. Par contre vous générerez un peu plus de journaux.

L'activation ou non des sommes de contrôle peut se faire indépendamment sur un serveur primaire et son secondaire, mais il est fortement conseillé de les activer simultanément des deux côtés pour éviter de gros problèmes dans certains scénarios de restauration.

8.4.11 Erreur de manipulation



- Traces système, traces PostgreSQL
- Revue des dernières manipulations effectuées
- Historique des commandes
- Danger: `kill -9, rm -rf, rsync, find ... -exec ...`

L'erreur humaine fait également partie des principales causes de désastre.

Une commande de suppression tapée trop rapidement, un oubli de clause `WHERE` dans une requête de mise à jour, nombreuses sont les opérations qui peuvent provoquer des pertes de données ou un crash de l'instance.

Il convient donc de revoir les dernières opérations effectuées sur le serveur, en commençant par les interventions planifiées, et si possible récupérer l'historique des commandes passées.

Des exemples de commandes particulièrement dangereuses :

- `kill -9`
- `rm -rf`

- `rsync`
- `find` (souvent couplé avec des commandes destructives comme `rm`, `mv`, `gzip`...)

8.5 OUTILS



- Quelques outils peuvent aider
 - à diagnostiquer la nature du problème
 - à valider la correction apportée
 - à appliquer un contournement
- ATTENTION
 - certains de ces outils peuvent corrompre les données !

8.5.1 Outils - pg_controldata



- Fournit des informations de contrôle sur l'instance
- Ne nécessite pas que l'instance soit démarrée

L'outil `pg_controldata` lit les informations du fichier de contrôle d'une instance PostgreSQL.

Cet outil ne se connecte pas à l'instance, il a juste besoin d'avoir un accès en lecture sur le répertoire PGDATA de l'instance.

Les informations qu'il récupère ne sont donc pas du temps réel, il s'agit d'une vision de l'instance telle qu'elle était la dernière fois que le fichier de contrôle a été mis à jour. L'avantage est qu'elle peut être utilisée même si l'instance est arrêtée.

`pg_controldata` affiche notamment les informations initialisées lors d'`initdb`, telles que la version du catalogue, ou la taille des blocs, qui peuvent être cruciales si l'on veut restaurer une instance sur un nouveau serveur à partir d'une copie des fichiers.

Il affiche également de nombreuses informations utiles sur le traitement des journaux de transactions et des checkpoints, par exemple :

- positions de l'avant-dernier checkpoint et du dernier checkpoint dans les WAL ;
- nom du WAL correspondant au dernier WAL ;
- timeline sur laquelle se situe le dernier checkpoint ;
- instant précis du dernier checkpoint.

Quelques informations de paramétrage sont également renvoyées, comme la configuration du niveau de WAL, ou le nombre maximal de connexions autorisées.

En complément, le dernier état connu de l'instance est également affiché. Les états potentiels sont :

- `in production` : l'instance est démarrée et est ouverte en écriture ;
- `shut down` : l'instance est arrêtée ;
- `in archive recovery` : l'instance est démarrée et est en mode recovery (restauration, Warm ou Hot Standby) ;
- `shut down in recovery` : l'instance s'est arrêtée alors qu'elle était en mode recovery ;
- `shutting down` : état transitoire, l'instance est en cours d'arrêt ;
- `in crash recovery` : état transitoire, l'instance est en cours de démarrage suite à un crash ;
- `starting up` : état transitoire, concrètement jamais utilisé.

Bien entendu, comme ces informations ne sont pas mises à jour en temps réel, elles peuvent être erronées.

Cet asynchronisme est intéressant pour diagnostiquer un problème, par exemple si `pg_controldata` renvoie l'état `in production` mais que l'instance est arrêtée, cela signifie que l'arrêt n'a pas été effectué proprement (*crash* de l'instance, qui sera donc suivi d'un *recovery* au démarrage).

Exemple de sortie de la commande :

```
$ /usr/pgsql-10/bin/pg_controldata /var/lib/pgsql/10/data

pg_control version number:          1002
Catalog version number:            201707211
Database system identifier:         6451139765284827825
Database cluster state:             in production
pg_control last modified:           Mon 28 Aug 2017 03:40:30 PM CEST
Latest checkpoint location:         1/2B04EC0
Prior checkpoint location:          1/2B04DE8
Latest checkpoint's REDO location:   1/2B04E88
Latest checkpoint's REDO WAL file:   000000010000000100000002
Latest checkpoint's TimeLineID:      1
Latest checkpoint's PrevTimeLineID: 1
Latest checkpoint's full_page_writes: on
Latest checkpoint's NextXID:         0:1023
Latest checkpoint's NextOID:         41064
Latest checkpoint's NextMultiXactId: 1
Latest checkpoint's NextMultiOffset: 0
Latest checkpoint's oldestXID:        548
Latest checkpoint's oldestXID's DB:   1
Latest checkpoint's oldestActiveXID:  1022
Latest checkpoint's oldestMultiXid:   1
Latest checkpoint's oldestMulti's DB: 1
Latest checkpoint's oldestCommitTsXid: 0
Latest checkpoint's newestCommitTsXid: 0
Time of latest checkpoint:           Mon 28 Aug 2017 03:40:30 PM CEST
Fake LSN counter for unlogged rels:   0/1
Minimum recovery ending location:      0/0
Min recovery ending loc's timeline:    0
Backup start location:                 0/0
Backup end location:                   0/0
End-of-backup record required:         no
wal_level setting:                    replica
wal_log_hints setting:                off
```

max_connections setting:	100
max_worker_processes setting:	8
max_prepared_xacts setting:	0
max_locks_per_xact setting:	64
track_commit_timestamp setting:	off
Maximum data alignment:	8
Database block size:	8192
Blocks per segment of large relation:	131072
WAL block size:	8192
Bytes per WAL segment:	16777216
Maximum length of identifiers:	64
Maximum columns in an index:	32
Maximum size of a TOAST chunk:	1996
Size of a large-object chunk:	2048
Date/time type storage:	64-bit integers
Float4 argument passing:	by value
Float8 argument passing:	by value
Data page checksum version:	0
Mock authentication nonce:	7fb23aca2465c69b2c0f54ccf03e0ece 3c0933c5f0e5f2c096516099c9688173

8.5.2 Outils - export/import de données



- pg_dump
- pg_dumpall
- COPY
- psql/pg_restore
 - --section=pre-data/data/post-data

Les outils `pg_dump` et `pg_dumpall` permettent d'exporter des données à partir d'une instance démarrée.

Dans le cadre d'un incident grave, il est possible de les utiliser pour :

- extraire le contenu de l'instance ;
- extraire le contenu des bases de données ;
- tester si les données sont lisibles dans un format compréhensible par PostgreSQL.



Par exemple, un moyen rapide de s'assurer que tous les fichiers des tables de l'instance sont lisibles est de forcer leur lecture complète, notamment grâce à la commande suivante :

```
$ pg_dumpall > /dev/null
```

Sous Windows Powershell :

```
pg_dumpall > $null
```



Attention, les fichiers associés aux index ne sont pas parcourus pendant cette opération. Par ailleurs, ne pas avoir d'erreur ne garantit en aucun cas pas l'intégrité fonctionnelle des données : les corruptions peuvent très bien être silencieuses ou concerner les index. Une vérification exhaustive implique d'autres outils comme `pg_checksums` ou `pg_basebackup` (voir plus loin).

Si `pg_dumpall` ou `pg_dump` renvoient des messages d'erreur et ne parviennent pas à exporter certaines tables, il est possible de contourner le problème à l'aide de la commande `COPY`, en sélectionnant exclusivement les données lisibles autour du bloc corrompu.

Il convient ensuite d'utiliser `psql` ou `pg_restore` pour importer les données dans une nouvelle instance, probablement sur un nouveau serveur, dans un environnement non affecté par le problème. Pour parer au cas où le réimport échoue à cause de contraintes non respectées, il est souvent préférable de faire le réimport par étapes :

```
$ pg_restore -1 --section=pre-data --verbose -d cible base.dump
$ pg_restore -1 --section=data --verbose -d cible base.dump
$ pg_restore -1 --section=post-data --exit-on-error --verbose -d cible base.dump
```

En cas de problème, on verra les contraintes posant problème.

Il peut être utile de générer les scripts en pur SQL avant de les appliquer, éventuellement par étape :

```
$ pg_restore --section=post-data -f postdata.sql base.dump
```

Pour rappel, même après un export / import de données réalisé avec succès, des corruptions logiques peuvent encore être présentes. Il faut donc être particulièrement vigilant et prendre le temps de valider l'intégrité fonctionnelle des données.

8.5.3 Outils - pageinspect



- Extension
- Vision du contenu d'un bloc
- Sans le dictionnaire, donc sans décodage des données
- Affichage brut
- Utilisé surtout en debug, ou dans les cas de corruption
- Fonctions de décodage pour les tables, les index (B-tree, hash, GIN, GiST), FSM
- Nécessite de connaître le code de PostgreSQL

Voici quelques exemples.

Contenu d'une page d'une table :

```
SELECT * FROM heap_page_items(get_raw_page('dspam_token_data',0)) LIMIT 2;
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
lp           | 1
lp_off       | 8152
lp_flags     | 1
lp_len       | 40
t_xmin       | 837
t_xmax       | 839
t_field3     | 0
t_ctid       | (0,7)
t_infomask2  | 3
t_infomask   | 1282
t_hoff       | 24
t_bits       |
t_oid        |
t_data       | \x0100000000100000001000000010000000
-[ RECORD 2 ]-----
lp           | 2
lp_off       | 8112
lp_flags     | 1
lp_len       | 40
t_xmin       | 837
t_xmax       | 839
t_field3     | 0
t_ctid       | (0,8)
t_infomask2  | 3
t_infomask   | 1282
t_hoff       | 24
t_bits       |
t_oid        |
t_data       | \x0200000000100000001000000020000000
```

Et son entête :

```
SELECT * FROM page_header(get_raw_page('dspam_token_data',0));
```

```

-[ RECORD 1 ]-----
lsn          | F1A/5A6EAC40
checksum     | 0
flags        | 0
lower        | 56
upper        | 7872
special      | 8192
pagesize     | 8192
version      | 4
prune_xid    | 839

```

Méta-données d'un index (contenu dans la première page) :

```
SELECT * FROM bt_metap('dspam_token_data_uid_key');
```

```

-[ RECORD 1 ]-----
magic        | 340322
version      | 2
root         | 243
level        | 2
fastroot     | 243
fastlevel    | 2

```

La page racine est la 243. Allons la voir :

```
SELECT * FROM bt_page_items('dspam_token_data_uid_key',243) LIMIT 10;
```

offset	ctid	len	nulls	vars	data
1	(3,1)	8	f	f	
2	(44565,1)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 0f 00 00 00
3	(242,1)	20	f	f	77 c6 0d 6f a6 92 db 81 28 00 00 00
4	(43569,1)	20	f	f	47 a6 aa be 29 e3 13 83 18 00 00 00
5	(481,1)	20	f	f	30 17 dd 8e d9 72 7d 84 0a 00 00 00
6	(43077,1)	20	f	f	5c 3c 7b c5 5b 7a 4e 85 0a 00 00 00
7	(719,1)	20	f	f	0d 91 d5 78 a9 72 88 86 26 00 00 00
8	(41209,1)	20	f	f	a7 8a da 17 95 17 cd 87 0a 00 00 00
9	(957,1)	20	f	f	78 e9 64 e9 64 a9 52 89 26 00 00 00
10	(40849,1)	20	f	f	53 11 e9 64 e9 1b c3 8a 26 00 00 00

La première entrée de la page 243, correspondant à la donnée f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 0f 00 00 00 est stockée dans la page 3 de notre index :

```
SELECT * FROM bt_page_stats('dspam_token_data_uid_key',3);
```

```

-[ RECORD 1 ]-+-----
blkno         | 3
type          | i
live_items    | 202
dead_items    | 0
avg_item_size | 19
page_size     | 8192
free_size     | 3312
btpo_prev     | 0
btpo_next     | 44565
btpo          | 1
btpo_flags    | 0

```

```
SELECT * FROM bt_page_items('dspam_token_data_uid_key',3) LIMIT 10;
```

offset	ctid	len	nulls	vars	data
1	(38065,1)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 0f 00 00 00
2	(1,1)	8	f	f	
3	(37361,1)	20	f	f	30 fd 30 b8 70 c9 01 80 26 00 00 00
4	(2,1)	20	f	f	18 2c 37 36 27 03 03 80 27 00 00 00
5	(4,1)	20	f	f	36 61 f3 b6 c5 1b 03 80 0f 00 00 00
6	(43997,1)	20	f	f	30 4a 32 58 c8 44 03 80 27 00 00 00
7	(5,1)	20	f	f	88 fe 97 6f 7e 5a 03 80 27 00 00 00
8	(51136,1)	20	f	f	74 a8 5a 9b 15 5d 03 80 28 00 00 00
9	(6,1)	20	f	f	44 41 3c ee c8 fe 03 80 0a 00 00 00
10	(45317,1)	20	f	f	d4 b0 7c fd 5d 8d 05 80 26 00 00 00

Le type de la page est `i`, c'est-à-dire «internal», donc une page interne de l'arbre. Continuons notre descente, allons voir la page 38065 :

```
SELECT * FROM bt_page_stats('dspam_token_data_uid_key',38065);
```

```
-[ RECORD 1 ]-+-----
blkno         | 38065
type          | l
live_items    | 169
dead_items    | 21
avg_item_size | 20
page_size     | 8192
free_size     | 3588
btpo_prev     | 118
btpo_next     | 119
btpo          | 0
btpo_flags    | 65
```

```
SELECT * FROM bt_page_items('dspam_token_data_uid_key',38065) LIMIT 10;
```

offset	ctid	len	nulls	vars	data
1	(11128,118)	20	f	f	33 37 89 95 b9 23 cc 80 0a 00 00 00
2	(45713,181)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 0f 00 00 00
3	(45424,97)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 26 00 00 00
4	(45255,28)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 27 00 00 00
5	(15672,172)	20	f	f	f3 4b 2e 8c 39 a3 cb 80 28 00 00 00
6	(5456,118)	20	f	f	f3 bf 29 a2 39 a3 cb 80 0f 00 00 00
7	(8356,206)	20	f	f	f3 bf 29 a2 39 a3 cb 80 28 00 00 00
8	(33895,272)	20	f	f	f3 4b 8e 37 99 a3 cb 80 0a 00 00 00
9	(5176,108)	20	f	f	f3 4b 8e 37 99 a3 cb 80 0f 00 00 00
10	(5466,41)	20	f	f	f3 4b 8e 37 99 a3 cb 80 26 00 00 00

Nous avons trouvé une feuille (type `l`). Les ctid pointés sont maintenant les adresses dans la table :

```
SELECT * FROM dspam_token_data WHERE ctid = '(11128,118)';
```

uid	token	spam_hits	innocent_hits	last_hit
40	-6317261189288392210	0	3	2014-11-10

8.5.4 Outils - pg_resetwal



- Efface les WAL courants
- Permet à l'instance de démarrer en cas de corruption d'un WAL
 - comme si elle était dans un état cohérent
 - ...ce qui n'est pas le cas
- **Cet outil est dangereux et mène à des corruptions !!!**
- Pour récupérer ce qu'on peut, et réimporter ailleurs

`pg_resetwal` est un outil fourni avec PostgreSQL. Son objectif est de pouvoir démarrer une instance après un crash si des corruptions de fichiers (typiquement WAL ou fichier de contrôle) empêchent ce démarrage.



Cette action n'est pas une action de réparation ! La réinitialisation des journaux de transactions implique que des transactions qui n'étaient que partiellement validées ne seront pas détectées comme telles, et ne seront donc pas annulées lors du *recovery*.



La conséquence est que les **données de l'instance ne sont plus cohérentes**. Il est fort possible d'y trouver des violations de contraintes diverses (notamment clés étrangères), ou d'autres cas d'incohérences plus difficiles à détecter.

Il s'utilise manuellement, en ligne de commande. Sa fonctionnalité principale est d'effacer les fichiers WAL courants, et il se charge également de réinitialiser les informations correspondantes du fichier de contrôle.

Il est possible de lui spécifier les valeurs à initialiser dans le fichier de contrôle si l'outil ne parvient pas à les déterminer (par exemple, si tous les WAL dans le répertoire `pg_wal` ont été supprimés).

Attention, `pg_resetwal` ne doit **jamais** être utilisé sur une instance démarrée. Avant d'exécuter l'outil, il faut toujours vérifier qu'il ne reste aucun processus de l'instance.

Après la réinitialisation des WAL, une fois que l'instance a démarré, **il ne faut surtout pas ouvrir les accès à l'application** ! Comme indiqué, les données présentent sans aucun doute des incohérences, et toute action en écriture à ce point ne ferait qu'aggraver le problème.

L'étape suivante est donc de faire un export immédiat des données, de les restaurer dans une nouvelle instance initialisée à cet effet (de préférence sur un nouveau serveur, surtout si l'origine de la

corruption n'a pas été clairement identifiée), et ensuite de procéder à une validation méthodique des données.

Il est probable que certaines données incohérentes puissent être identifiées à l'import, lors de la phase de recréation des contraintes : celles-ci échoueront si les données ne les respectent, ce qui permettra de les identifier.

En ce qui concerne les incohérences qui passeront au travers de ces tests, il faudra les trouver et les corriger manuellement, en procédant à une validation fonctionnelle des données.

Il faut donc bien retenir les points suivants :

- `pg_resetwal` n'est pas magique ;
- `pg_resetwal` rend les données incohérentes (ce qui est souvent pire qu'une simple perte d'une partie des données, comme on aurait en restaurant une sauvegarde) ;
- n'utiliser `pg_resetwal` que s'il n'y a aucun autre moyen de faire autrement pour récupérer les données ;
- ne pas l'utiliser sur l'instance ayant subi le problème, mais sur une copie complète effectuée à froid ;
- après usage, exporter toutes les données et les importer dans une nouvelle instance ;
- valider soigneusement les données de la nouvelle instance.

8.5.5 Outils - Extension `pg_surgery`



- Extension apparue en v14
- Collection de fonctions permettant de modifier le statut des tuples d'une relation
- **Extrêmement dangereuse**

Cette extension regroupe des fonctions qui permettent de modifier le statut d'un tuple dans une relation. Il est par exemple possible de rendre une ligne morte ou de rendre visible des tuples qui sont invisibles à cause des informations de visibilité.



Ces fonctions sont dangereuses et peuvent provoquer ou aggraver des corruptions. Elles peuvent par exemple rendre une table incohérente par rapport à ses index, ou provoquer une violation de contrainte d'unicité ou de clé étrangère. Il ne faut donc les utiliser qu'en dernier recours, sur une copie de votre instance.

8.5.6 Outils - Vérification d'intégrité



- À froid : `pg_checksums` (à froid, v11)
- Lors d'une sauvegarde : `pg_basebackup` (v11)
- `amcheck` : pure vérification
 - v10 : 2 fonctions pour l'intégrité des index
 - v11 : vérification de la cohérence avec la table (probabiliste)
 - v14 : ajout d'un outil `pg_amcheck`

Depuis la version 11, `pg_checksums` permet de vérifier les sommes de contrôles existantes sur les bases de données **à froid** : l'instance doit être arrêtée proprement auparavant. (En version 11 l'outil s'appelait `pg_verify_checksums`.)

Par exemple, suite à une modification de deux blocs dans une table avec l'outil `hexedit`, on peut rencontrer ceci :

```
$ /usr/pgsql-12/bin/pg_checksums -D /var/lib/pgsql/12/data -c
```

```
pg_checksums: error: checksum verification failed in file
"/var/lib/pgsql/12/data/base/14187/16389", block 0:
  calculated checksum 5BF9 but block contains C55D
pg_checksums: error: checksum verification failed in file
"/var/lib/pgsql/12/data/base/14187/16389", block 4438:
  calculated checksum A3 but block contains B8AE
Checksum operation completed
Files scanned: 1282
Blocks scanned: 28484
Bad checksums: 2
Data checksum version: 1
```

À partir de PostgreSQL 12, l'outil `pg_checksums` peut aussi ajouter ou supprimer les sommes de contrôle sur une instance existante arrêtée (donc après le `initdb`), ce qui n'était pas possible dans les versions antérieures.

Une alternative, toujours à partir de la version 11, est d'effectuer une sauvegarde physique avec `pg_basebackup`, ce qui est plus lourd, mais n'oblige pas à arrêter la base.

Le module `amcheck` était apparu en version 10 pour vérifier la cohérence des index et de leur structure interne, et ainsi détecter des bugs, des corruptions dues au système de fichier voire à la mémoire. Il définit deux fonctions :

- `bt_index_check` est destinée aux vérifications de routine, et ne pose qu'un verrou *Access-ShareLock* peu gênant ;
- `bt_index_parent_check` est plus minutieuse, mais son exécution gêne les modifications dans la table (verrou *ShareLock* sur la table et l'index) et elle ne peut pas être exécutée sur un serveur secondaire.

En v11 apparaît le nouveau paramètre `heapallindex`. S'il vaut `true`, chaque fonction effectue une vérification supplémentaire en recréant temporairement une structure d'index et en la comparant avec l'index original. `bt_index_check` vérifiera que chaque entrée de la table possède une entrée dans l'index. `bt_index_parent_check` vérifiera en plus qu'à chaque entrée de l'index correspond une entrée dans la table.

Les verrous posés par les fonctions ne changent pas. Néanmoins, l'utilisation de ce mode a un impact sur la durée d'exécution des vérifications. Pour limiter l'impact, l'opération n'a lieu qu'en mémoire, et dans la limite du paramètre `maintenance_work_mem` (soit entre 256 Mo et 1 Go, parfois plus, sur les serveurs récents). C'est cette restriction mémoire qui implique que la détection de problèmes est probabiliste pour les plus grosses tables (selon la documentation, la probabilité de rater une incohérence est de 2 % si l'on peut consacrer 2 octets de mémoire à chaque ligne). Mais rien n'empêche de relancer les vérifications régulièrement, diminuant ainsi les chances de rater une erreur.

`amcheck` ne fournit aucun moyen de corriger une erreur, puisqu'il détecte des choses qui ne devraient jamais arriver. `REINDEX` sera souvent la solution la plus simple et facile, mais tout dépend de la cause du problème.

Soit `unetable_pkey`, un index de 10 Go sur un entier :

```
CREATE EXTENSION amcheck ;
```

```
SELECT bt_index_check('unetable_pkey');
```

```
Durée : 63753,257 ms (01:03,753)
```

```
SELECT bt_index_check('unetable_pkey', true);
```

```
Durée : 234200,678 ms (03:54,201)
```

Ici, la vérification exhaustive multiplie le temps de vérification par un facteur 4.

En version 14, PostgreSQL dispose d'un nouvel outil appelé `pg_amcheck`. Ce dernier facilite l'utilisation de l'extension `amcheck`.

8.6 CAS TYPE DE DÉSASTRES



- Les cas suivants sont assez rares
- Ils nécessitent généralement une restauration
- Certaines manipulations à haut risque sont possibles
 - mais complètement déconseillées !

Cette section décrit quelques-unes des pires situations de corruptions que l'on peut être amené à observer.

Dans la quasi-totalité des cas, la seule bonne réponse est la restauration de l'instance à partir d'une sauvegarde fiable.

8.6.1 Avertissement



- Privilégier une solution fiable (restauration, bascule)
- Les actions listées ici sont parfois destructrices
- La plupart peuvent (et vont) provoquer des incohérences
- Travailler sur une copie

La plupart des manipulations mentionnées dans cette partie sont destructives, et peuvent (et vont) provoquer des incohérences dans les données.

Tous les experts s'accordent pour dire que l'utilisation de telles méthodes pour récupérer une instance tend à aggraver le problème existant ou à en provoquer de nouveaux, plus graves. S'il est possible de l'éviter, ne pas les tenter (*ie* : préférer la restauration d'une sauvegarde) !

S'il n'est pas possible de faire autrement (*ie* : pas de sauvegarde utilisable, données vitales à extraire...), alors TRAVAILLER SUR UNE COPIE.

Il ne faut pas non plus oublier que chaque situation est unique, il faut prendre le temps de bien cerner l'origine du problème, documenter chaque action prise, s'assurer qu'un retour arrière est toujours possible.

8.6.2 Corruption de blocs dans des index



- Messages d'erreur lors des accès par l'index ; requêtes incohérentes
- Données différentes entre un indexscan et un seqscan
- Supprimer et recréer l'index : REINDEX

Les index sont des objets de structure complexe, ils sont donc particulièrement vulnérables aux corruptions.

Lorsqu'un index est corrompu, on aura généralement des messages d'erreur de ce type :

```
ERROR: invalid page header in block 5869177 of relation base/17291/17420
```

Il peut arriver qu'un bloc corrompu ne renvoie pas de message d'erreur à l'accès, mais que les données elles-mêmes soient altérées, ou que des filtres ne renvoient pas les données attendues.

Ce cas est néanmoins très rare dans un bloc d'index.

Dans la plupart des cas, si les données de la table sous-jacente ne sont pas affectées, il est possible de réparer l'index en le reconstruisant intégralement grâce à la commande REINDEX.

8.6.3 Corruption de blocs dans des tables 1



```
ERROR: invalid page header in block 32570 of relation base/16390/2663
ERROR: could not read block 32570 of relation base/16390/2663:
       read only 0 of 8192 bytes
```

- Cas plus problématique
- Restauration probablement nécessaire

Les corruptions de blocs vont généralement déclencher des erreurs du type suivant :

```
ERROR: invalid page header in block 32570 of relation base/16390/2663
ERROR: could not read block 32570 of relation base/16390/2663:
       read only 0 of 8192 bytes
```

Si la relation concernée est une table, tout ou partie des données contenues dans ces blocs est perdu.

L'apparition de ce type d'erreur est un signal fort qu'une restauration est certainement nécessaire.

8.6.4 Corruption de blocs dans des tables 2



```
SET zero_damaged_pages = true ;  
VACUUM FULL tablecorrompue ;
```

- Des données vont certainement être perdues !

Néanmoins, s'il est nécessaire de lire le maximum de données possibles de la table, il est possible d'utiliser l'option de PostgreSQL `zero_damaged_pages` pour demander au moteur de réinitialiser les blocs invalides à zéro lorsqu'ils sont lus au lieu de tomber en erreur. Il s'agit d'un des très rares paramètres absents de `postgresql.conf`.

Par exemple :

```
SET zero_damaged_pages = true ;  
SET  
VACUUM FULL tablecorrompue ;  
WARNING: invalid page header in block 32570 of relation base/16390/2663; zeroing  
↳ out page  
VACUUM
```

Si cela se termine sans erreur, les blocs invalides ont été réinitialisés.

Les données qu'ils contenaient sont évidemment perdues, mais la table peut désormais être accédée dans son intégralité en lecture, permettant ainsi par exemple de réaliser un export des données pour récupérer ce qui peut l'être.

Attention, du fait des données perdues, le résultat peut être incohérent (contraintes non respectées...).

Par ailleurs, par défaut PostgreSQL ne détecte pas les corruptions logiques, c'est-à-dire n'affectant pas la structure des données mais uniquement le contenu.

Il ne faut donc pas penser que la procédure d'export complet de données suivie d'un import sans erreur garantit l'absence de corruption.

8.6.5 Corruption de blocs dans des tables 3



- Si la corruption est importante, l'accès au bloc peut faire crasher l'instance
- Il est tout de même possible de réinitialiser le bloc
 - identifier le fichier à l'aide de `pg_relation_filepath()`
 - trouver le bloc avec `ctid / pageinspect`
 - réinitialiser le bloc avec `dd`
 - il faut vraiment ne pas avoir d'autre choix

Dans certains cas, il arrive que la corruption soit suffisamment importante pour que le simple accès au bloc fasse crasher l'instance.

Dans ce cas, le seul moyen de réinitialiser le bloc est de le faire manuellement au niveau du fichier, instance arrêtée, par exemple avec la commande `dd`.

Pour identifier le fichier associé à la table corrompue, il est possible d'utiliser la fonction `pg_relation_filepath()` :

```
> SELECT pg_relation_filepath('test_corruptindex') ;

pg_relation_filepath
-----
base/16390/40995
```

Le résultat donne le chemin vers le fichier principal de la table, relatif au PGDATA de l'instance.

Attention, une table peut contenir plusieurs fichiers. Par défaut une instance PostgreSQL sépare les fichiers en segments de 1 Go. Une table dépassant cette taille aura donc des fichiers supplémentaires (`base/16390/40995.1`, `base/16390/40995.2...`).

Pour trouver le fichier contenant le bloc corrompu, il faudra donc prendre en compte le numéro du bloc trouvé dans le champ `ctid`, multiplier ce numéro par la taille du bloc (paramètre `block_size`, 8 ko par défaut), et diviser le tout par la taille du segment.

Cette manipulation est évidemment extrêmement risquée, la moindre erreur pouvant rendre irrécupérables de grandes portions de données.

Il est donc fortement déconseillé de se lancer dans ce genre de manipulations à moins d'être absolument certain que c'est indispensable.

Encore une fois, ne pas oublier de travailler sur une copie, et pas directement sur l'instance de production.

8.6.6 Corruption des WAL 1



- Situés dans le répertoire `pg_wal`
- Les WAL sont nécessaires au *recovery*
- Démarrage impossible s'ils sont corrompus ou manquants
- Si les fichiers WAL ont été archivés, les récupérer
- Sinon, la restauration est la seule solution viable

Les fichiers WAL sont les journaux de transactions de PostgreSQL.

Leur fonction est d'assurer que les transactions qui ont été effectuées depuis le dernier checkpoint ne seront pas perdues en cas de crash de l'instance.

Si certains sont corrompus ou manquants (rappel : il ne faut JAMAIS supprimer les fichiers WAL, même si le système de fichiers est plein !), alors PostgreSQL ne pourra pas redémarrer.

Si l'archivage était activé et que les fichiers WAL affectés ont bien été archivés, alors il est possible de les restaurer avant de tenter un nouveau démarrage.

Si ce n'est pas possible ou des fichiers WAL archivés ont également été corrompus ou supprimés, l'instance ne pourra pas redémarrer.

Dans cette situation, comme dans la plupart des autres évoquées ici, la seule solution permettant de s'assurer que les données ne seront pas corrompues est de procéder à une restauration de l'instance.

8.6.7 Corruption des WAL 2



- `pg_resetwal` permet de forcer le démarrage
- ATTENTION !!!
 - cela va provoquer des pertes de données
 - des corruptions de données sont également probables
 - ce n'est pas une action corrective !

L'utilitaire `pg_resetwal` a comme fonction principale de supprimer les fichiers WAL courants et d'en créer un nouveau, avant de mettre à jour le fichier de contrôle pour permettre le redémarrage.

Au minimum, cette action va provoquer la perte de toutes les transactions validées effectuées depuis le dernier checkpoint.

Il est également probable que des incohérences vont apparaître, certaines relativement simples à détecter via un export/import (incohérences dans les clés étrangères par exemple), certaines complètement invisibles.

L'utilisation de cet utilitaire est extrêmement dangereuse, n'est pas recommandée, et ne peut jamais être considérée comme une action corrective. Il faut toujours privilégier la restauration d'une sauvegarde plutôt que son exécution.

Si l'utilisation de `pg_resetwal` est néanmoins nécessaire (par exemple pour récupérer des données absentes de la sauvegarde), alors il faut travailler sur une copie des fichiers de l'instance, récupérer ce qui peut l'être à l'aide d'un export de données, et les importer dans une autre instance.

Les données récupérées de cette manière devraient également être soigneusement validées avant d'être importée de façon à s'assurer qu'il n'y a pas de corruption silencieuse.



Il ne faut en aucun cas remettre une instance en production après une réinitialisation des WAL.

8.6.8 Corruption du fichier de contrôle



- Fichier `global/pg_control`
- Contient les informations liées au dernier checkpoint
- Sans lui, l'instance ne peut pas démarrer
- Recréation avec `pg_resetwal...` parfois
- Restauration nécessaire

Le fichier de contrôle de l'instance contient de nombreuses informations liées à l'activité et au statut de l'instance, notamment l'instant du dernier checkpoint, la position correspondante dans les WAL, le numéro de transaction courant et le prochain à venir...

Ce fichier est le premier lu par l'instance. S'il est corrompu ou supprimé, l'instance ne pourra pas démarrer.

Il est possible de forcer la réinitialisation de ce fichier à l'aide de la commande `pg_resetwal`, qui va se baser par défaut sur les informations contenues dans les fichiers WAL présents pour tenter de « deviner » le contenu du fichier de contrôle.

Ces informations seront très certainement erronées, potentiellement à tel point que même l'accès aux bases de données par leur nom ne sera pas possible :

```
$ pg_isready
/var/run/postgresql:5432 - accepting connections
```

```
$ psql postgres
psql: FATAL:  database "postgres" does not exist
```

Encore une fois, utiliser `pg_resetwal` n'est en aucun cas une solution, mais doit uniquement être considéré comme un contournement temporaire à une situation désastreuse.

Une instance altérée par cet outil ne doit pas être considérée comme saine.

8.6.9 Corruption du CLOG



- Fichiers dans `pg_xact`
- Statut des différentes transactions
- Son altération risque de causer des incohérences

Le fichier CLOG (*Commit Log*) dans `PGDATA/pg_xact/` contient le statut des différentes transactions, notamment si celles-ci sont en cours, validées ou annulées.

S'il est altéré ou supprimé, il est possible que des transactions qui avaient été marquées comme annulées soient désormais considérées comme valides, et donc que les modifications de données correspondantes deviennent visibles aux autres transactions.

C'est évidemment un problème d'incohérence majeur, tout problème avec ce fichier devrait donc être soigneusement analysé.

Il est préférable dans le doute de procéder à une restauration et d'accepter une perte de données plutôt que de risquer de maintenir des données incohérentes dans la base.

8.6.10 Corruption du catalogue système



- Le catalogue contient la définition du schéma
- Sans lui, les données sont inaccessibles
- Situation très délicate...

Le catalogue système contient la définition de toutes les relations, les méthodes d'accès, la correspondance entre un objet et un fichier sur disque, les types de données existantes...

S'il est incomplet, corrompu ou inaccessible, l'accès aux données en SQL risque de ne pas être possible du tout.

Cette situation est très délicate, et appelle là encore une restauration.

Si le catalogue était complètement inaccessible, sans sauvegarde la seule solution restante serait de tenter d'extraire les données directement des fichiers data de l'instance, en oubliant toute notion de cohérence, de type de données, de relation...

Personne ne veut faire ça.

8.7 CONCLUSION



- Les désastres peuvent arriver
- Il faut s'y être préparé
- Faites des sauvegardes !
 - et testez-les

8.8 QUIZ



https://dali.bo/i5_quiz

8.9 TRAVAUX PRATIQUES

8.9.1 Corruption d'un bloc de données



But : Corrompre un bloc et voir certains impacts possibles.

Vérifier que l'instance utilise bien les checksums. Au besoin les ajouter avec `pg_checksums`.

Créer une base **pgbench** et la remplir avec l'outil de même, avec un facteur d'échelle 10 et **avec les clés étrangères entre tables** ainsi :

```
/usr/pgsql-15/bin/pgbench -i -s 10 -d pgbench --foreign-keys
```

Voir la taille de `pgbench_accounts`, les valeurs que prend sa clé primaire.

Retrouver le fichier associé à la table `pgbench_accounts` (par exemple avec `pg_file_relationpath`).

Arrêter PostgreSQL.

Avec un outil `hexedit` (à installer au besoin, l'aide s'obtient par **F1**), modifier une ligne dans le PREMIER bloc de la table.

Redémarrer PostgreSQL et lire le contenu de `pgbench_accounts`.

Tenter un `pg_dumpall > /dev/null`.

- Arrêter PostgreSQL.
- Voir ce que donne `pg_checksums (pg_verify_checksums en v11)`.

- Faire une copie de travail à froid du PGDATA.
- Protéger en écriture le PGDATA original.
- Dans la copie, supprimer la possibilité d'accès depuis l'extérieur.

Avant de redémarrer PostgreSQL, supprimer les sommes de contrôle dans la copie (en désespoir de cause).

Démarrer le cluster sur la copie avec `pg_ctl`.

Que renvoie ceci ?

```
SELECT * FROM pgbench_accounts LIMIT 100 ;
```

Tenter une récupération avec `SET zero_damaged_pages`. Quelles données ont pu être perdues ?

8.9.2 Corruption d'un bloc de données et incohérences



But : Corrompre une table portant une clé étrangère.

Nous continuons sur la copie de la base de travail, où les sommes de contrôle ont été désactivées.

Consulter le format et le contenu de la table `pgbench_branches`.

Retrouver les fichiers des tables `pgbench_branches` (par exemple avec `pg_file_relationpath`).

Pour corrompre la table :

- Arrêter PostgreSQL.
 - Avec `hexedit`, dans le premier bloc en tête de fichier, remplacer les derniers caractères non nuls (`C0 9E 40`) par `FF FF FF`.
 - En toute fin de fichier, remplacer le dernier `01` par un `FF`.
 - Redémarrer PostgreSQL.
-
- Compter le nombre de lignes dans `pgbench_branches`.
 - Recompter après `SET enable_seqscan TO off ;`.
 - Quelle est la bonne réponse ? Vérifier le contenu de la table.

Qu'affiche `pageinspect` pour cette table ?

Avec l'extension `amcheck`, essayer de voir si le problème peut être détecté. Si non, pourquoi ?

Pour voir ce que donnerait une restauration :

- Exporter `pgbench_accounts`, définition des index comprise.
- Supprimer la table (il faudra supprimer `pgbench_history` aussi).
- Tenter de la réimporter.

8.10 TRAVAUX PRATIQUES (SOLUTION)

8.10.1 Corruption d'un bloc de données

Vérifier que l'instance utilise bien les checksums. Au besoin les ajouter avec `pg_checksums`.

```
# SHOW data_checksums ;

data_checksums
-----
on
```

Si la réponse est `off`, on peut (à partir de la v12) mettre les checksums en place :

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pg_checksums -D /var/lib/pgsql/15/data/BACKUP/ --enable
↪ --progress
58/58 MB (100%) computed
Checksum operation completed
Files scanned: 964
Blocks scanned: 7524
pg_checksums: syncing data directory
pg_checksums: updating control file
Checksums enabled in cluster
```

Créer une base **pgbench** et la remplir avec l'outil de même, avec un facteur d'échelle 10 et **avec les clés étrangères entre tables** ainsi :

```
/usr/pgsql-15/bin/pgbench -i -s 10 -d pgbench --foreign-keys
```

```
$ dropdb --if-exists pgbench ;
$ createdb pgbench ;

$ /usr/pgsql-15/bin/pgbench -i -s 10 -d pgbench --foreign-keys
...
creating tables...
generating data...
100000 of 1000000 tuples (10%) done (elapsed 0.15 s, remaining 1.31 s)
200000 of 1000000 tuples (20%) done (elapsed 0.35 s, remaining 1.39 s)
..
1000000 of 1000000 tuples (100%) done (elapsed 2.16 s, remaining 0.00 s)
vacuuming...
creating primary keys...
creating foreign keys...
done.
```

Voir la taille de `pgbench_accounts`, les valeurs que prend sa clé primaire.

La table fait 128 Mo selon un `\d+`.

La clé `aid` va de 1 à 100000 :

```
# SELECT min(aid), max(aid) FROM pgbench_accounts ;
```

```
min | max
-----+-----
1 | 1000000
```

Un SELECT montre que les valeurs sont triées mais c'est dû à l'initialisation.

Retrouver le fichier associé à la table `pgbench_accounts` (par exemple avec `pg_file_relationpath`).

```
SELECT pg_relation_filepath('pgbench_accounts') ;
```

```
pg_relation_filepath
-----
base/16454/16489
```

Arrêter PostgreSQL.

```
# systemctl stop postgresql-15
```

Cela permet d'être sûr qu'il ne va pas écraser nos modifications lors d'un checkpoint.

Avec un outil `hexedit` (à installer au besoin, l'aide s'obtient par **F1**), modifier une ligne dans le PREMIER bloc de la table.

```
# dnf install hexedit
```

```
postgres$ hexedit /var/lib/pgsql/15/data/base/16454/16489
```

Aller par exemple sur la 2^e ligne, modifier 80 9F en FF FF. Sortir avec Ctrl-X, confirmer la sauvegarde.

Redémarrer PostgreSQL et lire le contenu de `pgbench_accounts`.

```
# systemctl start postgresql-15
```

```
# SELECT * FROM pgbench_accounts ;
```

```
WARNING: page verification failed, calculated checksum 62947 but expected 57715
ERROR:  invalid page in block 0 of relation base/16454/16489
```

Tenter un `pg_dumpall > /dev/null`.

```
$ pg_dumpall > /dev/null
pg_dump: WARNING: page verification failed, calculated checksum 62947 but expected
↳ 57715
pg_dump: error: Dumping the contents of table "pgbench_accounts" failed:
↳ PQgetResult() failed.
pg_dump: error: Error message from server:
      ERROR:  invalid page in block 0 of relation base/16454/16489
pg_dump: error: The command was:
      COPY public.pgbench_accounts (aid, bid, abalance, filler) TO stdout;
pg_dumpall: error: pg_dump failed on database "pgbench", exiting
```

- Arrêter PostgreSQL.
- Voir ce que donne `pg_checksums (pg_verify_checksums en v11)`.

```
# systemctl stop postgresql-15

$ /usr/pgsql-15/bin/pg_checksums -D /var/lib/pgsql/15/data/ --check --progress
pg_checksums: error: checksum verification failed in file
"/var/lib/pgsql/15/data//base/16454/16489", block 0:
                                calculated checksum F5E3 but block contains E173
216/216 MB (100%) computed
Checksum operation completed
Files scanned: 1280
Blocks scanned: 27699
Bad checksums: 1
Data checksum version: 1
```

- Faire une copie de travail à froid du PGDATA.
- Protéger en écriture le PGDATA original.
- Dans la copie, supprimer la possibilité d'accès depuis l'extérieur.

Dans l'idéal, la copie devrait se faire vers un autre support, une corruption rend celui-ci suspect. Dans le cadre du TP, ceci suffira :

```
$ cp -upR /var/lib/pgsql/15/data/ /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/
$ chmod -R -w /var/lib/pgsql/15/data/
```

Dans `/var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/pg_hba.conf` ne doit plus subsister que :

```
local    all                                all                                trust
```

Avant de redémarrer PostgreSQL, supprimer les sommes de contrôle dans la copie (en désespoir de cause).

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pg_checksums -D /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/ --disable
pg_checksums: syncing data directory
pg_checksums: updating control file
Checksums disabled in cluster
```

Démarrer le cluster sur la copie avec `pg_ctl`.

```
/usr/pgsql-15/bin/pg_ctl -D /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/ start
```

Que renvoie ceci ?

```
SELECT * FROM pgbench_accounts LIMIT 100 ;

# SELECT * FROM pgbench_accounts LIMIT 10;
```

```
ERROR:  out of memory
DÉTAIL : Failed on request of size 536888061 in memory context "printtup".
```

Ce ne sera pas forcément cette erreur, plus rien n'est sûr en cas de corruption. L'avantage des sommes de contrôle est justement d'avoir une erreur moins grave et plus ciblée.

Un `pg_dumpall` renverra le même message.

Tenter une récupération avec `SET zero_damaged_pages`. Quelles données ont pu être perdues ?

```
pgbench=# SET zero_damaged_pages TO on ;
SET
pgbench=# VACUUM FULL pgbench_accounts ;
VACUUM
```

```
pgbench=# SELECT * FROM pgbench_accounts LIMIT 100;
```

aid	bid	abalance	filler
2	1	0	
3	1	0	
4	1	0	
[...]			

```
pgbench=# SELECT min(aid), max(aid), count(aid) FROM pgbench_accounts ;
```

min	max	count
2	1000000	999999

Apparemment une ligne a disparu, celle portant la valeur 1 pour la clé. Il est rare que la perte soit aussi évidente !

8.10.2 Corruption d'un bloc de données et incohérences

Consulter le format et le contenu de la table `pgbench_branches`.

Cette petite table ne contient que 10 valeurs :

```
# SELECT * FROM pgbench_branches ;
```

bid	bbalance	filler
255	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	0	
6	0	
7	0	
8	0	
9	0	
10	0	

(10 lignes)

Retrouver les fichiers des tables `pgbench_branches` (parexemple avec `pg_file_relationpath`).

```
# SELECT pg_relation_filepath('pgbench_branches') ;
```

```
pg_relation_filepath
```

```
-----
base/16454/16490
```

Pour corrompre la table :

- Arrêter PostgreSQL.
- Avec hexedit, dans le premier bloc en tête de fichier, remplacer les derniers caractères non nuls (C0 9E 40) par FF FF FF.
- En toute fin de fichier, remplacer le dernier 01 par un FF.
- Redémarrer PostgreSQL.

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pg_ctl -D /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/ stop
```

```
$ hexedit /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/base/16454/16490
```

```
$ /usr/pgsql-15/bin/pg_ctl -D /var/lib/pgsql/15/data.BACKUP/ start
```

- Compter le nombre de lignes dans pgbench_branches.
- Recompter après SET enable_seqscan TO off ;.
- Quelle est la bonne réponse ? Vérifier le contenu de la table.

Les deux décomptes sont contradictoires :

```
pgbench=# SELECT count(*) FROM pgbench_branches ;
count
-----
      9
```

```
pgbench=# SET enable_seqscan TO off ;
SET
```

```
pgbench=# SELECT count(*) FROM pgbench_branches ;
count
-----
     10
```

En effet, le premier lit la (petite) table directement, le second passe par l'index, comme un EXPLAIN le montrerait. Les deux objets diffèrent.

Et le contenu de la table est devenu :

```
# SELECT * FROM pgbench_branches ;
```

bid	bbalance	filler
255	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	0	
6	0	
7	0	
8	0	

```

    9 |          0 |
(9 lignes)

```

Le 1 est devenu 255 (c'est notre première modification) mais la ligne 10 a disparu !

Les requêtes peuvent renvoyer un résultat incohérent avec leur critère :

```

pgbench=# SET enable_seqscan TO off;
SET
pgbench=# SELECT * FROM pgbench_branches
        WHERE      bid = 1 ;

```

```

bid | bbalance | filler
-----+-----+-----
255 |          0 |

```

Qu'affiche pageinspect pour cette table ?

```

pgbench=# CREATE EXTENSION pageinspect ;

pgbench=# SELECT t_ctid, lp_off, lp_len, t_xmin, t_xmax, t_data
        FROM heap_page_items(get_raw_page('pgbench_branches',0));

```

```

 t_ctid | lp_off | lp_len | t_xmin | t_xmax | t_data
-----+-----+-----+-----+-----+-----
(0,1)  |    8160 |    32 |   63726 |      0 | \xff00000000000000
(0,2)  |    8128 |    32 |   63726 |      0 | \x0200000000000000
(0,3)  |    8096 |    32 |   63726 |      0 | \x0300000000000000
(0,4)  |    8064 |    32 |   63726 |      0 | \x0400000000000000
(0,5)  |    8032 |    32 |   63726 |      0 | \x0500000000000000
(0,6)  |    8000 |    32 |   63726 |      0 | \x0600000000000000
(0,7)  |    7968 |    32 |   63726 |      0 | \x0700000000000000
(0,8)  |    7936 |    32 |   63726 |      0 | \x0800000000000000
(0,9)  |    7904 |    32 |   63726 |      0 | \x0900000000000000
        |  32767 |   127 |         |      |
(10 lignes)

```

La première ligne indique bien que le 1 est devenu un 255.

La dernière ligne porte sur la première modification, qui a détruit les informations sur le ctid. Celle-ci est à présent inaccessible.

Avec l'extension amcheck, essayer de voir si le problème peut être détecté. Si non, pourquoi ?

La documentation est sur <https://docs.postgresql.fr/current/amcheck.html>.

Une vérification complète se fait ainsi :

```

pgbench=# CREATE EXTENSION amcheck ;

pgbench=# SELECT bt_index_check (index => 'pgbench_branches_pkey',
        heapallindexed => true);
bt_index_check
-----
(1 ligne)

```

```
pgbench=# SELECT bt_index_parent_check (index => 'pgbench_branches_pkey',
                                         heapallindexed => true, rootdescend => true);
ERROR:  heap tuple (0,1) from table "pgbench_branches"
        lacks matching index tuple within index "pgbench_branches_pkey"
```

Un seul des problèmes a été repéré.

Un REINDEX serait ici une mauvaise idée : c'est la table qui est corrompue ! Les sommes de contrôle, là encore, auraient permis de cibler le problème très tôt.

Pour voir ce que donnerait une restauration :

- Exporter pgbench_accounts, définition des index comprise.
- Supprimer la table (il faudra supprimer pgbench_history aussi).
- Tenter de la réimporter.

```
$ pg_dump -d pgbench -t pgbench_accounts -f /tmp/pgbench_accounts.dmp
```

```
$ psql pgbench -c 'DROP TABLE pgbench_accounts CASCADE'
```

```
NOTICE: drop cascades to constraint pgbench_history_aid_fkey on table
```

```
↳ pgbench_history
```

```
DROP TABLE
```

```
$ psql pgbench < /tmp/pgbench_accounts.dmp
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
set_config
```

```
-----
```

```
(1 ligne)
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
SET
```

```
CREATE TABLE
```

```
ALTER TABLE
```

```
COPY 999999
```

```
ALTER TABLE
```

```
CREATE INDEX
```

```
ERROR:  insert or update on table "pgbench_accounts"
```

```
violates foreign key constraint "pgbench_accounts_bid_fkey"
```

```
DÉTAIL : Key (bid)=(1) is not present in table "pgbench_branches".
```

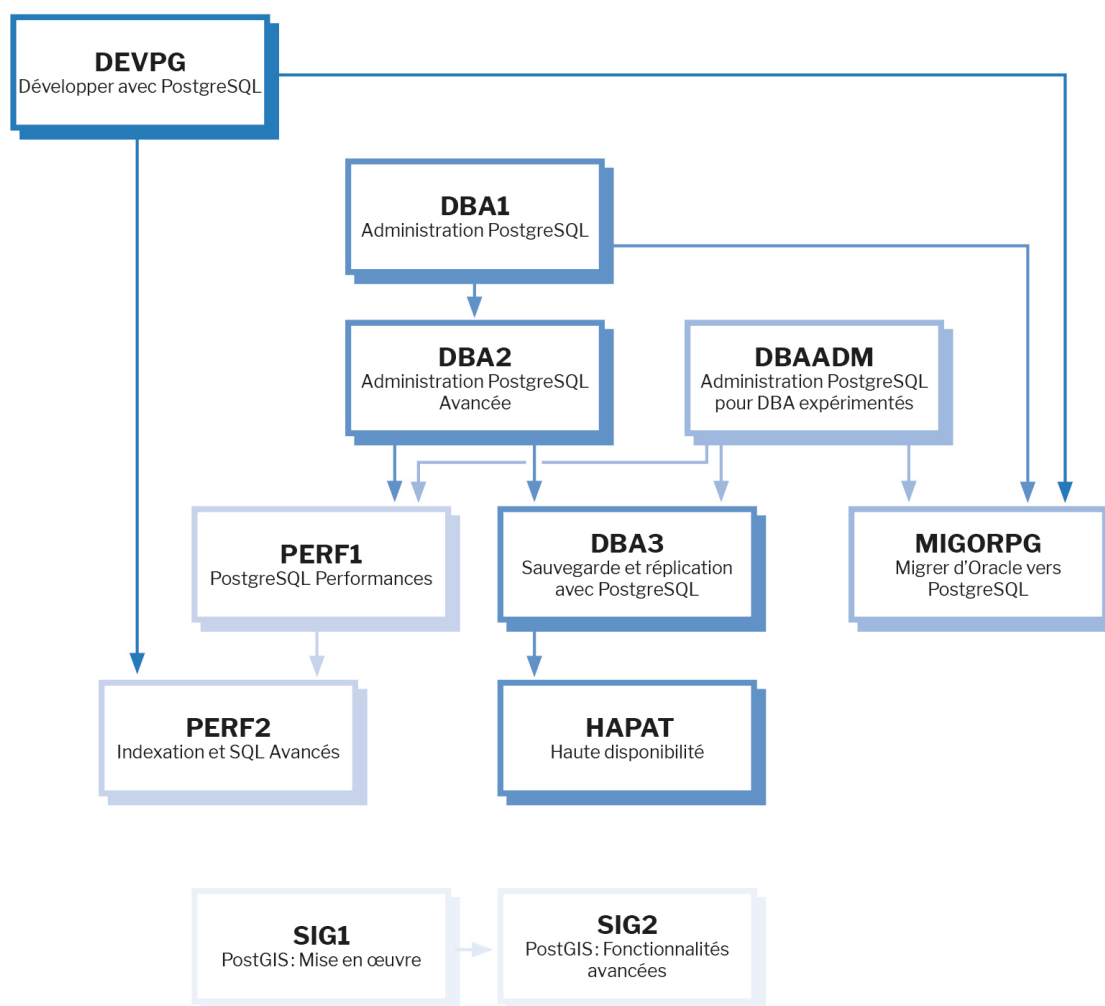
La contrainte de clé étrangère entre les deux tables ne peut être respectée : bid est à 1 sur de nombreuses lignes de pgbench_accounts mais n'existe plus dans la table pgbench_branches ! Ce genre d'incohérence doit être recherchée très tôt pour ne pas surgir bien plus tard, quand on doit restaurer pour d'autres raisons.

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.

