Formation PERF2

# Indexation & SQL Avancé


24.09

# Table des matières

## Sur ce document

| | |
|---|---|
| **Formation** | Formation PERF2 |
| **Titre** | Indexation & SQL Avancé |
| **Révision** | 24.09 |
| **ISBN** | 978-2-38168-123-8 |
| **PDF** | https://dali.bo/perf2_pdf |
| **EPUB** | https://dali.bo/perf2_epub |
| **HTML** | https://dali.bo/perf2_html |
| **Slides** | https://dali.bo/perf2_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).

## 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.com[1] !

## À propos de DALIBO

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

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

[1] mailto:formation@dalibo.com

## Remerciements

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

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 Tachoires, Nicolas Thauvin, Be Hai Tran, Christophe Truffier, Cédric Villemain, Thibaud Walkowiak, Frédéric Yhuel.

## Forme de ce manuel

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

## Licence Creative Commons CC-BY-NC-SA

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

## Marques déposées

PostgreSQL® Postgres® et le logo Slonik sont des marques déposées[3] par PostgreSQL Community Association of Canada.

## Versions de PostgreSQL couvertes

Ce document ne couvre que les versions supportées de PostgreSQL au moment de sa rédaction, soit les versions 12 à 16.

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

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

[3] https://www.postgresql.org/about/policies/trademarks/

# 1/ Techniques d’indexation

Photo de Maksym Kaharlytskyi[1], Unsplash licence

[1] https://unsplash.com/@qwitka

## 1.1 INTRODUCTION

- Qu'est-ce qu'un index ?
- Comment indexer une base ?
- Les index B-tree dans PostgreSQL

### 1.1.1 Objectifs

- Comprendre ce qu'est un index
- Maîtriser le processus de création d'index
- Connaître les différents types d'index B-tree et leurs cas d'usages

### 1.1.2 Introduction aux index

- Uniquement destinés à l'optimisation
- À gérer d'abord par le développeur
    - **Markus Winand** : *SQL Performance Explained*

Les index ne sont pas des objets qui font partie de la théorie relationnelle. Ils sont des objets physiques qui permettent d'accélérer l'accès aux données. Et comme ils ne sont que des moyens d'optimisation des accès, les index ne font pas non plus partie de la norme SQL. C'est d'ailleurs pour cette raison que la syntaxe de création d'index est si différente d'une base de données à une autre.

La création des index est à la charge du développeur ou du DBA, leur création n'est pas automatique, sauf exception.

Pour Markus Winand, c'est d'abord au développeur de poser les index, car c'est lui qui sait comment ses données sont utilisées. Un DBA d'exploitation n'a pas cette connaissance, mais il connaît généralement mieux les différents types d'index et leurs subtilités, et voit comment les requêtes réagissent en production. Développeur et DBA sont complémentaires dans l'analyse d'un problème de performance.

Le site de Markus Winand, Use the index, Luke[2], propose une version en ligne de son livre *SQL Performance Explained*, centré sur les index B-tree (les plus courants). Une version française est par ailleurs disponible sous le titre *SQL : au cœur des performances*.

[2] https://use-the-index-luke.com

### 1.1.3 Utilité d'un index

- Un index permet de :
  - trouver un enregistrement dans une table directement
  - récupérer une série d'enregistrements dans une table
  - voire tout récupérer dans l'index (*Index Only Scan*)
- Un index facilite :
  - certains tris
  - certains agrégats
- Obligatoires et automatique pour clés primaires & unicité
  - conseillé pour clés étrangères (FK)

Les index ne changent pas le résultat d'une requête, mais l'accélèrent. L'index permet de pointer l'endroit de la table où se trouve une donnée, pour y accéder directement. Parfois c'est toute une plage de l'index, voire sa totalité, qui sera lue, ce qui est généralement plus rapide que lire toute la table.

Le cas le plus favorable est l'*Index Only Scan* : toutes les données nécessaires sont contenues dans l'index, lui seul sera lu et PostgreSQL ne lira pas la table elle-même.

PostgreSQL propose différentes formes d'index :

- index classique sur une seule colonne d'une table ;
- index composite sur plusieurs colonnes d'une table ;
- index partiel, en restreignant les données indexées avec une clause `WHERE` ;
- index fonctionnel, en indexant le résultat d'une fonction appliquée à une ou plusieurs colonnes d'une table ;
- index couvrants, contenant plus de champs que nécessaire au filtrage, pour ne pas avoir besoin de lire la table, et obtenir un *Index Only Scan*.

La création des index est à la charge du développeur. Seules exceptions : ceux créés automatiquement quand on déclare des contraintes de clé primaire ou d'unicité. La création est alors automatique.

Les contraintes de clé étrangère imposent qu'il existe déjà une clé primaire sur la table pointée, mais ne crée pas d'index sur la table portant la clé.

### 1.1.4 Index et lectures

Un index améliore les `SELECT`

- Sans index :

```
=# SELECT * FROM test WHERE id = 10000;
Temps : 1760,017 ms
```

- Avec index :

```
=# CREATE INDEX idx_test_id ON test (id);

=# SELECT * FROM test WHERE id = 10000;
Temps : 27,711 ms
```

L'index est une structure de données qui permet d'accéder rapidement à l'information recherchée. À l'image de l'index d'un livre, pour retrouver un thème rapidement, on préférera utiliser l'index du livre plutôt que lire l'intégralité du livre jusqu'à trouver le passage qui nous intéresse. Dans une base de données, l'index a un rôle équivalent. Plutôt que de lire une table dans son intégralité, la base de données utilisera l'index pour ne lire qu'une faible portion de la table pour retrouver les données recherchées.

Pour la requête d'exemple (avec une table de 20 millions de lignes), on remarque que l'optimiseur n'utilise pas le même chemin selon que l'index soit présent ou non. Sans index, PostgreSQL réalise un parcours séquentiel de la table :

```
EXPLAIN SELECT * FROM test WHERE id = 10000;

                            QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------
 Gather  (cost=1000.00..193661.66 rows=1 width=4)
   Workers Planned: 2
   ->  Parallel Seq Scan on test  (cost=0.00..192661.56 rows=1 width=4)
         Filter: (id = 10000)
```

Lorsqu'il est présent, PostgreSQL l'utilise car l'optimiseur estime que son parcours ne récupérera qu'une seule ligne sur les 20 millions que compte la table :

```
EXPLAIN SELECT * FROM test WHERE id = 10000;

                            QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------
 Index Only Scan using idx_test_id on test  (cost=0.44..8.46 rows=1 width=4)
   Index Cond: (id = 10000)
```

Mais l'index n'accélère pas seulement la simple lecture de données, il permet également d'accélérer les tris et les agrégations, comme le montre l'exemple suivant sur un tri :

```
EXPLAIN SELECT id FROM test
        WHERE id BETWEEN 1000 AND 1200 ORDER BY id DESC;
```

```
                                 QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Index Only Scan Backward using idx_test_id on test
                                                (cost=0.44..12.26 rows=191 width=4)
   Index Cond: ((id >= 1000) AND (id <= 1200))
```

### 1.1.5 Index : inconvénients

- L'index n'est pas gratuit !
- Ralentit les écritures
  - maintenance
- Place disque
- Compromis à trouver

La présence d'un index ralentit les écritures sur une table. En effet, il faut non seulement ajouter ou modifier les données dans la table, mais il faut également maintenir le ou les index de cette table.

Les index dégradent surtout les temps de réponse des insertions. Les mises à jour et les suppressions (`UPDATE` et `DELETE`) tirent en général parti des index pour retrouver les lignes concernées par les modifications. Le coût de maintenance de l'index est secondaire par rapport au coût de l'accès aux données.

Soit une table `test2` telle que :

```
CREATE TABLE test2 (
    id INTEGER GENERATED BY DEFAULT AS IDENTITY PRIMARY KEY,
    valeur INTEGER,
    commentaire TEXT
);
```

La table est chargée avec pour seul index présent celui sur la clé primaire :

```
INSERT INTO test2 (valeur, commentaire)
SELECT i, 'commentaire ' || i FROM generate_series(1, 10000000) i;
```

```
INSERT 0 10000000
Durée : 35253,228 ms (00:35,253)
```

Un index supplémentaire est créé sur une colonne de type entier :

```
CREATE INDEX idx_test2_valeur ON test2 (valeur);
INSERT INTO test2 (valeur, commentaire)
SELECT i, 'commentaire ' || i FROM generate_series(1, 10000000) i;
```

```
INSERT 0 10000000
Durée : 44410,775 ms (00:44,411)
```

Un index supplémentaire est encore créé, mais cette fois sur une colonne de type texte :

```
CREATE INDEX idx_test2_commentaire ON test2 (commentaire);
INSERT INTO test2 (valeur, commentaire)
SELECT i, 'commentaire ' || i FROM generate_series(1, 10000000) i;
```

```
INSERT 0 10000000
Durée : 207075,335 ms (03:27,075)
```

On peut comparer ces temps à l'insertion dans une table similaire dépourvue d'index :

```
CREATE TABLE test3 AS SELECT * FROM test2;
INSERT INTO test3 (valeur, commentaire)
SELECT i, 'commentaire ' || i FROM generate_series(1, 10000000) i;
```

```
INSERT 0 10000000
Durée : 14758,503 ms (00:14,759)
```

La table `test2` a été vidée préalablement pour chaque test.

Enfin, la place disque utilisée par ces index n'est pas négligeable :

```
\di+ *test2*
                                 Liste des relations
 Schéma |          Nom           | Type  | Propriétaire | Table | Taille |  …
--------+------------------------+-------+--------------+-------+--------+-
 public | idx_test2_commentaire  | index | postgres     | test2 | 387 MB |
 public | idx_test2_valeur       | index | postgres     | test2 | 214 MB |
 public | test2_pkey             | index | postgres     | test2 | 214 MB |
```

```
SELECT pg_size_pretty(pg_relation_size('test2')),
       pg_size_pretty(pg_indexes_size('test2')) ;
```

```
 pg_size_pretty | pg_size_pretty
----------------+----------------
 574 MB         | 816 MB
```

Pour ces raisons, on ne posera pas des index systématiquement avant de se demander s'ils seront utilisés. L'idéal est d'étudier les plans de ses requêtes et de chercher à optimiser.

### 1.1.6 Index : contraintes pratiques à la création

- Lourd…

```
-- bloque les écritures !
CREATE INDEX ON matable ( macolonne ) ;
-- ne bloque pas, peut échouer
CREATE INDEX CONCURRENTLY ON matable ( macolonne ) ;
```

- Si fragmentation :

```
REINDEX INDEX nomindex ;
REINDEX TABLE CONCURRENTLY nomtable ;
```

- Paramètres :
  - `maintenance_work_mem` (sinon : fichier temporaire !)
  - `max_parallel_maintenance_workers`

**Création d'un index** :

Bien sûr, la durée de création de l'index dépend fortement de la taille de la table. PostgreSQL va lire toutes les lignes et trier les valeurs rencontrées. Ce peut être lourd et impliquer la création de fichiers temporaires.

Si l'on utilise la syntaxe classique, toutes les écritures sur la table sont bloquées (mises en attente) pendant la durée de la création de l'index (verrou *ShareLock*). Les lectures restent possibles, mais cette contrainte est parfois rédhibitoire pour les grosses tables.

**Clause CONCURRENTLY** :

Ajouter le mot clé `CONCURRENTLY` permet de rendre la table accessible en écriture. Malheureusement, cela nécessite au minimum deux parcours de la table, et donc alourdit et ralentit la construction de l'index. Dans quelques cas défavorables (entre autres l'interruption de la création de l'index), la création échoue et l'index existe mais est invalide :

```
pgbench=# \d pgbench_accounts
                Table « public.pgbench_accounts »
 Colonne  |     Type      | Collationnement | NULL-able | Par défaut
----------+---------------+-----------------+-----------+------------
 aid      | integer       |                 | not null  |
 bid      | integer       |                 |           |
 abalance | integer       |                 |           |
 filler   | character(84) |                 |           |
Index :
    "pgbench_accounts_pkey" PRIMARY KEY, btree (aid)
    "pgbench_accounts_bid_idx" btree (bid) INVALID
```

L'index est inutilisable et doit être supprimé et recréé, ou bien réindexé. Pour les détails, voir la documentation officielle[3].

Une supervision peut détecter des index invalides avec cette requête, qui ne doit jamais rien ramener :

```
SELECT indexrelid::regclass AS index, indrelid::regclass AS table
FROM pg_index
WHERE indisvalid = false ;
```

**Réindexation** :

Comme les tables, les index sont soumis à la fragmentation. Celle-ci peut cependant monter assez haut sans grande conséquence pour les performances. De plus, le nettoyage des index est une des étapes des opérations de VACUUM[4].

Une reconstruction de l'index est automatique lors d'un `VACUUM FULL` de la table.

Certaines charges provoquent une fragmentation assez élevée, typiquement les tables gérant des files d'attente. Une réindexation reconstruit totalement l'index. Voici quelques variantes de l'ordre :

```
REINDEX INDEX pgbench_accounts_bid_idx ;  -- un seul index
REINDEX TABLE pgbench_accounts ;          -- tous les index de la table
REINDEX (VERBOSE) DATABASE pgbench ;      -- tous ceux de la base, avec détails
```

Il existe là aussi une clause `CONCURRENTLY` :

```
REINDEX (VERBOSE) INDEX CONCURRENTLY pgbench_accounts_bid_idx ;
```

(En cas d'échec, on trouvera là aussi des index invalides, suffixés avec `_ccnew`, à côté des index préexistants toujours fonctionnels et que PostgreSQL n'a pas détruits.)

**Paramètres** :

La rapidité de création d'un index dépend essentiellement de la mémoire accordée, définie dans `maintenance_work_mem`. Si elle ne suffit pas, le tri se fera dans des fichiers temporaires plus lents. Sur les serveurs modernes, le défaut de 64 Mo est ridicule, et on peut monter aisément à :

```
SET maintenance_work_mem = '2GB' ;
```

Attention de ne pas saturer la mémoire en cas de création simultanée de nombreux gros index (lors d'une restauration avec `pg_restore` notamment).

Si le serveur est bien doté en CPU, la parallélisation de la création d'index peut apporter un gain en temps appréciable. La valeur par défaut est :

```
SET max_parallel_maintenance_workers = 2 ;
```

et devrait même être baissée sur les plus petites configurations.

[3] https://docs.postgresql.fr/current/sql-createindex.html#SQL-CREATEINDEX-CONCURRENTLY
[4] https://dali.bo/m5_html#fonctionnement-de-vacuum

### 1.1.7 Types d'index dans PostgreSQL

- Défaut : B-tree classique (équilibré)
- `UNIQUE` (préférer la contrainte)
- Mais aussi multicolonne, fonctionnel, partiel, couvrant
- Index spécialisés : hash, GiST, GIN, BRIN, HNSW….

Par défaut un `CREATE INDEX` créera un index de type B-tree, de loin le plus courant. Il est stocké sous forme d'arbre équilibré, avec de nombreux avantages :

- les performances se dégradent peu avec la taille de l'arbre (les temps de recherche sont en O(log(n)), donc fonction du logarithme du nombre d'enregistrements dans l'index) ;
- l'accès concurrent est excellent, avec très peu de contention entre processus qui insèrent simultanément.

Toutefois les B-tree ne permettent de répondre qu'à des questions très simples, portant sur la colonne indexée, et uniquement sur des opérateurs courants (égalité, comparaison). Cela couvre tout de même la majorité des cas.

**Contrainte d'unicité et index** :

Un index peut être déclaré `UNIQUE` pour provoquer une erreur en cas d'insertion de doublons. Mais on préférera généralement déclarer une *contrainte* d'unicité (notion fonctionnelle), qui techniquement, entraînera la création d'un index.

Par exemple, sur cette table `personne` :

```
$ CREATE TABLE personne (id int, nom text);

$ \d personne
                Table « public.personne »
 Colonne |  Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
---------+---------+-----------------+-----------+------------
 id      | integer |                 |           |
 nom     | text    |                 |           |
```

on peut créer un index unique :

```
$ CREATE UNIQUE INDEX ON personne (id);

$ \d personne
                 Table « public.personne »
 Colonne |  Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
---------+---------+-----------------+-----------+------------
 id      | integer |                 |           |
 nom     | text    |                 |           |
Index :
    "personne_id_idx" UNIQUE, btree (id)
```

La contrainte d'unicité est alors implicite. La suppression de l'index se fait sans bruit :

```
DROP INDEX personne_id_idx;
```

Définissons une contrainte d'unicité sur la colonne plutôt qu'un index :

```
ALTER TABLE personne ADD CONSTRAINT unique_id UNIQUE (id);
```

```
$ \d personne
                Table « public.personne »
 Colonne |  Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
---------+---------+-----------------+-----------+------------
 id      | integer |                 |           |
 nom     | text    |                 |           |
Index :
    "unique_id" UNIQUE CONSTRAINT, btree (id)
```

Un index est également créé. La contrainte empêche sa suppression :

```
DROP INDEX unique_id ;
```

```
ERREUR:  n'a pas pu supprimer index unique_id car il est requis par contrainte
 unique_id sur table personne
ASTUCE : Vous pouvez supprimer contrainte unique_id sur table personne à la
 place.
```

Le principe est le même pour les clés primaires.

**Indexation avancée** :

Il faut aussi savoir que PostgreSQL permet de créer des index B-tree :

- sur plusieurs colonnes ;
- sur des résultats de fonction ;
- sur une partie des valeurs indexées ;
- intégrant des champs non indexés mais souvent récupérés avec les champs indexés (index couvrants).

D'autres types d'index que B-tree existent, destinés à certains types de données ou certains cas d'optimisation précis.

## 1.2 FONCTIONNEMENT D'UN INDEX

### 1.2.1 Structure d'un index

- Structure associant des clés (termes) à des localisations (pages)
- Structure de données spécialisée, plusieurs types
- Séparée de la table
- Analogies :
  - fiches en carton des bibliothèques avant l'informatique (B-tree)
  - index d'un livre technique (GIN)

Les fiches en carton des anciennes bibliothèques sont un bon équivalent du type d'index le plus courant utilisé par les bases de données en général et PostgreSQL en particulier : le B-tree.

Lorsque l'on recherche des ouvrages dans la bibliothèque, il est possible de parcourir l'intégralité du bâtiment pour chercher les livres qui nous intéressent. Ceci prend énormément de temps. La bibliothèque peut être triée, mais ce tri ne permet pas forcément de trouver facilement le livre. Ce type de recherche trouve son analogie sous la forme du parcours complet d'une table (*Seq Scan*).

Une deuxième méthode pour localiser l'ouvrage consiste à utiliser un index. Sur fiche carton ou sous forme informatique, cet index associe par exemple le nom d'auteur à un ensemble de références (emplacements dans les rayonnages) où celui-ci est présent. Ainsi, pour trouver les œuvres de Proust avec l'index en carton, il suffit de parcourir les fiches, dont l'intégralité tient devant l'utilisateur. La fiche indique des références dans plusieurs rayons et il faudra aller se déplacer pour trouver les œuvres, en allant directement aux bons rayons.

Dans une base de données, le fonctionnement d'un index est très similaire. En effet, comme dans une bibliothèque, l'index est une structure de données à part, qui n'est pas strictement nécessaire à l'exploitation des informations, et qui est principalement utilisée pour la recherche dans l'ensemble de données. Cette structure de données possède un coût de maintenance, dans les deux cas : toute modification des données entraîne des modifications de l'index afin de le maintenir à jour. Et un index qui n'est pas à jour peut provoquer de gros problèmes. Dans le doute, on peut jeter l'index et le recréer de zéro sans problème d'intégrité des données originales.

Il peut y avoir plusieurs index suivant les besoins. L'index trié par auteur ne permet pas de trouver un livre dont on ne connaît que le titre (sauf à lire toutes les fiches). Il faut alors un autre index classé par titre.

Pour filer l'analogie : un index peut être multicolonne (les fiches en carton triées par auteur le sont car elles contiennent le titre, et pas que la référence dans les rayons). L'index peut répondre à une demande à lui seul : il suffit pour compter le nombre de livres de Marcel Proust (c'est le principe des *Index Only Scans*). Une fiche d'un index peut contenir des informations supplémentaires (dates de publication, éditeur…) pour faciliter d'autres recherches sans aller dans les rayons (index « couvrant »).

Dans la réalité comme dans une base de données, il y a un dilemme quand il faut récupérer de très nombreuses données : soit aller chercher de nombreux livres un par un dans les rayons, soit balayer tous les livres systématiquement dans l'ordre où ils viennent pour éviter trop d'allers-retours.

Autres types d'index non informatiques similaires au B-tree :

- les tables décennales de l'État civil, qui pointent vers un endroit précis des registres des actes de naissance, mariage ou décès d'une commune ;
- l'index d'un catalogue papier.

L'index d'un livre technique ou d'un livre de recettes cible des parties des données et non les données elles-mêmes (comme le titre). Il s'approche plus d'un autre type d'index, le GIN, qui existe aussi dans PostgreSQL.

Un annuaire téléphonique papier présente les données sous un mode strictement ordonné. Cette intégration entre table et index n'a pas d'équivalent sous PostgreSQL mais existe dans d'autres moteurs de bases de données.

### 1.2.2 Un index n'est pas magique

- Un index ne résout pas tout
- Importance de la conception du schéma de données
- Importance de l'écriture de requêtes SQL correctes

Bien souvent, la création d'index est vue comme le remède à tous les maux de performance subis par une application. Il ne faut pas perdre de vue que les facteurs principaux affectant les performances vont être liés à la conception du schéma de données, et à l'écriture des requêtes SQL.

Pour prendre un exemple caricatural, un schéma EAV (*Entity-Attribute-Value*, ou *entité-clé-valeur*) ne pourra jamais être performant, de part sa conception. Bien sûr, dans certains cas, une méthodologie pertinente d'indexation permettra d'améliorer un peu les performances, mais le problème réside là dans la conception même du schéma. Il est donc important dans cette phase de considérer la manière dont le modèle va influer sur les méthodes d'accès aux données, et les implications sur les performances.

De même, l'écriture des requêtes elles-mêmes conditionnera en grande partie les performances observées sur l'application. Par exemple, la mauvaise pratique (souvent mise en œuvre accidentellement via un ORM) dite du « N+1 » ne pourra être corrigée par une indexation correcte : celle-ci consiste à récupérer une collection d'enregistrement (une requête) puis d'effectuer une requête pour chaque enregistrement afin de récupérer les enregistrements liés (N requêtes). Dans ce type de cas, une jointure est bien plus performante. Ce type de comportement doit encore une fois être connu de l'équipe de développement, car il est plutôt difficile à détecter par une équipe d'exploitation.

De manière générale, avant d'envisager la création d'index supplémentaires, il convient de s'interroger sur les possibilités de réécriture des requêtes, voire du schéma.

### 1.2.3 Index B-tree

- Type d'index le plus courant
  - et le plus simple
- Utilisable pour les contraintes d'unicité
- Supporte les opérateurs : `<`, `<=`, `=`, `>=`, `>`
- Supporte le tri
- Ne peut pas indexer des colonnes de plus de 2,6 ko

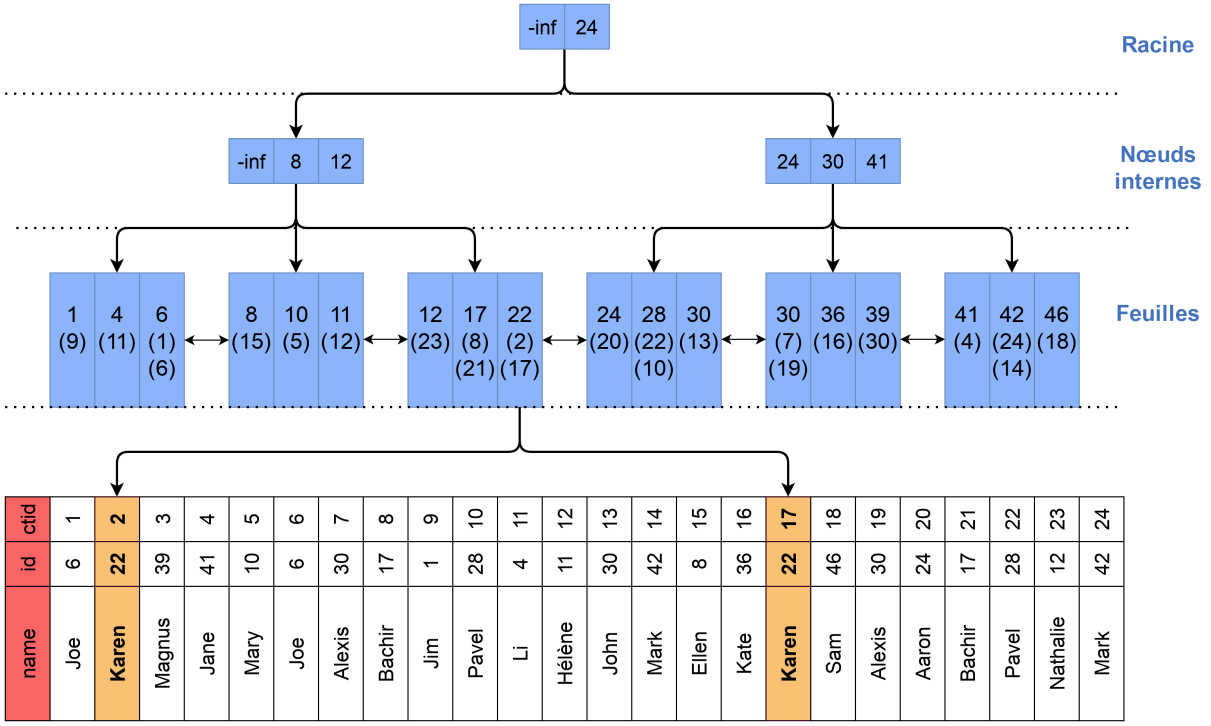
L'index B-tree est le plus simple conceptuellement parlant. Sans entrer dans les détails, un index B-tree est par définition équilibré : ainsi, quelle que soit la valeur recherchée, le coût est le même lors du

parcours d'index. Ceci ne veut pas dire que toute requête impliquant l'index mettra le même temps ! En effet, si chaque clé n'est présente qu'une fois dans l'index, celle-ci peut être associée à une multitude de valeurs, qui devront alors être cherchées dans la table.

L'algorithme utilisé par PostgreSQL pour ce type d'index suppose que chaque page peut contenir au moins trois valeurs. Par conséquent, chaque valeur ne peut excéder un peu moins d'⅓ de bloc, soit environ 2,6 ko. La valeur en question correspond donc à la totalité des données de toutes les colonnes de l'index pour une seule ligne. Si l'on tente de créer ou maintenir un index sur une table ne satisfaisant pas ces prérequis, une erreur sera renvoyée, et la création de l'index (ou l'insertion/mise à jour de la ligne) échouera. Ces champs sont souvent des longs textes ou des champs composés dont on cherchera plutôt des parties, et un index B-tree n'est de toute façon pas adapté. Si un index de type B-tree est tout de même nécessaire sur les colonnes en question, pour des recherches sur l'intégralité de la ligne, les index de type hash sont plus adaptés (mais ils ne supportent que l'opérateur `=`).

### 1.2.4 Exemple de structure d'index

```
SELECT name FROM ma_table WHERE id = 22
```




Ce schéma présente une vue très simplifiée d'une table (en blanc, avec ses champs `id` et `name`) et d'un index B-tree sur `id` (en bleu), tel que le créerait :

```
CREATE INDEX mon_index ON ma_table (id) ;
```

Un index B-tree peut contenir trois types de nœuds :

- la racine : elle est unique c'est la base de l'arbre ;
- des nœuds internes : il peut y en avoir plusieurs niveaux ;
- des feuilles : elles contiennent :
  - les valeurs indexées (triées !) ;
  - les valeurs incluses (si applicable) ;
  - les positions physiques (`ctid`), ici entre parenthèses et sous forme abrégée, car la forme réelle est (numéro de bloc, position de la ligne dans le bloc) ;
  - l'adresse de la feuille précédente et de la feuille suivante.

La racine et les nœuds internes contiennent des enregistrements qui décrivent la valeur minimale de chaque bloc du niveau inférieur et leur adresse (`ctid`).

Lors de la création de l'index, il ne contient qu'une feuille. Lorsque cette feuille se remplit, elle se divise en deux et un nœud racine est créé au-dessus. Les feuilles se remplissent ensuite progressivement et se séparent en deux quand elles sont pleines. Ce processus remplit progressivement la racine. Lorsque la racine est pleine, elle se divise en deux nœuds internes, et une nouvelle racine est crée au-dessus. Ce processus permet de garder un arbre équilibré.

Recherchons le résultat de :

```
SELECT name FROM ma_table WHERE id = 22
```

en passant par l'index.

- En parcourant la racine, on cherche un enregistrement dont la valeur est strictement supérieure à la valeur que l'on recherche. Ici, 22 est plus petit que 24 : on explore donc le nœud de gauche.
- Ce nœud référence trois nœuds inférieurs (ici des feuilles). On compare de nouveau la valeur recherchée aux différentes valeurs (triées) du nœud : pour chaque intervalle de valeur, il existe un pointeur vers un autre nœud de l'arbre. Ici, 22 est plus grand que 12, on explore donc le nœud de droite au niveau inférieur.
- Un arbre B-tree peut bien évidemment avoir une profondeur plus grande, auquel cas l'étape précédente est répétée.
- Une fois arrivé sur une feuille, il suffit de la parcourir pour récupérer l'ensemble des positions physiques des lignes correspondants au critère. Ici, la feuille nous indique qu'à la valeur 22 correspondent deux lignes aux positions 2 et 17. Lorsque la valeur recherchée est supérieure ou égale à la plus grande valeur du bloc, PostgreSQL va également lire le bloc suivant. Ce cas de figure peut se produire si PostgreSQL a divisé une feuille en deux avant ou même pendant la recherche que nous exécutons. Ce serait par exemple le cas si on cherchait la valeur 30.
- Pour trouver les valeurs de `name`, il faut aller chercher dans la table même les lignes aux positions trouvées dans l'index. D'autre part, les informations de visibilité des lignes doivent aussi être trouvées dans la table. (Il existe des cas où la recherche peut éviter cette dernière étape : ce sont les *Index Only Scan*.)

Même en parcourant les deux structures de données, si la valeur recherchée représente une assez petite fraction des lignes totales, le nombre d'accès disques sera donc fortement réduit. En revanche, au lieu d'effectuer des accès séquentiels (pour lesquels les disques durs classiques sont relativement performants), il faudra effectuer des accès aléatoires, en *sautant* d'une position sur le disque à une autre. Le choix est fait par l'optimiseur.

Supposons désormais que nous souhaitions exécuter une requête sans filtre, mais exigeant un tri, du type :

```
SELECT id FROM ma_table ORDER BY id ;
```

L'index peut nous aider à répondre à cette requête. En effet, toutes les feuilles sont liées entre elles, et permettent ainsi un parcours ordonné. Il nous suffit donc de localiser la première feuille (la plus à gauche), et pour chaque clé, récupérer les lignes correspondantes. Une fois les clés de la feuille traitées, il suffit de suivre le pointeur vers la feuille suivante et de recommencer.

L'alternative consisterait à parcourir l'ensemble de la table, et trier toutes les lignes afin de les obtenir dans le bon ordre. Un tel tri peut être très coûteux, en mémoire comme en temps CPU. D'ailleurs,

de tels tris débordent très souvent sur disque (via des fichiers temporaires) afin de ne pas garder l'intégralité des données en mémoire.

Pour les requêtes utilisant des opérateurs d'inégalité, on voit bien comment l'index peut là aussi être utilisé. Par exemple, pour la requête suivante :

```
SELECT * FROM ma_table WHERE id <= 10 AND id >= 4 ;
```

Il suffit d'utiliser la propriété de tri de l'index pour parcourir les feuilles, en partant de la borne inférieure, jusqu'à la borne supérieure.

Dernière remarque : ce schéma ne montre qu'une entrée d'index pour 22, bien qu'il pointe vers deux lignes. En fait, il y avait bien deux entrées pour 22 avant PostgreSQL 13. Depuis cette version, PostgreSQL sait dédupliquer les entrées pour économiser de la place.

### 1.2.5 Index multicolonnes

- Possibilité d'indexer plusieurs colonnes :

```
CREATE INDEX ON ma_table (id, name) ;
```

- Ordre des colonnes **primordial**
  - accès direct aux premières colonnes de l'index
  - pour les autres, PostgreSQL lira tout l'index ou ignorera l'index

Il est possible de créer un index sur plusieurs colonnes. Il faut néanmoins être conscient des requêtes supportées par un tel index. Admettons que l'on crée une table d'un million de lignes avec un index sur trois champs :

```
CREATE TABLE t1 (c1 int, c2 int, c3 int, c4 text);

INSERT INTO t1 (c1, c2, c3, c4)
SELECT i*10,j*5,k*20, 'text'||i||j||k
FROM generate_series (1,100) i
CROSS JOIN generate_series(1,100) j
CROSS JOIN generate_series(1,100) k ;

CREATE INDEX ON t1 (c1, c2, c3) ;

VACUUM ANALYZE t1 ;

-- Figer des paramètres pour l'exemple
SET max_parallel_workers_per_gather to 0;
SET seq_page_cost TO 1 ;
SET random_page_cost TO 4 ;
```

L'index est optimal pour répondre aux requêtes portant sur les premières colonnes de l'index :

```
EXPLAIN SELECT * FROM t1 WHERE c1 = 1000 and c2=500 and c3=2000 ;

                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------
 Index Scan using t1_c1_c2_c3_idx on t1  (cost=0.42..8.45 rows=1 width=22)
   Index Cond: ((c1 = 1000) AND (c2 = 500) AND (c3 = 2000))
```

Et encore plus quand l'index permet de répondre intégralement au contenu de la requête :

```
EXPLAIN SELECT c1,c2,c3 FROM t1 WHERE c1 = 1000 and c2=500 ;

                                   QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Index Only Scan using t1_c1_c2_c3_idx on t1  (cost=0.42..6.33 rows=95 width=12)
   Index Cond: ((c1 = 1000) AND (c2 = 500))
```

Mais si les premières colonnes de l'index ne sont pas spécifiées, alors l'index devra être parcouru en grande partie.

Cela reste plus intéressant que parcourir toute la table, surtout si l'index est petit et contient toutes les données du `SELECT`. Mais le comportement dépend alors de nombreux paramètres, comme les statistiques, les estimations du nombre de lignes ramenées et les valeurs relatives de `seq_page_cost` et `random_page_cost` :

```
SET random_page_cost TO 0.1 ; SET seq_page_cost TO 0.1 ;  -- SSD

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS) SELECT * FROM t1 WHERE c3 = 2000 ;

                                   QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Index Scan using t1_c1_c2_c3_idx on t1  (...) (...)
   Index Cond: (c3 = 2000)
   Buffers: shared hit=3899
 Planning:
   Buffers: shared hit=15
 Planning Time: 0.218 ms
 Execution Time: 67.081 ms
```

Noter que tout l'index a été lu.

Mais pour limiter les aller-retours entre index et table, PostgreSQL peut aussi décider d'ignorer l'index et de parcourir directement la table :

```
SET random_page_cost TO 4 ; SET seq_page_cost TO 1 ;  -- défaut (disque mécanique)

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS) SELECT * FROM t1 WHERE c3 = 2000 ;

                                   QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
Seq Scan on t1  (cost=0.00..18871.00 rows=9600 width=22) (...)
   Filter: (c3 = 2000)
   Rows Removed by Filter: 990000
   Buffers: shared hit=6371
 Planning Time: 0.178 ms
 Execution Time: 114.572 ms
```

Concernant les *range scans* (requêtes impliquant des opérateurs d'inégalité, tels que `<`, `<=`, `>=`, `>`), celles-ci pourront être satisfaites par l'index de manière quasi optimale si les opérateurs d'inégalité sont appliqués sur la dernière colonne requêtée, et de manière sub-optimale s'ils portent sur les premières colonnes.

Cet index pourra être utilisé pour répondre aux requêtes suivantes de manière optimale :

```
SELECT * FROM t1 WHERE c1 = 20 ;
SELECT * FROM t1 WHERE c1 = 20 AND c2 = 50 AND c3 = 400 ;
SELECT * FROM t1 WHERE c1 = 10 AND c2 <= 4 ;
```

Il pourra aussi être utilisé, mais de manière bien moins efficace, pour les requêtes suivantes, qui bénéficieraient d'un index sur un ordre alternatif des colonnes :

```
SELECT * FROM t1 WHERE c1 = 100 AND c2 >= 80 AND c3 = 40 ;
SELECT * FROM t1 WHERE c1 < 100 AND c2 = 100 ;
```

Le plan de cette dernière requête est :

```
 Bitmap Heap Scan on t1  (cost=2275.98..4777.17 rows=919 width=22) (...)
   Recheck Cond: ((c1 < 100) AND (c2 = 100))
   Heap Blocks: exact=609
   Buffers: shared hit=956
   ->  Bitmap Index Scan on t1_c1_c2_c3_idx  (cost=0.00..2275.76 rows=919 width=0)
↪  (...)
         Index Cond: ((c1 < 100) AND (c2 = 100))
         Buffers: shared hit=347
 Planning Time: 0.227 ms
 Execution Time: 15.596 ms
```

Les index multicolonnes peuvent aussi être utilisés pour le tri comme dans les exemples suivants. Il n'y a pas besoin de trier (ce peut être très coûteux) puisque les données de l'index sont triées. Ici le cas est optimal puisque l'index contient toutes les données nécessaires :

```
SELECT * FROM t1 ORDER BY c1 ;
SELECT * FROM t1 ORDER BY c1, c2 ;
SELECT * FROM t1 ORDER BY c1, c2, c3 ;
```

Le plan de cette dernière requête est :

```
 Index Scan using t1_c1_c2_c3_idx on t1  (cost=0.42..55893.66 rows=1000000 width=22)
↪  (...)
   Buffers: shared hit=1003834
 Planning Time: 0.282 ms
 Execution Time: 425.520 ms
```

Il est donc nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'application (ou de passer du temps à observer les requêtes consommatrices) pour déterminer comment créer des index multicolonnes pertinents pour un nombre maximum de requêtes.

### 1.2.6 Nœuds des index

- *Index Scan*
- *Bitmap Scan*
- *Index Only Scan*
  - idéal pour les performances
- et les variantes parallélisées

L'optimiseur a le choix entre plusieurs parcours pour utiliser un index, principalement suivant la quantité d'enregistrements à récupérer :

#### 1.2.6.1 Index Scan

Un *Index Scan* est optimal quand il y a peu d'enregistrements à récupérer. Noter qu'il comprend l'accès à l'index *et* celui à la table ensuite.

#### 1.2.6.2 Bitmap Scan

Le *Bitmap Scan* est utile quand il y a plus de lignes, ou quand on veut lire plusieurs index d'une même table pour satisfaire plusieurs conditions de filtre.

Il se décompose en deux nœuds : un *Bitmap Index Scan* qui récupère des blocs d'index, et un *Bitmap Heap Scan* qui va chercher les blocs dans la table.

Typiquement, ce nœud servira pour des recherches de plages de valeurs ou de grandes quantités de lignes. Il est favorisé par une bonne corrélation des données avec leur emplacement physique.

#### 1.2.6.3 Index Only Scan

L'*Index Only Scan* est utile quand les champs de la requête correspondent aux colonnes de l'index. Ce nœud permet d'éviter la lecture de tout ou partie de la table et est donc très performant.

Autre intérêt de l'*Index Only Scan* : les enregistrements cherchés sont contigus dans l'index (puisqu'il est trié), et le nombre d'accès disque est bien plus faible. Il est tout à fait possible d'obtenir dans des cas extrêmes des gains de l'ordre d'un facteur 10 000.

Si peu de champs de la table sont impliqués dans la requête, il faut penser à viser un *Index Only Scan*.

#### 1.2.6.4 Parallélisation

Chacun de ses nœuds a une version parallélisable si l'index est assez grand et que l'optimiseur pense que paralléliser est utile. Il apparaît alors un nœud *Gather* pour rassembler les résultats des différents *workers*.

## 1.3 MÉTHODOLOGIE DE CRÉATION D'INDEX

- On indexe pour une requête
  - ou idéalement une collection de requêtes
- Et pas « une table »

La première chose à garder en tête est que l'on indexe pas le schéma de données, c'est-à-dire les tables, mais en fonction de la charge de travail supportée par la base, c'est-à-dire les requêtes. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, tout index superflu a un coût global pour la base de données, notamment pour les opérations DML.

### 1.3.1 L'index ? Quel index ?

- Identifier les requêtes nécessitant un index
- Créer les index permettant de répondre à ces requêtes
- Valider le fonctionnement, en rejouant la requête avec :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS)
```

La méthodologie elle-même est assez simple. Selon le principe qu'un index sert à une (ou des) requête(s), la première chose à faire consiste à identifier celle(s)-ci. L'équipe de développement est dans une position idéale pour réaliser ce travail : elle seule peut connaître le fonctionnement global de l'application, et donc les colonnes qui vont être utilisées, ensemble ou non, comme cible de filtres ou de tris. Au delà de la connaissance de l'application, il est possible d'utiliser des outils tels que pgBadger, pg_stat_statements et PoWA pour identifier les requêtes particulièrement consommatrices, et qui pourraient donc potentiellement nécessiter un index. Ces outils seront présentés plus loin dans cette formation.

Une fois les requêtes identifiées, il est nécessaire de trouver les index permettant d'améliorer celles-ci. Ils peuvent être utilisés pour les opérations de filtrage (clause `WHERE`), de tri (clauses `ORDER BY`, `GROUP BY`) ou de jointures. Idéalement, l'étude portera sur l'ensemble des requêtes, afin notamment de pouvoir décider d'index multicolonnes pertinents pour le plus grand nombre de requêtes, et éviter ainsi de créer des index redondants.

### 1.3.2 Index et clés étrangères

- Indexation des colonnes faisant référence à une autre
- Performances des DML
- Performances des jointures

De manière générale, l'ensemble des colonnes étant la source d'une clé étrangère devraient être indexées, et ce pour deux raisons.

La première concerne les jointures. Généralement, lorsque deux tables sont liées par des clés étrangères, il existe au moins certaines requêtes dans l'application joignant ces tables. La colonne « cible » de la clé étrangère est nécessairement indexée, c'est un prérequis dû à la contrainte unique nécessaire à celle-ci. Il est donc possible de la parcourir de manière triée.

La colonne source devrait être indexée elle aussi : en effet, il est alors possible de la parcourir de manière ordonnée, et donc de réaliser la jointure selon l'algorithme *Merge Join* (comme vu lors du module sur les plans d'exécution[5]), et donc d'être beaucoup plus rapide. Un tel index accélérera de la même manière les *Nested Loop*, en permettant de parcourir l'index une fois par ligne de la relation externe au lieu de parcourir l'intégralité de la table.

De la même manière, pour les DML sur la table cible, cet index sera d'une grande aide : pour chaque ligne modifiée ou supprimée, il convient de vérifier, soit pour interdire soit pour « cascader » la modification, la présence de lignes faisant référence à celle touchée.

S'il n'y a qu'une règle à suivre aveuglément ou presque, c'est bien celle-ci : les colonnes faisant partie d'une clé étrangère doivent être indexées !

Deux exceptions : les champs ayant une cardinalité très faible et homogène (par exemple, un champ homme/femme dans une population équilibrée) ; et ceux dont on constate l'inutilité après un certain temps, par des valeurs à zéro dans `pg_stat_user_indexes`.

[5] https://dali.bo/j0_html

## 1.4 INDEX INUTILISÉ

C'est souvent tout à fait normal

- Utiliser l'index est-il rentable ?
- La requête est-elle compatible ?
- Bug de l'optimiseur : rare

C'est l'optimiseur SQL qui choisit si un index doit ou non être utilisé. Il est tout à fait possible que PostgreSQL décide qu'utiliser un index donné n'en vaut pas la peine par rapport à d'autres chemins. Il faut aussi savoir identifier les cas où l'index ne peut *pas* être utilisé.

L'optimiseur possède forcément quelques limitations. Certaines sont un compromis par rapport au temps que prendrait la recherche systématique de toutes les optimisations imaginables. Il y aussi le problème des estimations de volumétries, qui sont d'autant plus difficiles que la requête est complexe.

Quant à un vrai bug, si le cas peut être reproduit, il doit être remonté aux développeurs de PostgreSQL. D'expérience, c'est rarissime.

### 1.4.1 Index utilisable mais non utilisé

- L'optimiseur pense qu'il n'est pas rentable
  - sélectivité trop faible
  - meilleur chemin pour remplir d'autres critères
  - index redondant
  - *Index Only Scan* nécessite un `VACUUM` fréquent
- Les estimations de volumétries doivent être assez bonnes !
  - statistiques récentes, précises

Il existe plusieurs raisons pour que PostgreSQL néglige un index.

**Sélectivité trop faible, trop de lignes** :

Comme vu précédemment, le parcours d'un index implique à la fois des lectures sur l'index, et des lectures sur la table. Au contraire d'une lecture séquentielle de la table (*Seq Scan*), l'accès aux données via l'index nécessite des lectures aléatoires. Ainsi, si l'optimiseur estime que la requête nécessitera de parcourir une grande partie de la table, il peut décider de ne pas utiliser l'index : l'utilisation de celui-ci serait alors trop coûteux.

Autrement dit, l'index n'est pas assez discriminant pour que ce soit la peine de faire des allers-retours entre lui et la table. Le seuil dépend entre autres des volumétries de la table et de l'index et du rapport entre les paramètres `random_page_cost` et `seq_page_cost` (respectivement 4 et 1 pour un disque dur classique peu rapide, et souvent 1 et 1 pour du SSD, voire moins).

**Il y a un meilleur chemin** :

Un index sur un champ n'est qu'un chemin parmi d'autres, en aucun cas une obligation, et une requête contient souvent plusieurs critères sur des tables différentes. Par exemple, un index sur un filtre peut être ignoré si un autre index permet d'éviter un tri coûteux, ou si l'optimiseur juge que faire une jointure avant de filtrer le résultat est plus performant.

**Index redondant** :

Il existe un autre index doublant la fonctionnalité de celui considéré. PostgreSQL favorise naturellement un index plus petit, plus rapide à parcourir. À l'inverse, un index plus complet peut favoriser plusieurs filtres, des tris, devenir couvrant…

**VACUUM trop ancien** :

Dans le cas précis des *Index Only Scan*, si la table n'a pas été récemment nettoyée, il y aura trop d'allers-retours avec la table pour vérifier les informations de visibilité (*heap fetches*). Un `VACUUM` permet de mettre à jour la *Visibility Map* pour éviter cela.

**Statistiques périmées** :

Il peut arriver que l'optimiseur se trompe quand il ignore un index. Des statistiques périmées sont une cause fréquente. Pour les rafraîchir :

```
ANALYZE (VERBOSE) nom_table;
```

Si cela résout le problème, ce peut être un indice que l'autovacuum ne passe pas assez souvent (voir `pg_stat_user_tables.last_autoanalyze`). Il faudra peut-être ajuster les paramètres `autovacuum_analyze_scale_factor` ou `autovacuum_analyze_threshold` sur les tables.

**Statistiques pas assez fines** :

Les statistiques sur les données peuvent être trop imprécises. Le défaut est un histogramme de 100 valeurs, basé sur 300 fois plus de lignes. Pour les grosses tables, augmenter l'échantillonnage sur les champs aux valeurs peu homogènes est possible :

```
ALTER TABLE ma_table ALTER ma_colonne SET STATISTICS 500 ;
```

La valeur 500 n'est qu'un exemple. Monter beaucoup plus haut peut pénaliser les temps de planification. Ce sera d'autant plus vrai si on applique cette nouvelle valeur globalement, donc à tous les champs de toutes les tables (ce qui est certes le plus facile).

**Estimations de volumétries trompeuses** :

Par exemple, une clause `WHERE` sur deux colonnes corrélées (ville et code postal par exemple), mène à une sous-estimation de la volumétrie résultante par l'optimiseur, car celui-ci ignore le lien entre

les deux champs. Vous pouvez demander à PostgreSQL de calculer cette corrélation avec l'ordre `CREATE STATISTICS` (voir le module de formation J2[6] ou la documentation officielle[7]).

**Compatibilité** :

Il faut toujours s'assurer que la requête est écrite correctement et permet l'utilisation de l'index.

Un index peut être inutilisable à cause d'une fonction plus ou moins explicite, ou encore d'un mauvais typage. Il arrive que le critère de filtrage ne peut remonter sur la table indexée à cause d'un CTE matérialisé (explicitement ou non), d'un `DISTINCT`, ou d'une vue complexe.

Nous allons voir quelques problèmes classiques.

### 1.4.2 Index inutilisable à cause d'une fonction

- Pas le bon type ( `CAST` plus ou moins explicite)

```
EXPLAIN SELECT * FROM clients WHERE client_id = 3::numeric;
```

- Utilisation de fonctions, comme :

```
SELECT * FROM ma_table WHERE to_char(ma_date, 'YYYY')='2014' ;
```

Voici quelques exemples d'index incompatible avec la clause `WHERE` :

**Mauvais type** :

Cela peut paraître contre-intuitif, mais certains transtypages ne permettent pas de garantir que les résultats d'un opérateur (par exemple l'égalité) seront les mêmes si les arguments sont convertis dans un type ou dans l'autre. Cela dépend des types et du sens de conversion. Dans les exemples suivants, le champ `client_id` est de type `bigint`. PostgreSQL réussit souvent à convertir, mais ce n'est pas toujours parfait.

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM clients WHERE client_id = 3 ;
```

```
                        QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Index Scan using clients_pkey on clients
   Index Cond: (client_id = 3)
```

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM clients WHERE client_id = 3::numeric;
```

```
                        QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Seq Scan on clients
   Filter: ((client_id)::numeric = '3'::numeric)
```

[6] https://dali.bo/j2_html
[7] https://docs.postgresql.fr/current/sql-createstatistics.html

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM clients WHERE client_id = 3::int;

                        QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Index Scan using clients_pkey on clients
   Index Cond: (client_id = 3)

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM clients WHERE client_id = '003';

                        QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Index Scan using clients_pkey on clients
   Index Cond: (client_id = '3'::bigint)
```

De même, les conversions entre `date` et `timestamp` / `timestamptz` se passent généralement bien.

Autres exemples :

- Dans une jointure, si les deux champs joints n'ont pas le même type, il est possible que de simples index ne soient pas utilisables, ou un seul d'entre eux. Il faudra corriger l'incohérence, ou créer des index fonctionnels incluant le transtypage.
- Un index B-tree sur un tableau ou un JSON ne peut servir pour une recherche sur un de ses éléments. Il faudra s'orienter vers un index plus spécialisé, par exemple GIN ou GiST.

**Utilisation de fonction** :

Si une fonction est appliquée sur la colonne à indexer, comme dans cet exemple classique :

```
SELECT * FROM ma_table WHERE to_char(ma_date, 'YYYY')='2014' ;
```

alors PostgreSQL n'utilisera pas l'index sur `ma_date`. Il faut réécrire la requête ainsi :

```
SELECT * FROM ma_table WHERE ma_date >='2014-01-01' AND ma_date<'2015-01-01' ;
```

Dans l'exemple suivant, on cherche les commandes dont la date tronquée au mois correspond au 1er janvier, c'est-à-dire aux commandes dont la date est entre le 1er et le 31 janvier. Pour un humain, la logique est évidente, mais l'optimiseur n'en a pas connaissance.

```
EXPLAIN ANALYZE
SELECT * FROM commandes
WHERE date_trunc('month', date_commande) = '2015-01-01';

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------
Gather  (cost=1000.00..8160.96 rows=5000 width=51)
        (actual time=17.282..192.131 rows=4882 loops=1)
 Workers Planned: 3
 Workers Launched: 3
 ->  Parallel Seq Scan on commandes (cost=0.00..6660.96 rows=1613 width=51)
                           (actual time=17.338..177.896 rows=1220 loops=4)
     Filter: (date_trunc('month'::text,
                                    (date_commande)::timestamp with time zone)
                           = '2015-01-01 00:00:00+01'::timestamp with time zone)
     Rows Removed by Filter: 248780
 Planning time: 0.215 ms
 Execution time: 196.930 ms
```

Il faut plutôt écrire :

```
EXPLAIN ANALYZE
SELECT * FROM commandes
WHERE date_commande BETWEEN '2015-01-01' AND '2015-01-31' ;

                           QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Index Scan using commandes_date_commande_idx on commandes
                                     (cost=0.42..118.82 rows=5554 width=51)
                                (actual time=0.019..0.915 rows=4882 loops=1)
   Index Cond: ((date_commande >= '2015-01-01'::date)
           AND (date_commande <= '2015-01-31'::date))
 Planning time: 0.074 ms
 Execution time: 1.098 ms
```

Dans certains cas, la réécriture est impossible (fonction complexe, code non modifiable…). Nous verrons qu'un index fonctionnel peut parfois être la solution.

Ces exemples semblent évidents, mais il peut être plus compliqué de trouver dans l'urgence la cause du problème dans une grande requête d'un schéma mal connu.

### 1.4.3 Index inutilisable à cause d'un LIKE '…%'

```
SELECT * FROM fournisseurs WHERE commentaire LIKE 'ipsum%';
```

- Solution :

```
CREATE INDEX idx1 ON ma_table (col_varchar varchar_pattern_ops) ;
```

Si vous avez un index « normal » sur une chaîne texte, certaines recherches de type `LIKE` n'utiliseront pas l'index. En effet, il faut bien garder à l'esprit qu'un index est basé sur un opérateur précis. Ceci est généralement indiqué correctement dans la documentation, mais pas forcément très intuitif.

Si un opérateur non supporté pour le critère de tri est utilisé, l'index ne servira à rien :

```
CREATE INDEX ON fournisseurs (commentaire);
EXPLAIN ANALYZE SELECT * FROM fournisseurs WHERE commentaire LIKE 'ipsum%';

                           QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------
 Seq Scan on fournisseurs  (cost=0.00..225.00 rows=1 width=45)
                           (actual time=0.045..1.477 rows=47 loops=1)
   Filter: (commentaire ~~ 'ipsum%'::text)
   Rows Removed by Filter: 9953
 Planning time: 0.085 ms
 Execution time: 1.509 ms
```

Nous verrons qu'il existe d'autre classes d'opérateurs, permettant d'indexer correctement la requête précédente, et que `varchar_pattern_ops` est l'opérateur permettant d'indexer la requête précédente.

### 1.4.4 Index inutilisable car invalide

– `CREATE INDEX … CONCURRENTLY` peut échouer

Dans le cas où un index a été construit avec la clause `CONCURRENTLY`, nous avons vu qu'il peut arriver que l'opération échoue et l'index existe mais reste invalide, et donc inutilisable. Le problème ne se pose pas pour un échec de `REINDEX … CONCURRENTLY`, car l'ancienne version de l'index est toujours là et utilisable.

## 1.5 INDEXATION B-TREE AVANCÉE

De nombreuses possibilités d'indexation avancée :

- Index partiels
- Index fonctionnels
- Index couvrants
- Classes d'opérateur

### 1.5.1 Index partiels

- N'indexe qu'une partie des données :

```
CREATE INDEX on evenements (type) WHERE  traite IS FALSE ;
```

- Ne sert que si la clause est logiquement équivalente !
  - ou partie de la clause (inégalités, `IN`)
- Intérêt : index beaucoup plus petit

Un index partiel est un index ne couvrant qu'une partie des enregistrements. Ainsi, l'index est beaucoup plus petit. En contrepartie, il ne pourra être utilisé que si sa condition est définie dans la requête.

Pour prendre un exemple simple, imaginons un système de « queue », dans lequel des événements sont entrés, et qui disposent d'une colonne `traite` indiquant si oui ou non l'événement a été traité. Dans le fonctionnement normal de l'application, la plupart des requêtes ne s'intéressent qu'aux événements non traités :

```
CREATE TABLE evenements (
    id int primary key,
    traite bool NOT NULL,
    type text NOT NULL,
    payload text
);

-- 10 000 événements traités
INSERT INTO evenements (id, traite, type) (
    SELECT i,
        true,
        CASE WHEN i % 3 = 0 THEN 'FACTURATION'
             WHEN i % 3 = 1 THEN 'EXPEDITION'
             ELSE 'COMMANDE'
        END
```

```
    FROM generate_series(1, 10000) as i);

-- et 10  non encore traités
INSERT INTO evenements (id, traite, type) (
    SELECT i,
        false,
        CASE WHEN i % 3 = 0 THEN 'FACTURATION'
             WHEN i % 3 = 1 THEN 'EXPEDITION'
             ELSE 'COMMANDE'
        END
    FROM generate_series(10001, 10010) as i);

\d evenements

                Table « public.evenements »
 Colonne |  Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
---------+---------+-----------------+-----------+------------
 id      | integer |                 | not null  |
 traite  | boolean |                 | not null  |
 type    | text    |                 | not null  |
 payload | text    |                 |           |
Index :
    "evenements_pkey" PRIMARY KEY, btree (id)
```

Typiquement, différents applicatifs vont être intéressés par des événements d'un certain type, mais les événements déjà traités ne sont quasiment jamais accédés, du moins via leur état (une requête portant sur `traite IS true` sera exceptionnelle et ramènera l'essentiel de la table : un index est inutile).

Ainsi, on peut souhaiter indexer le type d'événement, mais uniquement pour les événements non traités :

```
CREATE INDEX index_partiel on evenements (type) WHERE NOT traite ;
```

Si on recherche les événements dont le type est « FACTURATION », sans plus de précision, l'index ne peut évidemment pas être utilisé :

```
EXPLAIN SELECT * FROM evenements WHERE type = 'FACTURATION' ;

                          QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------
 Seq Scan on evenements  (cost=0.00..183.12 rows=50 width=69)
   Filter: (type = 'FACTURATION'::text)
```

En revanche, si la condition sur l'état de l'événement est précisée, l'index sera utilisé :

```
EXPLAIN SELECT * FROM evenements WHERE type = 'FACTURATION' AND NOT traite ;

                                QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on evenements  (cost=8.22..54.62 rows=25 width=69)
   Recheck Cond: ((type = 'FACTURATION'::text) AND (NOT traite))
   ->  Bitmap Index Scan on index_partiel  (cost=0.00..8.21 rows=25 width=0)
         Index Cond: (type = 'FACTURATION'::text)
```

Sur ce jeu de données, on peut comparer la taille de deux index, partiels ou non :

```
CREATE INDEX index_complet ON evenements (type);

SELECT idxname, pg_size_pretty(pg_total_relation_size(idxname::text))
FROM (VALUES ('index_complet'), ('index_partiel')) as a(idxname);

    idxname    | pg_size_pretty
---------------+----------------
 index_complet | 88 kB
 index_partiel | 16 kB
```

Un index composé sur `(is_traite,type)` serait efficace, mais inutilement gros.

**Clauses de requête et clause d'index** :

Attention ! Les clauses de l'index et du `WHERE` doivent être **logiquement équivalentes** ! (et de préférence identiques)

Par exemple, dans les requêtes précédentes, un critère `traite IS FALSE` à la place de `NOT traite` n'utilise pas l'index (en effet, il ne s'agit pas du même critère à cause de `NULL` : `NULL = false` renvoie `NULL`, mais `NULL IS false` renvoie `false`).

Par contre, des conditions mathématiquement plus restreintes que l'index permettent son utilisation :

```
CREATE INDEX commandes_recentes_idx
ON commandes (client_id) WHERE date_commande > '2015-01-01' ;

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes
WHERE date_commande > '2016-01-01' AND client_id = 17 ;

                      QUERY PLAN
------------------------------------------------------
 Index Scan using commandes_recentes_idx on commandes
   Index Cond: (client_id = 17)
   Filter: (date_commande > '2016-01-01'::date)
```

Mais cet index partiel ne sera pas utilisé pour un critère précédant 2015.

De la même manière, si un index partiel contient une liste de valeurs, `IN ()` ou `NOT IN ()`, il est en principe utilisable :

```
CREATE INDEX commandes_1_3 ON commandes (numero_commande)
WHERE  mode_expedition IN (1,3);

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes WHERE mode_expedition = 1 ;

                 QUERY PLAN
--------------------------------------------
 Index Scan using commandes_1_3 on commandes
   Filter: (mode_expedition = 1)

DROP INDEX commandes_1_3 ;
```

```
CREATE INDEX commandes_not34 ON commandes (numero_commande)
WHERE  mode_expedition NOT IN (3,4);

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes WHERE mode_expedition = 1 ;

                  QUERY PLAN
-----------------------------------------------
 Index Scan using commandes_not34 on commandes
   Filter: (mode_expedition = 1)

DROP INDEX commandes_not34 ;
```

### 1.5.2 Index partiels : cas d'usage

- Données *chaudes* et *froides*
- Index dédié à une requête avec une condition fixe

Le cas typique d'utilisation d'un index partiel est celui de l'exemple précédent : une application avec des données *chaudes*, fréquemment accédées et traitées, et des données *froides*, qui sont plus destinées à de l'historisation ou de l'archivage. Par exemple, un système de vente en ligne aura probablement intérêt à disposer d'index sur les commandes dont l'état est différent de clôturé : en effet, un tel système effectuera probablement des requêtes fréquemment sur les commandes qui sont en cours de traitement, en attente d'expédition, en cours de livraison mais très peu sur des commandes déjà livrées, qui ne serviront alors plus qu'à de l'analyse statistique.

De manière générale, tout système est susceptible de bénéficier des index partiels s'il doit gérer des données à état dont seul un sous-ensemble de ces états est activement exploité par les requêtes à optimiser. Par exemple, toujours sur cette même table, des requêtes visant à faire des statistiques sur les expéditions pourraient tirer parti de cet index :

```
CREATE INDEX index_partiel_expes ON evenements (id) WHERE type = 'EXPEDITION' ;

EXPLAIN SELECT count(id) FROM evenements WHERE type = 'EXPEDITION' ;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------------
 Aggregate  (cost=106.68..106.69 rows=1 width=8)
   ->  Index Only Scan using index_partiel_expes on evenements  (cost=0.28..98.34
↪  rows=3337 width=4)
```

Nous avons mentionné précédemment qu'un index est destiné à satisfaire une requête ou un ensemble de requêtes. Donc, si une requête présente fréquemment des critères de ce type :

```
WHERE une_colonne = un_parametre_variable
  AND une_autre_colonne = une_valeur_fixe
```

alors il peut être intéressant de créer un index partiel pour les lignes satisfaisant le critère :

```
WHERE une_autre_colonne = une_valeur_fixe
```

Ces critères sont généralement très liés au fonctionnel de l'application : du point de vue de l'exploitation, il est souvent difficile d'identifier des requêtes dont une valeur est toujours fixe. Encore une fois, l'appropriation des techniques d'indexation par l'équipe de développement permet d'améliorer grandement les performances de l'application.

### 1.5.3 Index partiels : utilisation

- Éviter les index de type :

```
CREATE INDEX ON matable ( champ_filtre ) WHERE champ_filtre = …
```

- Préférer :

```
CREATE INDEX ON matable ( champ_resultat ) WHERE champ_filtre = …
```

En général, un index partiel doit indexer une colonne différente de celle qui est filtrée (et donc connue). Ainsi, dans l'exemple précédent, la colonne indexée (`type`) n'est pas celle de la clause `WHERE`. On pose un critère, mais on s'intéresse aux types d'événements ramenés. Un autre index partiel pourrait porter sur `id WHERE NOT traite` pour simplement récupérer une liste des identifiants non traités de tous types.

L'intérêt est d'obtenir un index très ciblé et compact, et aussi d'économiser la place disque et la charge CPU de maintenance. Il faut tout de même que les index partiels soient notablement plus petits que les index « génériques » (au moins de moitié). Avec des index partiels spécialisés, il est possible de « précalculer » certaines requêtes critiques en intégrant leurs critères de recherche exacts.

### 1.5.4 Index fonctionnels : principe

- Un index sur `a` est inutilisable pour :

```
SELECT … WHERE upper(a)='DUPOND'
```

- Indexer le résultat de la fonction :

```
CREATE INDEX mon_idx ON ma_table (upper(a)) ;
```

À partir du moment où une clause `WHERE` applique une fonction sur une colonne, un index sur la colonne ne permet plus un accès à l'enregistrement.

C'est comme demander à un dictionnaire Anglais vers Français : « Quels sont les mots dont la traduction en français est 'fenêtre' ? ». Le tri du dictionnaire ne correspond pas à la question posée. Il nous faudrait un index non plus sur les mots anglais, mais sur leur traduction en français.

C'est exactement ce que font les index fonctionnels : ils indexent le résultat d'une fonction appliquée à l'enregistrement.

L'exemple classique est l'indexation insensible à la casse : on crée un index sur `UPPER` (ou `LOWER`) de la chaîne à indexer, et on recherche les mots convertis à la casse souhaitée.

### 1.5.5 Index fonctionnels : conditions

- Critère identique à la fonction dans l'index
- Fonction impérativement `IMMUTABLE` !
  - délicat avec les conversions de dates/heures
- Ne pas espérer d'*Index Only Scan*

Il est facile de créer involontairement des critères comportant des fonctions, notamment avec des conversions de type ou des manipulations de dates. Il a été vu plus haut qu'il vaut mieux placer la transformation du côté de la constante. Par exemple, la requête suivante retourne toutes les commandes de l'année 2011, mais la fonction `extract` est appliquée à la colonne `date_commande` (type `date`) et l'index est inutilisable.

L'optimiseur ne peut donc pas utiliser un index :

```
CREATE INDEX ON commandes (date_commande) ;

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes
WHERE extract('year' from date_commande) = 2011;

                            QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------
 Gather
   Workers Planned: 2
   ->  Parallel Seq Scan on commandes
         Filter: (EXTRACT(year FROM date_commande) = '2011'::numeric)
```

En réécrivant le prédicat, l'index est bien utilisé :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes
WHERE date_commande BETWEEN '01-01-2011'::date AND '31-12-2011'::date;

                            QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------
 Index Scan using commandes_date_commande_idx on commandes
   Index Cond: ((date_commande >= '2011-01-01'::date) AND (date_commande <=
↪  '2011-12-31'::date))
```

C'est la solution la plus propre.

Mais dans d'autres cas, une telle réécriture de la requête sera impossible ou très délicate. On peut alors créer un index fonctionnel, dont la définition doit être **strictement** celle du `WHERE` :

```
CREATE INDEX annee_commandes_idx ON commandes( extract('year' from date_commande) ) ;

EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM commandes
WHERE extract('year' from date_commande) = 2011;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on commandes
   Recheck Cond: (EXTRACT(year FROM date_commande) = '2011'::numeric)
   ->  Bitmap Index Scan on annee_commandes_idx
         Index Cond: (EXTRACT(year FROM date_commande) = '2011'::numeric)
```

Ceci fonctionne si `date_commande` est de type `date` ou `timestamp without timezone`.

**Fonction immutable** :

Cependant, n'importe quelle fonction d'indexation n'est pas utilisable, ou pas pour tous les types. La fonction d'indexation doit être notée `IMMUTABLE` : cette propriété indique à PostgreSQL que la fonction retournera toujours le **même résultat** quand elle est appelée avec les **mêmes arguments**.

En d'autres termes : le résultat de la fonction ne doit dépendre :

- ni du contenu de la base (pas de `SELECT` donc) ;
- ni de la configuration, ni de l'environnement (variables d'environnement, paramètres de session, fuseau horaire, formatage…) ;
- ni du temps ( `now()` ou `clock_timestamp()` sont interdits, et indirectement les calculs d'âge) ;
- ni d'une autre fonction non-déterministe (comme `random()` ) ou plus généralement non immutable.

Sans ces restrictions, l'endroit dans lequel la donnée est insérée dans l'index serait potentiellement différent à chaque exécution, ce qui est évidemment incompatible avec la notion d'indexation.

Pour revenir à l'exemple précédent : pour calculer l'année, on peut aussi imaginer un index avec la fonction `to_char`, une autre fonction hélas fréquemment utilisée pour les conversions de date. Au moment de la création d'un tel index, PostgreSQL renvoie l'erreur suivante :

```
CREATE INDEX annee_commandes_idx2
ON commandes ((to_char(date_commande,'YYYY')::int));

ERROR:  functions in index expression must be marked IMMUTABLE
```

En effet, `to_char()` n'est pas immutable, juste « stable » et cela dans toutes ses variantes :

```
magasin=# \df+ to_char
                                        Liste des fonctions
…  Nom   |…résultat|  Type de données des paramètres  |…|Volatibilité|…
+--------+---------+-----------------------------------+-+------------+-
…to_char | text    | bigint, text                      | | stable     |…
…to_char | text    | double precision, text            | | stable     |…
```

```
…to_char | text     | integer, text                     | | stable     |…
…to_char | text     | interval, text                    | | stable     |…
…to_char | text     | numeric, text                     | | stable     |…
…to_char | text     | real, text                        | | stable     |…
…to_char | text     | timestamp without time zone, text| | stable     |…
…to_char | text     | timestamp with time zone, text    | | stable     |…
(8 lignes)
```

La raison est que `to_date` accepte des paramètres de formatage qui dépendent de la session (nom du mois, virgule ou point décimal…). Ce n'est pas une très bonne fonction pour convertir une date ou heure en nombre.

La fonction `extract`, elle, est bien immutable quand il s'agit de convertir `commande.date_commande` de `date` vers une année, comme dans l'exemple plus haut.

```
 \sf extract (text, date)
CREATE OR REPLACE FUNCTION pg_catalog."extract"(text, date)
 RETURNS numeric
 LANGUAGE internal
 IMMUTABLE PARALLEL SAFE STRICT
AS $function$extract_date$function$
```

De même, `extract` est immutable avec une entrée de type `timestamp without time zone`.

Les choses se compliquent si l'on manipule des heures avec fuseau horaire. En effet, il est conseillé de toujours privilégier la variante `timestamp with time zone`. Cette fois, l'index fonctionnel basé avec `extract` va poser problème :

```
DROP INDEX annee_commandes_idx ;
-- Nouvelle table d'exemple avec date_commande comme timestamp with time zone
-- La conversion introduit implicitement le fuseau horaire de la session
CREATE TABLE commandes2 (LIKE commandes INCLUDING ALL);
ALTER TABLE  commandes2 ALTER COLUMN date_commande TYPE timestamp with time zone ;
INSERT INTO  commandes2 SELECT * FROM commandes ;
-- Reprise de l'index fonctionnel précédent
CREATE INDEX annee_commandes2_idx
ON commandes2(extract('year' from date_commande) ) ;

ERROR:  functions in index expression must be marked IMMUTABLE
```

En effet la fonction `extract` n'est pas immutable pour le type `timestamp with time zone` :

```
magasin=# \sf extract (text, timestamp with time zone)
CREATE OR REPLACE FUNCTION pg_catalog."extract"(text, timestamp with time zone)
 RETURNS numeric
 LANGUAGE internal
 STABLE PARALLEL SAFE STRICT
AS $function$extract_timestamptz$function$
```

Pour certains *timestamps* autour du Nouvel An, l'année retournée dépend du fuseau horaire. Le problème se poserait bien sûr aussi si l'on extrayait les jours ou les mois.

Il est possible de « tricher » en figeant le fuseau horaire dans une fonction pour obtenir un type intermédiaire `timestamp without time zone`, qui ne posera pas de problème :

```
CREATE INDEX annee_commandes2_idx
ON commandes2(extract('year' from (
  date_commande AT TIME ZONE 'Europe/Paris' )::timestamp
  )) ;
```

Ce contournement impose de modifier le critère de la requête. Tant qu'on y est, il peut être plus clair d'enrober l'appel dans une fonction que l'on définira immutable.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION annee_paris (t timestamptz)
RETURNS int
AS $$
    SELECT extract ('year' FROM (t AT TIME ZONE 'Europe/Paris')::timestamp) ;
$$ LANGUAGE sql
IMMUTABLE ;

CREATE INDEX annee_commandes2_paris_idx ON commandes2 (annee_paris (date_commande));
VACUUM ANALYZE commandes2 ;

EXPLAIN (COSTS OFF)
SELECT * FROM commandes2
WHERE annee_paris (date_commande) = 2021 ;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Index Scan using annee_commandes2_paris_idx on commandes2
   Index Cond: ((EXTRACT(year FROM (date_commande AT TIME ZONE
↪  'Europe/Paris'::text)))::integer = 2021)
```

Le nom de la fonction est aussi une indication pour les utilisateurs dans d'autres fuseaux.

Certes, on a ici modifié le code de la requête, mais il est parfois possible de contourner ce problème en passant par des vues qui masquent la fonction.

Signalons enfin la fonction `date_part` : c'est une alternative possible à `extract`, avec les mêmes soucis et contournement.

À partir de PostgreSQL 16, une autre possibilité existe avec `date_trunc` car la variante avec `timestamp without time zone` est devenue immutable :

```
CREATE INDEX annee_commandes2_paris_idx3
ON commandes2 ( (date_trunc ( 'year', date_commande, 'Europe/Paris')) );
ANALYZE commandes2 ;

EXPLAIN (COSTS OFF)
SELECT * FROM commandes2
WHERE date_trunc('year', date_commande, 'Europe/Paris') = '2021-01-01'::timestamptz;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Index Scan using annee_commandes2_paris_idx3 on commandes2
   Index Cond: (date_trunc('year'::text, date_commande, 'Europe/Paris'::text) =
↪  '2021-01-01 00:00:00+01'::timestamp with time zone)
```

**Index Only Scan** :

Obtenir un *Index Only Scan* est une optimisation importante pour les requêtes critiques avec peu de champs sur la table. Hélas, en raison d'une limitation du planificateur, les index fonctionnels ne donnent pas lieu à un *Index Only Scan* :

```
EXPLAIN (COSTS OFF)
SELECT annee_paris (date_commande) FROM commandes2
WHERE annee_paris (date_commande) > 2021 ;
```

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Index Scan using annee_commandes2_paris_idx on commandes2
   Index Cond: ((EXTRACT(year FROM (date_commande AT TIME ZONE
↪  'Europe/Paris'::text)))::integer > 2021)
```

Plus insidieusement, le planificateur peut choisir un *Index Only Scan*… sur la colonne sur laquelle porte la fonction !

```
EXPLAIN SELECT count( annee_paris(date_commande) ) FROM commandes2 ;
```

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
  Aggregate  (cost=28520.40..28520.41 rows=1 width=8)
   ->  Index Only Scan using commandes2_date_commande_idx on commandes2
↪  (cost=0.42..18520.41 rows=999999 width=8)
```

Ce qui entraîne au moins un gaspillage de CPU pour réexécuter les fonctions sur chaque ligne.

Sacrifier un peu d'espace disque pour une colonne générée et son index (non fonctionnel) peut s'avérer une solution :

```
-- Attention, cette commande réécrit la table
ALTER TABLE commandes2 ADD COLUMN annee_paris smallint
  GENERATED ALWAYS  AS ( annee_paris (date_commande) ) STORED ;
CREATE INDEX commandes2_annee_paris_idx ON commandes2 (annee_paris) ;
-- Prise en compte des statistiques et des lignes mortes sur la table réécrite
VACUUM ANALYZE commandes2;

EXPLAIN SELECT count( annee_paris ) FROM commandes2 ;
```

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Finalize Aggregate  (cost=14609.10..14609.11 rows=1 width=8)
   ->  Gather  (cost=14608.88..14609.09 rows=2 width=8)
         Workers Planned: 2
         ->  Partial Aggregate  (cost=13608.88..13608.89 rows=1 width=8)
               ->  Parallel Index Only Scan using commandes2_annee_paris_idx on
↪  commandes2  (cost=0.42..12567.20 rows=416672 width=2)
```

### 1.5.6 Index fonctionnels : maintenance

- Ne pas oublier `ANALYZE` après création d'un index fonctionnel
  - les statistiques peuvent même être l'intérêt majeur (<v14)
- La fonction ne doit jamais tomber en erreur
- Si modification de la fonction
  - réindexation

**Statistiques** :

Après la création de l'index fonctionnel, un `ANALYZE nom_table` est conseillé : en effet, l'optimiseur ne peut utiliser les statistiques déjà connues pour le résultat d'une fonction. Par contre, PostgreSQL peut créer des statistiques sur le résultat de la fonction pour chaque ligne. Ces statistiques seront visibles dans la vue système `pg_stats` (`tablename` contient le nom de l'index, et non celui de la table !).

Ces statistiques à jour sont d'ailleurs un des intêrêts de l'index fonctionnel, même si l'index lui-même est superflu. Dans ce cas, à partir de PostgreSQL 14, on pourra utiliser `CREATE STATISTICS` sur l'expression pour ne pas avoir à créer et maintenir un index entier.

**Avertissements** :

La fonction ne doit jamais tomber en erreur ! Il ne faut pas tester l'index qu'avec les données en place, mais aussi avec toutes celles susceptibles de se trouver dans le champ concerné. Sinon, il y aura des refus d'insertion ou de mise à jour. Des `ANALYZE` ou `VACUUM` pourraient aussi échouer, avec de gros problèmes sur le long terme.

Si le contenu de la fonction est modifié avec `CREATE OR REPLACE FUNCTION`, il faudra impérativement réindexer, car PostgreSQL ne le fera pas automatiquement. Sans cela, les résultats des requêtes différeront selon qu'elles utiliseront ou non l'index !

### 1.5.7 Index couvrants : principe

- But : obtenir un *Index Only Scan*

```
CREATE UNIQUE INDEX clients_idx1
ON clients (id_client) INCLUDE (nom_client) ;
```

- Répondent à la clause `WHERE`
- **ET** contiennent toutes les colonnes demandées par la requête :

```
SELECT id_client,nom_client FROM clients WHERE id_client > 100 ;
```

- …si l'index n'est pas trop gros
  - à comparer à un index multicolonne

#### 1.5.7.1 Principe des index couvrants

Un index couvrant (*covering index*) cherche à favoriser le nœud d'accès le plus rapide, l'*Index Only Scan* : il contient non seulement les champs servant de critères de recherche, mais aussi tous les champs résultats. Ainsi, il n'y a plus besoin d'interroger la table.

Les index couvrants peuvent être explicitement déclarés avec la clause `INCLUDE` :

```
CREATE TABLE t (id int NOT NULL, valeur int) ;

INSERT INTO t SELECT i, i*50 FROM generate_series(1,1000000) i;

CREATE UNIQUE INDEX t_pk ON t (id) INCLUDE (valeur) ;

VACUUM t ;

EXPLAIN ANALYZE SELECT valeur FROM t WHERE id = 555555 ;
```

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Index Only Scan using t_pk on t  (cost=0.42..1.44 rows=1 width=4)
                                  (actual time=0.034..0.035 rows=1 loops=1)
   Index Cond: (id = 555555)
   Heap Fetches: 0
 Planning Time: 0.084 ms
 Execution Time: 0.065 ms
```

Dans cet exemple, il n'y a pas eu d'accès à la table. L'index est unique mais contient aussi la colonne `valeur`.

Noter le `VACUUM`, nécessaire pour garantir que la *visibility map* de la table est à jour et permet ainsi un *Index Only Scan* sans aucun accès à la table (clause *Heap Fetches* à 0).

Par abus de langage, on peut dire d'un index multicolonne sans clause `INCLUDE` qu'il est « couvrant » s'il répond complètement à la requête.

Dans les versions antérieures à la 11, on émulait cette fonctionnalité en incluant les colonnes dans des index multicolonne :

```
CREATE INDEX t_idx ON t (id, valeur) ;
```

Cette technique reste tout à fait valable dans les versions suivantes, car l'index multicolonne (complètement trié) peut servir de manière optimale à d'autres requêtes. Il peut même être plus petit que celui utilisant `INCLUDE`.

Un intérêt de la clause `INCLUDE` est de se greffer sur des index uniques ou de clés et d'économiser un nouvel index et un peu de place. Accessoirement, il évite le tri des champs dans la clause `INCLUDE`.

#### 1.5.7.2 Inconvénients & limitation des index couvrants

Il faut garder à l'esprit que l'ajout de colonnes à un index (couvrant ou multicolonne) augmente sa taille. Cela peut avoir un impact sur les performances des requêtes qui n'utilisent pas les colonnes supplémentaires. Il faut également être vigilant à ce que la taille des enregistrements avec les colonnes incluses ne dépassent pas 2,6 ko. Au-delà de cette valeur, les insertions ou mises à jour échouent.

Enfin, la déduplication (apparue en version 13) n'est pas active sur les index couvrants, ce qui a un impact supplémentaire sur la taille de l'index sur le disque et en cache. Ça n'a pas trop d'importance si l'index principal contient surtout des valeurs différentes, mais s'il y en a beaucoup moins que de lignes, il serait dommage de perdre l'intérêt de la déduplication. Là encore, le planificateur peut ignorer l'index s'il est trop gros. Il faut tester avec les données réelles, et comparer avec un index multicolonne (dédupliqué).

Les méthodes d'accès aux index doivent inclure le support de cette fonctionnalité. C'est le cas pour le B-tree ou le GiST, et pour le SP-GiST en version 14.

### 1.5.8 Classes d'opérateurs

- Un index utilise des opérateurs de comparaison
- Texte : différentes collations = différents tris… complexes
  - Index inutilisable sur :

```
WHERE col_varchar LIKE 'chaine%'
```

- Solution : opérateur `varchar_pattern_ops` :
  - force le tri caractère par caractère, sans la collation

```
CREATE INDEX idx1
ON ma_table (col_varchar varchar_pattern_ops)
```

- Plus généralement :
  - nombreux autres opérateurs pour d'autres types d'index

Un opérateur sert à indiquer à PostgreSQL comment il doit manipuler un certain type de données. Il y a beaucoup d'opérateurs par défaut, mais il est parfois possible d'en prendre un autre.

Pour l'indexation, il est notamment possible d'utiliser un jeu « alternatif » d'opérateurs de comparaison.

Le cas d'utilisation le plus fréquent dans PostgreSQL est la comparaison de chaîne `LIKE 'chaine%'`. L'indexation texte « classique » utilise la collation par défaut de la base (en France, généralement `fr_FR.UTF-8` ou `en_US.UTF-8`) ou la collation de la colonne de la table si elle diffère. Cette collation contient des notions de tri. Les règles sont différentes pour chaque collation. Et ces règles sont complexes.

Par exemple, le **ß** allemand se place entre **ss** et **t** (et ce, même en français). En danois, le tri est très particulier car le **å** et le **aa** apparaissent après le **z**.

```
-- Cette collation doit exister sur le système
CREATE COLLATION IF NOT EXISTS "da_DK" (locale='da_DK.utf8');

WITH ls(x) AS (VALUES ('aa'),('å'),('t'),('s'),('ss'),('ß'), ('zz') )
SELECT * FROM ls ORDER BY x COLLATE "da_DK";
```

```
 x
----
 s
 ss
 ß
 t
 zz
 å
 aa
```

Il faut être conscient que cela a une influence sur le résultat d'un filtrage :

```
WITH ls(x) AS (VALUES ('aa'),('å'),('t'),('s'),('ss'),('ß'), ('zz') )
SELECT * FROM ls
WHERE x > 'z' COLLATE "da_DK" ;

 x
----
 aa
 å
 zz
```

Il serait donc très complexe de réécrire le `LIKE` en un `BETWEEN`, comme le font habituellement tous les SGBD : `col_texte LIKE 'toto%'` peut être réécrit comme `coltexte >= 'toto' and  coltexte < 'totp'` en ASCII, mais la réécriture est bien plus complexe en tri linguistique sur Unicode par exemple. Même si l'index est dans la bonne collation, il n'est pas facilement utilisable :

```
CREATE INDEX ON textes (livre) ;
EXPLAIN SELECT * FROM textes WHERE livre LIKE 'Les misérables%';

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------
 Gather  (cost=1000.00..525328.76 rows=75173 width=123)
   Workers Planned: 2
   ->  Parallel Seq Scan on textes  (cost=0.00..516811.46 rows=31322 width=123)
         Filter: (livre ~~ 'Les misérables%'::text)
```

La classe d'opérateurs `varchar_pattern_ops` sert à changer ce comportement :

```
CREATE INDEX ON ma_table (col_varchar varchar_pattern_ops) ;
```

Ce nouvel index est alors construit sur la comparaison brute des valeurs octales de tous les caractères qu'elle contient. Il devient alors trivial pour l'optimiseur de faire la réécriture :

```
EXPLAIN SELECT * FROM textes WHERE livre LIKE 'Les misérables%';

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------
 Index Scan using textes_livre_idx1 on textes  (cost=0.69..70406.87 rows=75173
↪  width=123)
   Index Cond: ((livre ~>=~ 'Les misérables'::text) AND (livre ~<~ 'Les
↪  misérablet'::text))
   Filter: (livre ~~ 'Les misérables%'::text)
```

Cela convient pour un `LIKE 'critère%'`, car le début est fixe, et l'ordre de tri n'influe pas sur le résultat. (Par contre cela ne permet toujours pas d'indexer `LIKE %critère%`.) Noter la clause `Filter` qui filtre en deuxième intention ce qui a pu être trouvé dans l'index.

Il existe quelques autres cas d'utilisation d'`opclass` alternatives, notamment pour utiliser d'autres types d'index que B-tree. Deux exemples :

- indexation d'un JSON (type `jsonb`) par un index GIN :

```
CREATE INDEX ON stock_jsonb USING gin (document_jsonb jsonb_path_ops);
```

- indexation de trigrammes de textes avec le module `pg_trgm` et des index GiST :

```
CREATE INDEX ON livres USING gist (text_data gist_trgm_ops);
```

Pour plus de détails à ce sujet, se référer à la section correspondant aux classes d'opérateurs[8].

Ne mettez pas systématiquement `varchar_pattern_ops` dans tous les index de chaînes de caractère. Cet opérateur est adapté au `LIKE 'critère%` mais ne servira pas pour un tri sur la chaîne (`ORDER BY`). Selon les requêtes et volumétries, les deux index peuvent être nécessaires.

### 1.5.9 Conclusion

- Responsabilité de l'indexation
- Compréhension des mécanismes
- Différents types d'index, différentes stratégies

L'indexation d'une base de données est souvent un sujet qui est traité trop tard dans le cycle de l'application. Lorsque celle-ci est gérée à l'étape du développement, il est possible de bénéficier de l'expérience et de la connaissance des développeurs. La maîtrise de cette compétence est donc idéalement transverse entre le développement et l'exploitation.

Le fonctionnement d'un index B-tree est somme toute assez simple, mais il est important de bien l'appréhender pour comprendre les enjeux d'une bonne stratégie d'indexation.

PostgreSQL fournit aussi d'autres types d'index moins utilisés, mais très précieux dans certaines situations : BRIN, GIN, GiST, etc.

[8] https://www.postgresql.org/docs/current/static/indexes-opclass.html

## 1.6 QUIZ

**https://dali.bo/j4_quiz**

## 1.7 INSTALLATION DE POSTGRESQL DEPUIS LES PAQUETS COMMUNAUTAIRES

L'installation est détaillée ici pour Rocky Linux 8 et 9 (similaire à Red Hat et à d'autres variantes comem Oracle Linux et Fedora), et Debian/Ubuntu.

Elle ne dure que quelques minutes.

### 1.7.1 Sur Rocky Linux 8 ou 9

**ATTENTION** : Red Hat, CentOS, Rocky Linux fournissent souvent 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 fortement conseillée.

**Installation du dépôt communautaire** :

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

- la version majeure de PostgreSQL (ici la 16) ;
- la distribution (ici Rocky Linux 8) ;
- l'architecture (ici x86_64, la plus courante).

Les commandes sont à lancer sous **root** :

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

# dnf -qy module disable postgresql
```

**Installation de PostgreSQL 16 (client, serveur, librairies, extensions)** :

```
# dnf install -y postgresql16-server postgresql16-contrib
```

Les outils clients et les librairies nécessaires seront automatiquement installés.

Une fonctionnalité avancée optionnelle, le JIT (*Just In Time compilation*), nécessite un paquet séparé.

```
# dnf install postgresql16-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-16/bin/postgresql-16-setup initdb
# cat /var/lib/pgsql/16/initdb.log
```

Ce dernier fichier permet de vérifier que tout s'est bien passé et doit finir par :

```
Success. You can now start the database server using:

    /usr/pgsql-16/bin/pg_ctl -D /var/lib/pgsql/16/data/ -l logfile start
```

**Chemins** :

| Objet | Chemin |
|---|---|
| Binaires | `/usr/pgsql-16/bin` |
| Répertoire de l'utilisateur **postgres** | `/var/lib/pgsql` |
| `PGDATA` par défaut | `/var/lib/pgsql/16/data` |
| Fichiers de configuration | dans `PGDATA/` |
| Traces | dans `PGDATA/log` |

**Configuration** :

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

**Commandes d'administration habituelles** :

Démarrage, arrêt, statut, rechargement à chaud de la configuration, redémarrage :

```
# systemctl start postgresql-16
# systemctl stop postgresql-16
# systemctl status postgresql-16
# systemctl reload postgresql-16
# systemctl restart postgresql-16
```

**Test rapide de bon fonctionnement et connexion à psql** :

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

**Démarrage de l'instance au lancement du système d'exploitation** :

```
# systemctl enable postgresql-16
```

**Ouverture du *firewall* pour le port 5432** :

Voir si le *firewall* est actif :

```
# systemctl status firewalld
```

Si c'est le cas, autoriser un accès extérieur :

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

(Rappelons que `listen_addresses` doit être également modifié dans `postgresql.conf`.)

**Création d'autres instances** :

Si des instances de *versions majeures différentes* doivent être installées, il faut d'abord installer les binaires pour chacune (adapter le numéro dans `dnf install …`) et appeler le script d'installation de chaque version. l'instance par défaut de chaque version vivra dans un sous-répertoire numéroté de `/var/lib/pgsql` automatiquement créé à l'installation. Il faudra juste modifier les ports dans les `postgresql.conf` pour que les instances puissent tourner simultanément.

Si plusieurs instances d'une *même version majeure* (forcément de la même version mineure) doivent cohabiter sur le même serveur, il faut 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 nouveau sous-répertoire de `/var/lib/pgsqsl/16/` (ou l'équivalent pour d'autres versions majeures).

Pour créer une seconde instance, nommée par exemple **infocentre** :

- Création du fichier service de la deuxième instance :

```
# cp /lib/systemd/system/postgresql-16.service \
        /etc/systemd/system/postgresql-16-infocentre.service
```

- Modification de ce dernier fichier avec le nouveau chemin :

```
Environment=PGDATA=/var/lib/pgsql/16/infocentre
```

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

```
# export PGSETUP_INITDB_OPTIONS='--data-checksums --lc-messages=C'
# /usr/pgsql-16/bin/postgresql-16-setup initdb postgresql-16-infocentre
```

- Option 2 : restauration d'une sauvegarde : la procédure dépend de votre outil.
- Adaptation de `/var/lib/pgsql/16/infocentre/postgresql.conf` (port surtout).
- Commandes de maintenance de cette instance :

```
# systemctl [start|stop|reload|status] postgresql-16-infocentre
# systemctl [enable|disable] postgresql-16-infocentre
```

- Ouvrir le nouveau port dans le firewall au besoin.

### 1.7.2 Sur Debian / Ubuntu

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

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

**Installation du dépôt communautaire** :

L'installation des dépôts du PGDG est prévue dans le paquet Debian :

```
# apt update
# apt install -y  gnupg2  postgresql-common
# /usr/share/postgresql-common/pgdg/apt.postgresql.org.sh
```

Ce dernier ordre créera le fichier du dépôt `/etc/apt/sources.list.d/pgdg.list` adapté à la distribution en place.

**Installation de PostgreSQL 16** :

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

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-16 postgresql-client-16
```

La première instance est automatiquement créée, démarrée et déclarée comme service à lancer au démarrage du système. Elle porte un nom (par défaut `main`).

Elle est immédiatement accessible par l'utilisateur système **postgres**.

**Chemins** :

| Objet | Chemin |
|---|---|
| Binaires | `/usr/lib/postgresql/16/bin/` |
| Répertoire de l'utilisateur **postgres** | `/var/lib/postgresql` |
| PGDATA de l'instance par défaut | `/var/lib/postgresql/16/main` |
| Fichiers de configuration | dans `/etc/postgresql/16/main/` |
| Traces | dans `/var/log/postgresql/` |

**Configuration**

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

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

Debian fournit ses propres outils, qui demandent en paramètre la version et le nom de l'instance :

```
# pg_ctlcluster 16 main [start|stop|reload|status|restart]
```

**Démarrage de l'instance avec le serveur** :

C'est en place par défaut, et modifiable dans `/etc/postgresql/16/main/start.conf`.

**Ouverture du firewall** :

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

**Statut des instances du serveur** :

```
# pg_lsclusters
```

**Test rapide de bon fonctionnement et connexion à psql** :

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

**Destruction d'une instance** :

```
# pg_dropcluster 16 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 :

- optionnellement, `/etc/postgresql-common/createcluster.conf` permet de mettre en place tout d'entrée les *checksums*, les messages en anglais, le format des traces ou un emplacement séparé pour les journaux :

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

- créer une instance :

```
# pg_createcluster 16 infocentre
```

Il est également possible de préciser certains paramètres du fichier `postgresql.conf`, voire les chemins des fichiers (il est conseillé de conserver les chemins par défaut) :

```
# pg_createcluster 16 infocentre \
  --port=12345 \
  --datadir=/PGDATA/16/infocentre \
  --pgoption shared_buffers='8GB' --pgoption work_mem='50MB' \
  --  --data-checksums --waldir=/ssd/postgresql/16/infocentre/journaux
```

- adapter au besoin `/etc/postgresql/16/infocentre/postgresql.conf` ;
- démarrage :

```
# pg_ctlcluster 16 infocentre start
```

### 1.7.3 Accès à l'instance depuis le serveur même (toutes distributions)

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 (16.0)
Type "help" for help.
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 (16.0)
Type "help" for help.
postgres=#
```

Une authentification par mot de passe est plus sécurisée :

- dans `pg_hba.conf`, paramétrer une authentification par mot de passe pour les accès depuis `localhost` (déjà en place sous Debian) :

```
# IPv4 local connections:
host    all             all             127.0.0.1/32            scram-sha-256
# IPv6 local connections:
host    all             all             ::1/128                 scram-sha-256
```

(Ne pas oublier de recharger la configuration en cas de modification.)

- ajouter un mot de passe à l'utilisateur `postgres` de l'instance :

```
dalibo:~$ sudo -iu postgres psql
psql (16.0)
Type "help" for help.
postgres=# \password
Enter new password for user "postgres":
Enter it again:
postgres=# quit

dalibo:~$ psql -h localhost -U postgres
Password for user postgres:
psql (16.0)
Type "help" for help.
postgres=#
```

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

```
localhost:5432:*:postgres:motdepassetrèslong
```

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` :

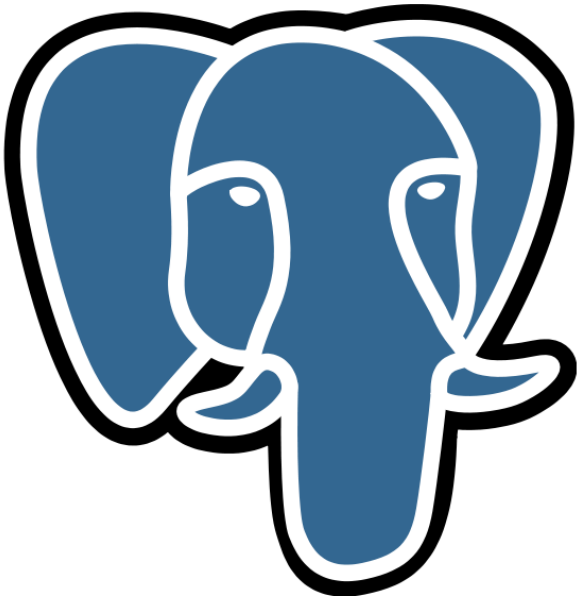
```
export PGUSER=postgres
export PGDATABASE=postgres
export PGHOST=localhost
```

**Rappels** :

- en cas de problème, consulter les traces (dans `/var/lib/pgsql/16/data/log` ou `/var/log/postgresql/`) ;
- toute modification de `pg_hba.conf` ou `postgresql.conf` impliquant de recharger la configuration peut être réalisée par une de ces trois méthodes en fonction du système :

```
root:~# systemctl reload postgresql-16

root:~# pg_ctlcluster 16 main reload

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

# 2/ Indexation avancée



## 2.1 INDEX AVANCÉS

De nombreuses fonctionnalités d'indexation sont disponibles dans PostgreSQL :

- Index B-tree
  - multicolonnes
  - fonctionnels
  - partiels
  - couvrants
- Classes d'opérateurs
- Indexation GIN, GiST, BRIN, hash, bloom
- Indexation de motifs
- Indexation multicolonne

PostgreSQL fournit de nombreux types d'index, afin de répondre à des problématiques de recherches complexes.

## 2.2 INDEX B-TREE (RAPPELS)

- Index B-tree fonctionnel, multicolonne, partiel, couvrant :
  - requête cible :

```
SELECT col4 FROM ma_table
WHERE col3<12 and f(col1)=7 and col2 LIKE 'toto%' ;
```

  - index dédié :

```
CREATE INDEX idx_adv ON ma_table (f(col1), col2 varchar_pattern_ops)
INCLUDE (col4) WHERE col3<12 ;
```

- Rappel : un index est coûteux à maintenir !

Rappelons que l'index classique est créé comme ceci :

```
CREATE INDEX mon_index ON ma_table(ma_colonne) ;
```

B-tree (en arbre équilibré) est le type d'index le plus fréquemment utilisé.

Toutes les fonctionnalités vues précédemment peuvent être utilisées simultanément. Il est parfois tentant de créer des index très spécialisés grâce à toutes ces fonctionnalités, comme dans l'exemple ci-dessus. Mais il ne faut surtout pas perdre de vue qu'un index est une structure lourde à mettre à jour, comparativement à une table. Une table avec un seul index est environ 3 fois plus lente qu'une table nue, et chaque index ajoute le même surcoût. Il est donc souvent plus judicieux d'avoir des index pouvant répondre à plusieurs requêtes différentes, et de ne pas trop les spécialiser. Il faut trouver un juste compromis entre le gain à la lecture et le surcoût à la mise à jour.

## 2.3 INDEX GIN

Un autre type d'index

- Définition
- Utilisation avec des données non structurées
- Utilisation avec des données scalaires
- Mise à jour

Les index B-tree sont les plus utilisés, mais PostgreSQL propose d'autres types d'index. Le type GIN est l'un des plus connus.

### 2.3.1 GIN : définition & données non structurées

GIN : *Generalized Inverted iNdex*

- Index inversé généralisé
  - les champs sont décomposés en éléments (par API)
  - l'index associe une valeur à la liste de ses adresses
- Pour chaque entrée du tableau
  - liste d'adresses où le trouver
- Utilisation principale : données non scalaires
  - tableaux, listes, non structurées…

Un index inversé est une structure classique, utilisée le plus souvent dans l'indexation *Full Text*. Le principe est de décomposer un document en sous-structures, et ce sont ces éléments qui seront indexées. Par exemple, un document sera décomposé en la liste de ses mots, et chaque mot sera une clé de l'index. Cette clé fournira la liste des documents contenant ce mot. C'est l'inverse d'un index B-tree classique, qui va lister chacune des occurrences d'une valeur et y associer sa localisation.

Par analogie : dans un livre de cuisine, un index classique permettrait de chercher « Crêpes au caramel à l'armagnac » et « Sauce caramel et beurre salé », alors qu'un index GIN contiendrait « caramel », « crêpes », « armagnac », « sauce », « beurre »…

Pour plus de détails sur la structure elle-même, cet article Wikipédia[1] est une lecture conseillée.

Dans l'implémentation de PostgreSQL, un index GIN est construit autour d'un index B-tree des éléments indexés, et à chacun est associé soit une simple liste de pointeurs vers la table (*posting list*)

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Index_invers%C3%A9

pour les petites listes, soit un pointeur vers un arbre B-tree contenant ces pointeurs (*posting tree*). La *pending list* est une optimisation des écritures (voir plus bas).

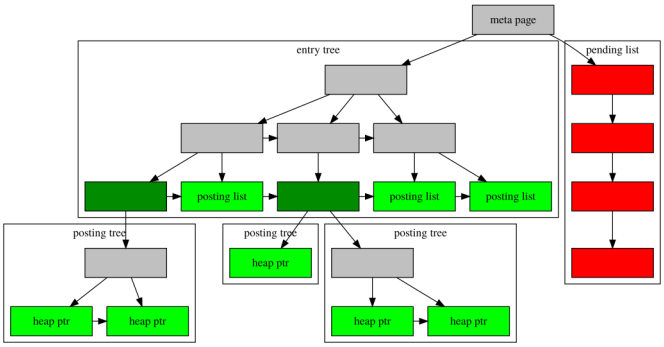



**Figure 2/ .1:** Schéma des index GIN (documentation officielle de PostgreSQL, licence PostgreSQL)

Les index GIN de PostgreSQL sont « généralisés », car ils sont capables d'indexer n'importe quel type de données, à partir du moment où on leur fournit les différentes fonctions d'API permettant le découpage et le stockage des différents *items* composant la donnée à indexer. En pratique, ce sont les opérateurs indiqués à la création de l'index, parfois implicites, qui contiendront la logique nécessaire.

Les index GIN sont des structures lentes à la mise à jour. Par contre, elles sont extrêmement efficaces pour les interrogations multicritères, ce qui les rend très appropriées pour l'indexation *Full Text*, des champs `jsonb`…

### 2.3.2 GIN et les tableaux

Quels tableaux contiennent une valeur donnée ?

- Opérateurs : `@>`, `<@`, `=`, `&&`, `?`, `?|`, `?&`

```
SELECT * FROM matable WHERE a @> ARRAY[42] ;

CREATE INDEX ON tablo USING gin (a);
```

- Champs concaténés : transformer en tableaux

```
SELECT * FROM voitures
WHERE regexp_split_to_array(caracteristiques,',')
          @> '{"toit ouvrant","climatisation"}'  ;

CREATE INDEX idx_attributs_array ON voitures
USING gin ( regexp_split_to_array(caracteristiques,',') ) ;
```

**GIN et champ structuré** :

Comme premier exemple d'indexation d'un champ structuré, prenons une table listant des voitures[2], dont un champ `caracteristiques` contient une liste d'attributs séparés par des virgules. Ceci ne respecte bien entendu pas la première forme normale.

Cette liste peut être transformée facilement en tableau avec `regexp_split_to_array`. Des opérateurs de manipulation peuvent alors être utilisés, comme : `@>` (contient), `<@` (contenu par), `&&` (a des éléments en communs). Par exemple, pour chercher les voitures possédant deux caractéristiques données, la requête est :

```
SELECT * FROM voitures
WHERE regexp_split_to_array(caracteristiques,',')
      @> '{"toit ouvrant","climatisation"}'    ;
```

```
 immatriculation | modele |                      caracteristiques
-----------------+--------+-----------------------------------------------------
 XB-025-PH       | clio   | toit ouvrant,climatisation
 RC-561-BI       | megane | regulateur de vitesse,boite automatique,
                 |        | toit ouvrant,climatisation,…
 LU-190-KO       | megane | toit ouvrant,climatisation,4 roues motrices
 SV-193-YR       | megane | climatisation,abs,toit ouvrant
 FG-432-FZ       | kangoo | climatisation,jantes aluminium,regulateur de vitesse,
                 |        | toit ouvrant
 …
```

avec ce plan :

```
                                QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------------
Seq Scan on voitures  (cost=0.00..1406.20 rows=1 width=96)
  Filter: (regexp_split_to_array(caracteristiques, ','::text) @> '{"toit
↪  ouvrant",climatisation}'::text[])
```

Pour accélérer la recherche, le tableau de textes peut être directement indexé avec un index GIN, ici un index fonctionnel :

```
CREATE INDEX idx_attributs_array ON voitures
USING gin (regexp_split_to_array(caracteristiques,',')) ;
```

On ne précise pas d'opérateur, celui par défaut pour les tableaux convient.

Le plan devient :

```
 Bitmap Heap Scan on voitures  (cost=40.02..47.73 rows=2 width=96)
   Recheck Cond: (regexp_split_to_array(caracteristiques, ','::text) @> '{"toit
↪  ouvrant",climatisation}'::text[])
   ->  Bitmap Index Scan on idx_attributs_array  (cost=0.00..40.02 rows=2 width=0)
         Index Cond: (regexp_split_to_array(caracteristiques, ','::text) @> '{"toit
↪  ouvrant",climatisation}'::text[])
```

**GIN et tableau** :

GIN supporte nativement les tableaux des types scalaires (`int`, `float`, `text`, `date`…) :

```
CREATE TABLE tablo (i int, a int[]) ;
INSERT INTO tablo SELECT i, ARRAY[i, i+1] FROM generate_series(1,100000) i ;
```

[2] https://dali.bo/tp_voitures

Un index B-tree classique permet de rechercher un tableau identique à un autre, mais pas de chercher un tableau qui contient une valeur scalaire **à l'intérieur** du tableau :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM tablo WHERE a = ARRAY[42,43] ;
```

```
                  QUERY PLAN
-----------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on tablo
   Recheck Cond: (a = '{42,43}'::integer[])
   ->  Bitmap Index Scan on tablo_a_idx
         Index Cond: (a = '{42,43}'::integer[])
```

```
SELECT * FROM tablo WHERE a @> ARRAY[42] ;
```

```
 i  |    a
----+---------
 41 | {41,42}
 42 | {42,43}
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF) SELECT * FROM tablo WHERE a @> ARRAY[42] ;
```

```
                          QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------
 Seq Scan on tablo (actual time=0.023..19.322 rows=2 loops=1)
   Filter: (a @> '{42}'::integer[])
   Rows Removed by Filter: 99998
   Buffers: shared hit=834
 Planning:
   Buffers: shared hit=6 dirtied=1
 Planning Time: 0.107 ms
 Execution Time: 19.337 ms
```

L'indexation GIN permet de chercher des valeurs figurant **à l'intérieur** des champs indexés :

```
CREATE INDEX ON tablo USING gin (a);
```

pour un résultat beaucoup plus efficace :

```
 Bitmap Heap Scan on tablo (actual time=0.010..0.010 rows=2 loops=1)
   Recheck Cond: (a @> '{42}'::integer[])
   Heap Blocks: exact=1
   Buffers: shared hit=5
   ->  Bitmap Index Scan on tablo_a_idx1 (actual time=0.007..0.007 rows=2 loops=1)
         Index Cond: (a @> '{42}'::integer[])
         Buffers: shared hit=4
 Planning:
   Buffers: shared hit=23
 Planning Time: 0.121 ms
 Execution Time: 0.023 ms
```

### 2.3.3 GIN pour les JSON et les textes

- JSON :
  - opérateur `jsonb_path_ops` ou `jsonb_ops`
- Indexation de trigrammes
  - extensions `pg_trgm` (opérateur dédié `gin_trgm_ops`)
- Recherche *Full Text*
  - indexe les vecteurs

Le principe est le même pour des JSON, s'ils sont bien stockés dans un champ de type `jsonb`. Les recherches de l'existence d'une clé à la racine du document ou tableau JSON sont réalisées avec les opérateurs `?`, `?|` et `?&`.

```
SELECT x, x ? 'b' AS "b existe", x ? 'c' AS "c existe"
FROM (VALUES ('{ "b" : { "c" : "ccc" }}'::jsonb)) AS F(x) ;
```

```
          x          | b existe | c existe
---------------------+----------+----------
 {"b": {"c": "ccc"}} | t        | f
```

Les recherches sur la présence d'une valeur dans un document JSON avec les opérateurs `@>`, `@?` ou `@@` peuvent être réalisées avec la classe d'opérateur par défaut (`json_ops`), mais aussi la classe d'opérateur `jsonb_path_ops`, donc au choix :

```
CREATE INDEX idx_prs ON personnes USING gin (proprietes jsonb_ops) ;

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

La classe `jsonb_path_ops` est plus performante pour ce genre de recherche et génère des index plus compacts lorsque les clés apparaissent fréquemment dans les données. Par contre, elle ne permet pas d'effectuer efficacement des recherches de structure JSON vide du type : `{ "a" : {} }`. Dans ce dernier cas, PostgreSQL devra faire, au mieux, un parcours de l'index complet, au pire un parcours séquentiel de la table. Le choix de la meilleure classe pour l'index dépend fortement de la typologie des données.

La documentation officielle[3] entre plus dans le détail.

L'extension `pg_trgm` utilise aussi les index GIN, pour permettre des recherches de type :

```
SELECT * FROM ma_table
WHERE ma_col_texte LIKE '%ma_chaine1%ma_chaine2%' ;
```

[3] https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html#JSON-INDEXING

L'extension fournit un opérateur dédié pour l'indexation (voir plus loin).

La recherche *Full Text* est généralement couplée à un index GIN pour indexer les `tsvector` (voir le module T1[4]).

### 2.3.4 GIN & données scalaires

- Données scalaires aussi possibles
  - avec l'extension `btree_gin`
- GIN compresse quand les données se répètent
  - alternative à bitmap !

Grâce à l'extension `btree_gin`, fournie avec PostgreSQL, l'indexation GIN peut aussi s'appliquer aux scalaires. Il est ainsi possible d'indexer un ensemble de colonnes, par exemple d'entiers ou de textes (voir exemple plus loin). Cela peut servir dans les cas où une requête multicritères peut porter sur de nombreux champs différents, dont aucun n'est obligatoire. Un index B-tree est là moins adapté, voire inutilisable.

Un autre cas d'utilisation traditionnel est celui des index dits *bitmap*. Les index bitmap sont très compacts, mais ne permettent d'indexer que peu de valeurs différentes. Un index bitmap est une structure utilisant 1 bit par enregistrement pour chaque valeur indexable. Par exemple, on peut définir un index bitmap sur le sexe : deux valeurs seulement (voire quatre si on autorise NULL ou non-binaire) sont possibles. Indexer un enregistrement nécessitera donc un ou deux bits. Le défaut des index *bitmap* est que l'ajout de nouvelles valeurs est très peu performant car l'index nécessite d'importantes réécritures à chaque ajout. De plus, l'ajout de données provoque une dégradation des performances puisque la taille par enregistrement devient bien plus grosse.

Les index GIN permettent un fonctionnement sensiblement équivalent au *bitmap* : chaque valeur indexable contient la liste des enregistrements répondant au critère, et cette liste a l'intérêt d'être compressée. Par exemple, sur une base créée avec pgbench, de taille 100, avec les options par défaut :

```
CREATE EXTENSION btree_gin ;

CREATE INDEX pgbench_accounts_gin_idx on pgbench_accounts USING gin (bid);

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS,COSTS OFF) SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE bid=5 ;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on pgbench_accounts (actual time=7.505..19.931 rows=100000 loops=1)
   Recheck Cond: (bid = 5)
   Heap Blocks: exact=1640
```

[4] https://dali.bo/t1_html

```
   Buffers: shared hit=1657
   ->  Bitmap Index Scan on pgbench_accounts_gin_idx (actual time=7.245..7.245
↪  rows=100000 loops=1)
         Index Cond: (bid = 5)
         Buffers: shared hit=17
 Planning:
   Buffers: shared hit=2
 Planning Time: 0.080 ms
 Execution Time: 24.090 ms
```

Dans ce cas précis qui renvoie de nombreuses lignes, l'utilisation du GIN est même aussi efficace que le B-tree ci-dessous, car l'index GIN est mieux compressé et a besoin de lire moins de blocs :

```
CREATE INDEX pgbench_accounts_btree_idx ON pgbench_accounts (bid);

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS,COSTS OFF) SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE bid=5 ;
```

```
                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Index Scan using pgbench_accounts_btree_idx on pgbench_accounts (actual
↪  time=0.008..19.138 rows=100000 loops=1)
   Index Cond: (bid = 5)
   Buffers: shared hit=1728
 Planning:
   Buffers: shared hit=18
 Planning Time: 0.117 ms
 Execution Time: 23.369 ms
```

L'index GIN est en effet environ 5 fois plus compact que le B-tree dans cet exemple simple, avec 100 valeurs distinctes de `bid` :

```
pgbench_300=# \di+ pgbench_accounts_*
                    Liste des relations
 Schéma |             Nom              | … | Méthode d'accès | Taille | Description
--------+------------------------------+---+-----------------+--------+-------------
 public | pgbench_accounts_bid_idx     | … | btree           | 66 MB  |
 public | pgbench_accounts_gin_idx     | … | gin             | 12 MB  |
```

Ce ne serait pas le cas avec des valeurs toutes différentes. (Avant la version 13, la différence de taille est encore plus importante car les index B-tree ne disposent pas encore de la déduplication des clés.)

Avant de déployer un index GIN, il faut vérifier l'impact du GIN sur les performances en insertions et mises à jour et l'impact sur les requêtes.

### 2.3.5 GIN : mise à jour

- Création lourde
  - `maintenance_work_mem` élevé
- Mise à jour lente
  - d'où l'option `fastupdate`
  - … à désactiver si temps de réponse instable !

Les index GIN sont lourds à créer et à mettre à jour. Une valeur élevée de `maintenance_work_mem` est conseillée.

L'option `fastupdate` permet une mise à jour bien plus rapide. Elle est activée par défaut. PostgreSQL stocke alors les mises à jour de l'index dans une *pending list* qui est intégrée en bloc, notamment lors d'un `VACUUM`. Sa taille peut être modifiée par le paramètre `gin_pending_list_limit`, par défaut à 4 Mo, et au besoin surchargeable sur chaque index.

L'inconvénient de cette technique est que le temps de réponse de l'index devient instable : certaines recherches peuvent être très rapides et d'autres très lentes. Le seul moyen d'accélérer ces recherches est de désactiver `fastupdate`. Cela permet en plus d'éviter la double écriture dans les journaux de transactions. Mais il y a un impact : les mises à jour de l'index sont bien plus lentes.

Il faut donc faire un choix. Si l'on conserve l'option `fastupdate`, il faut surveiller la fréquence de passage de l'autovacuum. L'appel manuel à la fonction `gin_clean_pending_list()` est une autre option.

Pour les détails, voir la documentation[5].

[5] https://www.postgresql.org/docs/current/static/gin-implementation.html#GIN-FAST-UPDATE%3E

## 2.4 INDEX GIST

GiST : *Generalized Search Tree*

- Arbre de recherche généralisé
- Indexation non plus des valeurs mais de la véracité de prédicats
- Moins performants que B-tree (moins sélectifs)
- Moins lourds que GIN

Initialement, les index GiST sont un produit de la recherche de l'université de Berkeley. L'idée fondamentale est de pouvoir indexer non plus les valeurs dans l'arbre B-tree, mais plutôt la véracité d'un prédicat : « *ce prédicat est vrai sur telle sous-branche* ». On dispose donc d'une API permettant au type de données d'informer le moteur GiST d'informations comme : « *quel est le résultat de la fusion de tel et tel prédicat* » (pour pouvoir déterminer le prédicat du nœud parent), quel est le surcoût d'ajout de tel prédicat dans telle ou telle partie de l'arbre, comment réaliser un *split* (découpage) d'une page d'index, déterminer la distance entre deux prédicats, etc.

Tout ceci est très virtuel, et rarement re-développé par les utilisateurs. Par contre, certaines extensions et outils intégrés utilisent ce mécanisme.

Il faut retenir qu'un index GiST est moins performant qu'un B-tree si ce dernier est possible.

L'utilisation se recoupant en partie avec les index GIN, il faut noter que :

- les index GiST ont moins tendance à se fragmenter que les GIN, même si cela dépend énormément du type de mises à jour ;
- les index GiST sont moins lourds à maintenir ;
- mais généralement moins performants.

### 2.4.1 GiST : cas d'usage

Le GiST indexe à peu près n'importe quoi

- géométries (PostGIS)
- intervalles, adresses IP, FTS…

D'autres usages recouvrent en partie ceux de GIN.

Un index GiST permet d'indexer n'importe quoi, quelle que soit la dimension, le type, tant qu'on peut utiliser des prédicats sur ce type.

Il est disponible pour les types natifs suivants :

- géométriques (`box`, `circle`, `point`, `poly`) : le projet PostGIS utilise les index GiST massivement, pour répondre efficacement à des questions complexes telles que « *quelles sont les*

*routes qui coupent le Rhône ?* », « *quelles sont les villes adjacentes à Toulouse ?* », « *quels sont les restaurants situés à moins de 3 km de la Nationale 12 ?* » ;
- `range` (d'`int`, de `timestamp`…) ;
- adresses IP/CIDR.
- *Full Text Search*.

Une partie des cas d'utilisation des index GiST recouvre ceux des index GIN. Nous verrons que les index GiST sont notamment utilisés par :

- les contraintes d'exclusion ;
- les recherches multicolonnes ;
- l'extension `pg_trgm` (dans ce cas, GiST est moins efficace que GIN pour la recherche exacte, mais permet de rapidement trouver les N enregistrements les plus proches d'une chaîne donnée, sans tri, et est plus compact).

### 2.4.2 GiST & KNN

- **KNN** = *K-Nearest neighbours* (K-plus proches voisins)
  - c'est-à-dire :

```
SELECT …
ORDER BY ma_colonne <-> une_référence LIMIT 10 ;
```

- Très utile pour la recherche de mots ressemblants, géographique
  - Exemple :

```
SELECT   p, p <-> point(18,36)
FROM     mes_points
ORDER BY p <-> point(18, 36)
LIMIT    4 ;
```

Les index GiST supportent les requêtes de type *K-plus proche voisins*, et permettent donc de répondre extrêmement rapidement à des requêtes telles que :

- quels sont les dix restaurants les plus proches d'un point particulier ?
- quels sont les 5 mots ressemblant le plus à « éphélant » ? afin de proposer des corrections à un utilisateur ayant commis une faute de frappe (par exemple).

Une convention veut que l'opérateur distance soit généralement nommé « `<->` », mais rien n'impose ce choix.

On peut prendre l'exemple d'indexation ci-dessus, avec le type natif `point` :

```
CREATE TABLE mes_points (p point);

INSERT INTO mes_points (SELECT point(i, j)
```

```
FROM generate_series(1, 100) i, generate_series(1,100) j WHERE random() > 0.8);

CREATE INDEX ON mes_points USING gist (p);
```

Pour trouver les 4 points les plus proches du point ayant pour coordonnées (18,36), on peut utiliser la requête suivante :

```
SELECT p,
       p <-> point(18,36)
FROM   mes_points
ORDER BY p <-> point(18, 36)
LIMIT 4;
```

```
    p    |     ?column?
---------+------------------
 (18,37) |                1
 (18,35) |                1
 (16,36) |                2
 (16,35) | 2.23606797749979
```

Cette requête utilise bien l'index GiST créé plus haut :

```
                          QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------
 Limit  (cost=0.14..0.49 rows=4 width=16)
        (actual time=0.049..0.052 rows=4 loops=1)
   ->  Index Scan using mes_points_p_idx on mes_points
            (cost=0.14..176.72 rows=2029 width=16)
            (actual time=0.047..0.049 rows=4 loops=1)
         Order By: (p <-> '(18,36)'::point)
 Planning time: 0.050 ms
 Execution time: 0.075 ms
```

Les index SP-GiST sont compatibles avec ce type de recherche depuis la version 12.

### 2.4.3 GiST & Contraintes d'exclusion

Contrainte d'exclusion : une extension du concept d'unicité

- Unicité :
  - `n-uplet1 = n-uplet2` interdit dans une table
- Contrainte d'exclusion :
  - `n-uplet1 op n-uplet2` interdit dans une table
  - `op` est n'importe quel opérateur indexable par GiST
  - Exemple :

```
CREATE TABLE circles
    ( c circle,
      EXCLUDE USING gist (c WITH &&));
```

  - Exemple : réservations de salles

**Premiers exemples :**

Les contraintes d'unicité sont une forme simple de contraintes d'exclusion. Si on prend l'exemple :

```
CREATE TABLE foo (
    id int,
    nom text,
    EXCLUDE (id WITH =)
);
```

cette déclaration est équivalente à une contrainte UNIQUE sur `foo.id`, mais avec le mécanisme des contraintes d'exclusion. Ici, la contrainte s'appuie toujours sur un index B-tree. Les NULL sont toujours permis, exactement comme avec une contrainte UNIQUE.

On peut également poser une contrainte unique sur plusieurs colonnes :

```
CREATE TABLE foo (
    nom text,
    naissance date,
    EXCLUDE (nom WITH =, naissance WITH =)
);
```

**Intérêt :**

L'intérêt des contraintes d'exclusion est qu'on peut utiliser des index d'un autre type que les B-tree, comme les GiST ou les hash, et surtout des opérateurs autres que l'égalité, ce qui permet de couvrir des cas que les contraintes habituelles ne savent pas traiter.

Par exemple, une contrainte UNIQUE ne permet pas d'interdire que deux enregistrements de type intervalle aient des bornes qui se chevauchent. Cependant, il est possible de le faire avec une contrainte d'exclusion.

**Exemples :**

L'exemple suivante implémente la contrainte que deux objets de type `circle` (cercle) ne se chevauchent pas. Or ce type ne s'indexe qu'avec du GiST :

```
CREATE TABLE circles (
    c circle,
    EXCLUDE USING gist (c WITH &&)
);
INSERT INTO circles(c) VALUES ('10, 4, 10');
INSERT INTO circles(c) VALUES ('8, 3, 8');

ERROR:  conflicting key value violates exclusion constraint "circles_c_excl"
DETAIL : Key (c)=(<(8,3),8>) conflicts with existing key (c)=(<(10,4),10>).
```

Un autre exemple très fréquemment proposé est celui de la réservation de salles de cours sur des plages horaires qui ne doivent pas se chevaucher :

```
CREATE TABLE reservation
(
  salle      TEXT,
  professeur TEXT,
  durant    tstzrange);

CREATE EXTENSION btree_gist ;

ALTER TABLE reservation ADD CONSTRAINT test_exclude EXCLUDE
USING gist (salle WITH =,durant WITH &&);

INSERT INTO reservation (professeur,salle,durant) VALUES
( 'marc', 'salle techno', '[2010-06-16 09:00:00, 2010-06-16 10:00:00)');
INSERT INTO reservation (professeur,salle,durant) VALUES
( 'jean', 'salle techno', '[2010-06-16 10:00:00, 2010-06-16 11:00:00)');
INSERT INTO reservation (professeur,salle,durant) VALUES
( 'jean', 'salle informatique', '[2010-06-16 10:00:00, 2010-06-16 11:00:00)');

INSERT INTO reservation (professeur,salle,durant) VALUES
( 'michel', 'salle techno', '[2010-06-16 10:30:00, 2010-06-16 11:00:00)');

ERROR:  conflicting key value violates exclusion constraint "test_exclude"
DETAIL : Key (salle, durant)=(salle techno,
              ["2010-06-16 10:30:00+02","2010-06-16 11:00:00+02"))
         conflicts with existing key
         (salle, durant)=(salle techno,
                          ["2010-06-16 10:00:00+02","2010-06-16 11:00:00+02")).
```

On notera que, là encore, l'extension `btree_gist` permet d'utiliser l'opérateur `=` avec un index GiST, ce qui nous permet d'utiliser `=` dans une contrainte d'exclusion.

Cet exemple illustre la puissance du mécanisme. Il est quasiment impossible de réaliser la même opération sans contrainte d'exclusion, à part en verrouillant intégralement la table, ou en utilisant le mode d'isolation *serializable*, qui a de nombreuses implications plus profondes sur le fonctionnement de l'application.

**Autres fonctionnalités** :

Enfin, précisons que les contraintes d'exclusion supportent toutes les fonctionnalités avancées que l'on est en droit d'attendre d'un système comme PostgreSQL : mode différé (*deferred*), application de la contrainte à un sous-ensemble de la table (permet une clause `WHERE`), ou utilisation de fonctions/expressions en place de références de colonnes.

## 2.5 GIN, GIST & PG_TRGM

- Indexation des recherches `LIKE '%critère%'`
- Similarité basée sur des trigrammes

```
CREATE EXTENSION pg_trgm;
SELECT similarity('bonjour','bnojour');

 similarity
------------
   0.333333
```

- Indexation (GIN ou GiST) :

```
CREATE INDEX test_trgm_idx ON test_trgm
  USING gist (text_data gist_trgm_ops);
```

Ce module permet de décomposer en trigramme les chaînes qui lui sont proposées :

```
 SELECT show_trgm('hello');

            show_trgm
 ---------------------------------
  {"  h","  he",ell,hel,llo,"lo "}
```

Une fois les trigrammes indexés, on peut réaliser de la recherche floue, ou utiliser des clauses `LIKE` malgré la présence de jokers (`%`) n'importe où dans la chaîne. À l'inverse, les indexations simples, de type B-tree, ne permettent des recherches efficaces que dans un cas particulier : si le seul joker de la chaîne est à la fin de celle ci (`LIKE 'hello%'` par exemple). Contrairement à la *Full Text Search*, la recherche par trigrammes ne réclame aucune modification des requêtes.

```
CREATE EXTENSION pg_trgm;

CREATE TABLE test_trgm (text_data text);

INSERT INTO test_trgm(text_data)
VALUES ('hello'), ('hello everybody'),
('helo young man'),('hallo!'),('HELLO !');
INSERT INTO test_trgm SELECT 'hola' FROM generate_series(1,1000);

CREATE INDEX test_trgm_idx ON test_trgm
  USING gist (text_data gist_trgm_ops);

SELECT text_data FROM test_trgm
 WHERE text_data like '%hello%';

    text_data
-----------------
```

```
 hello
 hello everybody
```

Cette dernière requête passe par l'index `test_trgm_idx`, malgré le `%` initial :

```
EXPLAIN (ANALYZE)
SELECT text_data FROM test_trgm
WHERE  text_data like '%hello%' ;
```

```
                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
Index Scan using test_trgm_gist_idx on test_trgm
   (cost=0.41..0.63 rows=1 width=8) (actual time=0.174..0.204 rows=2 loops=1)
   Index Cond: (text_data ~~ '%hello%'::text)
   Rows Removed by Index Recheck: 1
 Planning time: 0.202 ms
 Execution time: 0.250 ms
```

On peut aussi utiliser un index GIN (comme pour le *Full Text Search*). Les index GIN ont l'avantage d'être plus efficaces pour les recherches exhaustives. Mais l'indexation pour la recherche des k éléments les plus proches (on parle de recherche k-NN) n'est disponible qu'avec les index GiST .

```
SELECT text_data, text_data <-> 'hello'
 FROM test_trgm
 ORDER BY text_data <-> 'hello'
 LIMIT 4;
```

nous retourne par exemple les deux enregistrements les plus proches de « hello » dans la table `test_trgm`.

## 2.6 INDEXATION MULTICOLONNE : GIN, GIST & BLOOM

- Multicolonne dans n'importe quel ordre
- GIN ou GiST
  - extensions `btree_gist` ou `btree_gin`
- Ou bloom ?
- Quel est le meilleur ?
  - ça dépend…

GiST comme GIN sont intéressants si on a besoin d'indexer plusieurs colonnes, sans trop savoir quelles colonnes seront interrogées.

Pour indexer des scalaires, il faut utiliser les extensions `btree_gist` ou `btree_gin`.

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS btree_gist ;
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS btree_gin ;
```

Ce premier jeu de données utilisera des données qui se répètent beaucoup (de basse cardinalité) et les requêtes ramèneront de nombreuses lignes :

```
CREATE TABLE demo_gist (n int, i int, j int, k int, l int,
                        filler char(50) default ' ') ;
CREATE TABLE demo_gin  (n int, i int, j int, k int, l int,
                        filler char(50) default ' ') ;
CREATE INDEX demo_gist_idx ON demo_gist USING gist (i,j,k,l) ;
CREATE INDEX demo_gin_idx ON demo_gin USING gin (i,j,k,l) ;

INSERT INTO demo_gist
SELECT n, mod(n,37) AS i, mod(n,53) AS j, mod (n, 97) AS k, mod(n,229) AS l
FROM generate_series (1,1000000) n ;

INSERT INTO demo_gin
SELECT n, mod(n,37) AS i, mod(n,53) AS j, mod (n, 97) AS k, mod(n,229) AS l
FROM generate_series (1,1000000) n ;
```

Même en ne fournissant pas la première colonne des index, les index GIN et GiST sont utilisables :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM demo_gist WHERE j=17 AND l=17  ;
```

```
                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demo_gist (actual time=1.615..1.662 rows=83 loops=1)
   Recheck Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
   Heap Blocks: exact=83
   Buffers: shared hit=434
   ->  Bitmap Index Scan on demo_gist_i_j_k_l_idx (actual time=1.607..1.607 rows=83
↪  loops=1)
```

```
         Index Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
         Buffers: shared hit=351
 Planning Time: 0.026 ms
 Execution Time: 1.673 ms

EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM demo_gin WHERE j=17 AND l=17  ;

Bitmap Heap Scan on demo_gin (actual time=0.436..0.491 rows=83 loops=1)
   Recheck Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
   Heap Blocks: exact=83
   Buffers: shared hit=100
   ->  Bitmap Index Scan on demo_gin_i_j_k_l_idx (actual time=0.427..0.427 rows=83
 ↪  loops=1)
         Index Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
         Buffers: shared hit=17
 Planning:
   Buffers: shared hit=1
 Planning Time: 0.031 ms
 Execution Time: 0.503 ms
```

Le GIN est ici plus efficace car le nombre de blocs d'index balayés est plus bas. En effet, avec une basse cardinalité, la compression du GIN joue à plein. (Pour ces tables identiques de 97 Mo sous PostgreSQL 16, l'index GiST fait 62 Mo, et le GIN 19 Mo seulement.)

Si la première colonne `i` était systématiquement fournie à la requête, on pourrait se contenter d'un index B-tree (30 Mo ici) ; mais il serait peu efficace pour les autres requêtes : la requête précédente donnerait souvent lieu à un *Seq Scan* parallélisé, bien que parfois un *Bitmap Scan* puisse apparaître avec des performances satisfaisantes.

Toujours dans ce cas précis, le temps de création de l'index GIN est aussi meilleur que le GiST d'un facteur deux au moins (et équivalent au B-tree), mais ce temps est très sensible à la valeur de `maintenance_work_mem`.

À l'inverse, le GiST est bien plus performant que le GIN dans d'autres types de requêtes commme celle-ci avec `BETWEEN` :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM demo_gist
WHERE j BETWEEN 17 AND 21 AND l BETWEEN 17 AND 21  ;

                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demo_gist (actual time=8.419..8.895 rows=2059 loops=1)
   Recheck Cond: ((j >= 17) AND (j <= 21) AND (l >= 17) AND (l <= 21))
   Heap Blocks: exact=757
   Buffers: shared hit=1744
   ->  Bitmap Index Scan on demo_gist_i_j_k_l_idx (actual time=8.355..8.355
 ↪  rows=2059 loops=1)
         Index Cond: ((j >= 17) AND (j <= 21) AND (l >= 17) AND (l <= 21))
         Buffers: shared hit=987
 Planning Time: 0.030 ms
 Execution Time: 8.958 ms
```

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM demo_gin
WHERE j BETWEEN 17 AND 21 AND l BETWEEN 17 AND 21  ;

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demo_gin (actual time=68.281..69.313 rows=2059 loops=1)
   Recheck Cond: ((j >= 17) AND (j <= 21) AND (l >= 17) AND (l <= 21))
   Heap Blocks: exact=757
   Buffers: shared hit=1760
   ->  Bitmap Index Scan on demo_gin_i_j_k_l_idx (actual time=68.174..68.174
↪  rows=2059 loops=1)
         Index Cond: ((j >= 17) AND (j <= 21) AND (l >= 17) AND (l <= 21))
         Buffers: shared hit=1003
 Planning:
   Buffers: shared hit=1
 Planning Time: 0.056 ms
 Execution Time: 69.435 ms
```

Un index GiST permet aussi l'*Index Scan* et parfois l'*Index Only Scan*, au contraire d'un index GIN, qui se limitera toujours à un *Bitmap Scan*. L'intérêt varie selon les requêtes :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT j,l FROM demo_gist WHERE j=17 AND l=17 ;

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Index Only Scan using demo_gist_i_j_k_l_idx on demo_gist (actual time=0.043..1.563
↪  rows=83 loops=1)
   Index Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
   Heap Fetches: 0
   Buffers: shared hit=352
 Planning Time: 0.024 ms
 Execution Time: 1.572 ms

EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT j,l FROM demo_gin WHERE j=17 AND l=17 ;

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demo_gin (actual time=0.699..0.796 rows=83 loops=1)
   Recheck Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
   Heap Blocks: exact=83
   Buffers: shared hit=100
   ->  Bitmap Index Scan on demo_gin_i_j_k_l_idx (actual time=0.683..0.683 rows=83
↪  loops=1)
         Index Cond: ((j = 17) AND (l = 17))
         Buffers: shared hit=17
 Planning:
   Buffers: shared hit=1
 Planning Time: 0.069 ms
 Execution Time: 0.819 ms
```

Si la cardinalité est élevée (les données sont toutes différentes), l'index GIN perd son avantage en taille. En effet, si l'on remplace les données précédentes par un jeu de données toutes différentes :

```
TRUNCATE TABLE demo_gin ;
TRUNCATE TABLE demo_gist ;
INSERT INTO demo_gin
SELECT n, n AS i, 100e6+n AS j, 200e6+n AS k, 300e6+n AS l
FROM generate_series (1,1000000) n ;
INSERT INTO demo_gist
SELECT n, n AS i, 100e6+n AS j, 200e6+n AS k, 300e6+n AS l
FROM generate_series (1,1000000) n ;
```

la taille de l'index GIN passe à 218 Mo (plus que la table), alors que l'index GiST ne monte qu'à 85 Mo (et un index B-tree resterait à 30 Mo). Cela ne rend pas forcément l'index GIN moins efficace dans l'absolu, mais a un effet défavorable sur le cache.

**Index bloom** :

Il existe encore un type d'index, rarement utilisé : l'index Bloom[6], qui réclame l'installation de l'extension `bloom` (livrée avec PostgreSQL). Cet index est basé sur les filtres bloom[7], de nature probabiliste. Les lignes retournées par l'index doivent être revérifiées dans la table, ce qui impose un *Recheck* systématique. L'index est rapide à générer, et encore plus petit que les index ci-dessus (15 Mo ici), mais cet index doit être complètement parcouru. Les performances sont donc moins bonnes qu'avec GiST ou GIN. Il est aussi limité aux entiers et chaînes de caractères, et à une recherche sur l'égalité (donc il est inadapaté aux critères `BETWEEN` et `LIKE`). Si ses performances suffisent, un index bloom peut être utile dans le cas où de nombreuses colonnes sont susceptibles d'être interrogées, car il évite de créer d'autres index B-tree ou GIN coûteux en place. Sur une table identique à celles ci-dessus, le plan est :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM demo_bloom WHERE j=100000017 AND l=300000017  ;

                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demo_bloom (actual time=3.732..3.753 rows=1 loops=1)
   Recheck Cond: ((j = 100000017) AND (l = 300000017))
   Rows Removed by Index Recheck: 27
   Heap Blocks: exact=28
   Buffers: shared hit=1961 read=28
   ->  Bitmap Index Scan on demo_bloom_i_j_k_l_idx (actual time=3.721..3.722 rows=28
↪  loops=1)
         Index Cond: ((j = 100000017) AND (l = 300000017))
         Buffers: shared hit=1933 read=28
 Planning Time: 0.042 ms
 Execution Time: 3.767 ms
```

**Choix du type d'index pour une indexation multicolonne** :

Les exemples ci-dessus viennent d'une instance avec la configuration par défaut de PostgreSQL. Rappelons que les paramètres `effective_io_concurrency`, `seq_page_cost` et `random_page_cost` (liés aux disques) et `effective_cache_size` (lié à la mémoire), influent fortement sur le choix d'un parcours *Index Scan*, *Bitmap Scan* ou *Seq Scan* quand la requête balaie beaucoup de lignes. La répar-

[6] https://docs.postgresql.fr/current/bloom.html
[7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_de_Bloom

tition physique des données joue aussi (sur l'efficacité du cache comme sur celle des *Index Scan* et *Bitmap Scan*.) Le type de données à indexer, leur longueur, l'opérateur… a aussi une importance.

Au final, pour une indexation multicolonne d'une table, il faudra tester les types d'index disponibles avec la charge, le paramétrage et les requêtes réelles, des données réelles, et arbitrer en tenant compte des tailles des index (donc de l'impact sur le cache), des durées de génération, des performances pures et des performances en pratique acceptables…

## 2.7 INDEX BRIN

BRIN : **B**lock **R**ange **IN**dex

```
CREATE INDEX brin_demo_brin_idx ON brin_demo USING brin (age)
WITH (pages_per_range=16) ;
```

- Valeurs corrélées à leur emplacement physique
- Calcule des plages de valeur par groupe de blocs
  - index très compact
- Pour :
  - grosses volumétries
  - corrélation entre emplacement et valeur
  - penser à `CLUSTER`

Un index BRIN ne stocke pas les valeurs de la table, mais quelles plages de valeurs se rencontrent dans un ensemble de blocs. Cela réduit la taille de l'index et permet d'exclure un ensemble de blocs lors d'une recherche.

#### 2.7.0.1 Exemple

Soit une table `brin_demo` de 2 millions de personnes, triée par âge :

```
CREATE TABLE brin_demo (id int, age int);
SET work_mem TO '300MB' ;
INSERT INTO brin_demo
SELECT id, trunc(random() * 90 + 1)  AS age
FROM   generate_series(1,2e6) id
ORDER  BY age ;
```

```
=# \dt+ brin_demo
                              List of relations
 Schema |   Name    | Type  |  Owner   | Persistence |  Size   | Description
--------+-----------+-------+----------+-------------+---------+-------------
 public | brin_demo | table | postgres | permanent   |   69 MB |
```

Un index BRIN va contenir une plage des valeurs pour chaque bloc. Dans notre exemple, l'index contiendra la valeur minimale et maximale de plusieurs blocs. La conséquence est que ce type d'index prend très peu de place et il peut facilement tenir en RAM (réduction des opérations des disques). Il est aussi plus rapide à construire et maintenir.

```
CREATE INDEX brin_demo_btree_idx ON brin_demo USING btree (age);
CREATE INDEX brin_demo_brin_idx  ON brin_demo USING brin (age);
```

```
=# \di+ brin_demo*
                        List of relations
```

```
 Schema |         Name          | Type  | … |    Table     | Persistence | Size  | …
--------+-----------------------+-------+---+--------------+-------------+-------+---
 public | brin_demo_brin_idx    | index |   | brin_demo    | permanent   | 48 kB |
 public | brin_demo_btree_idx   | index |   | brin_demo    | permanent   | 13 MB |
```

On peut consulter le contenu de cet index[8], et constater que chacune de ses entrées liste les valeurs de `age` par paquet de 128 blocs (cette valeur peut se changer) :

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS pageinspect ;
SELECT *
FROM brin_page_items(get_raw_page('brin_demo_brin_idx', 2),'brin_demo_brin_idx');
```

```
 itemoffset | blknum | attnum | allnulls | hasnulls | placeholder |   value
------------+--------+--------+----------+----------+-------------+------------
          1 |      0 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 2}
          2 |    128 |      1 | f        | f        | f           | {2 .. 3}
          3 |    256 |      1 | f        | f        | f           | {3 .. 4}
          4 |    384 |      1 | f        | f        | f           | {4 .. 6}
          5 |    512 |      1 | f        | f        | f           | {6 .. 7}
          6 |    640 |      1 | f        | f        | f           | {7 .. 8}
          7 |    768 |      1 | f        | f        | f           | {8 .. 10}
          8 |    896 |      1 | f        | f        | f           | {10 .. 11}
          9 |   1024 |      1 | f        | f        | f           | {11 .. 12}
…
         66 |   8320 |      1 | f        | f        | f           | {85 .. 86}
         67 |   8448 |      1 | f        | f        | f           | {86 .. 88}
         68 |   8576 |      1 | f        | f        | f           | {88 .. 89}
         69 |   8704 |      1 | f        | f        | f           | {89 .. 90}
         70 |   8832 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
```

La colonne `blknum` indique le début de la tranche de blocs, et `value` la plage de valeurs rencontrées. Les personnes de 87 ans sont donc présentes uniquement entre les blocs 8448 à 8575, ce qui se vérifie :

```
SELECT min (ctid), max (ctid) FROM brin_demo WHERE age = 87 ;
```

```
    min     |    max
------------+-----------
 (8457,170) | (8556,98)
```

Testons une requête avec uniquement ce petit index BRIN :

```
DROP INDEX brin_demo_btree_idx ;

EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS,COSTS OFF) SELECT count(*) FROM brin_demo WHERE age = 87 ;
```

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Aggregate (actual time=4.838..4.839 rows=1 loops=1)
   Buffers: shared hit=130
   ->  Bitmap Heap Scan on brin_demo (actual time=0.241..3.530 rows=22212 loops=1)
         Recheck Cond: (age = 87)
         Rows Removed by Index Recheck: 6716
         Heap Blocks: lossy=128
```

[8] https://docs.postgresql.fr/current/pageinspect.html#id-1.11.7.33.8

```
        Buffers: shared hit=130
        ->  Bitmap Index Scan on brin_demo_brin_idx (actual time=0.024..0.024
↪  rows=1280 loops=1)
              Index Cond: (age = 87)
              Buffers: shared hit=2
Planning:
  Buffers: shared hit=5
Planning Time: 0.084 ms
Execution Time: 4.873 ms
```

On constate que l'index n'est consulté que sur 2 blocs. Le nœud *Bitmap Index Scan* renvoie les 128 blocs contenant des valeurs entre 86 et 88, et ces blocs sont récupérés dans la table (*heap*). 6716 lignes sont ignorées, et 22 212 conservées. Le temps de 4,8 ms est bon.

Certes, un index B-tree, bien plus gros, aurait fait encore mieux dans ce cas précis, qui est modeste. Mais plus la table est énorme, plus une requête en ramène une proportion importante, plus les aller-retours entre index et table sont pénalisants, et plus l'index BRIN devient compétitif, en plus de rester très petit.

Par contre, si la table se fragmente, même un peu, les lignes d'un même `age` se retrouvent réparties dans toute la table, et l'index BRIN devient bien moins efficace :

```
UPDATE brin_demo
SET    age=age+0
WHERE  random()>0.99 ;  -- environ 20000 lignes
VACUUM brin_demo ;
UPDATE brin_demo
SET    age=age+0
WHERE  age > 80 AND random()>0.90 ;  -- environ 22175 lignes

VACUUM ANALYZE brin_demo ;

SELECT *
FROM brin_page_items(get_raw_page('brin_demo_brin_idx', 2),'brin_demo_brin_idx');
```

```
 itemoffset | blknum | attnum | allnulls | hasnulls | placeholder |   value
------------+--------+--------+----------+----------+-------------+------------
          1 |      0 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 81}
          2 |    128 |      1 | f        | f        | f           | {2 .. 81}
          3 |    256 |      1 | f        | f        | f           | {3 .. 81}
          4 |    384 |      1 | f        | f        | f           | {4 .. 81}
…
         45 |   5632 |      1 | f        | f        | f           | {58 .. 87}
         46 |   5760 |      1 | f        | f        | f           | {59 .. 87}
         47 |   5888 |      1 | f        | f        | f           | {60 .. 87}
…
         56 |   7040 |      1 | f        | f        | f           | {72 .. 89}
         57 |   7168 |      1 | f        | f        | f           | {73 .. 89}
         58 |   7296 |      1 | f        | f        | f           | {75 .. 89}
…
         67 |   8448 |      1 | f        | f        | f           | {86 .. 88}
         68 |   8576 |      1 | f        | f        | f           | {88 .. 89}
         69 |   8704 |      1 | f        | f        | f           | {89 .. 90}
         70 |   8832 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 90}
```

```
EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS,COSTS OFF) SELECT count(*) FROM brin_demo WHERE age = 87 ;
```

```
                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
 Aggregate (actual time=71.053..71.055 rows=1 loops=1)
   Buffers: shared hit=3062
   ->  Bitmap Heap Scan on brin_demo (actual time=2.451..69.851 rows=22303 loops=1)
         Recheck Cond: (age = 87)
         Rows Removed by Index Recheck: 664141
         Heap Blocks: lossy=3060
         Buffers: shared hit=3062
         ->  Bitmap Index Scan on brin_demo_brin_idx (actual time=0.084..0.084
↪  rows=30600 loops=1)
               Index Cond: (age = 87)
               Buffers: shared hit=2
 Planning:
   Buffers: shared hit=1
 Planning Time: 0.069 ms
 Execution Time: 71.102 ms
```

3060 blocs et 686 444 lignes, la plupart inutiles, ont été lus dans la table (en gros, un tiers de celles-ci). Cela ne devient plus très intéressant par rapport à un parcours complet de la table.

Pour rendre son intérêt à l'index, il faut reconstruire la table avec les données dans le bon ordre avec la commande `CLUSTER`[9]. Hélas, c'est une opération au moins aussi lourde et bloquante qu'un `VACUUM FULL`. De plus, le tri de la table ne peut se faire par l'index BRIN, et il faut recréer un index B-tree au moins le temps de l'opération.

```
CREATE INDEX brin_demo_btree_idx ON brin_demo USING btree (age);
CLUSTER brin_demo USING brin_demo_btree_idx;
SELECT *
FROM brin_page_items(get_raw_page('brin_demo_brin_idx', 2),'brin_demo_brin_idx') ;
```

```
 itemoffset | blknum | attnum | allnulls | hasnulls | placeholder |   value
------------+--------+--------+----------+----------+-------------+------------
          1 |      0 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 2}
          2 |    128 |      1 | f        | f        | f           | {2 .. 3}
…
         68 |   8576 |      1 | f        | f        | f           | {88 .. 89}
         69 |   8704 |      1 | f        | f        | f           | {89 .. 90}
         70 |   8832 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
```

On revient alors à la situation de départ.

#### 2.7.0.2 Utilité d'un index BRIN

Pour qu'un index BRIN soit utile, il faut donc :

- que les données soit naturellement triées dans la table, et le restent (série temporelle, décisionnel avec imports réguliers…) ;
- que la table soit à « insertion seule » pour conserver l'ordre physique ;
- ou que l'on ait la disponibilité nécessaire pour reconstruire régulièrement la table avec `CLUSTER` et éviter que les performances se dégradent au fil du temps.

[9] https://docs.postgresql.fr/current/sql-cluster.html

Sous ces conditions, les BRIN sont indiqués si l'on a des problèmes de volumétrie, ou de temps d'écritures dus aux index B-tree, ou pour éviter de partitionner une grosse table dont les requêtes ramènent une grande proportion.

#### 2.7.0.3 Index BRIN sur clé composée

Prenons un autre exemple avec plusieurs colonnes et un type `text` :

```
CREATE TABLE test (id serial PRIMARY KEY, val text);
INSERT INTO test (val) SELECT md5(i::text) FROM generate_series(1, 10000000) i;
```

La colonne `id` sera corrélée (c'est une séquence), la colonne `md5` ne sera pas du tout corrélée. L'index BRIN porte sur les deux colonnes :

```
CREATE INDEX test_brin_idx ON test USING brin (id,val);
```

Pour une table de 651 Mo, l'index ne fait ici que 104 ko.

Pour voir son contenu :

```
SELECT itemoffset, blknum, attnum,value
FROM brin_page_items(get_raw_page('test_brin_idx', 2),'test_brin_idx')
LIMIT 4 ;
```

```
 itemoffset | blknum | attnum |                 value
------------+--------+--------+----------------------------------------
          1 |      0 |      1 | {1 .. 15360}
          1 |      0 |      2 | {00003e3b9e5336685200ae85d21b4f5e ..
 ↪  fffb8ef15de06d87e6ba6c830f3b6284}
          2 |    128 |      1 | {15361 .. 30720}
          2 |    128 |      2 | {00053f5e11d1fe4e49a221165b39abc9 ..
 ↪  fffe9f664c2ddba4a37bcd35936c7422}
```

La colonne `attnum` correspond au numéro d'attribut du champ dans la table. L'`id` est bien corrélé aux numéros de bloc, contrairement à la colonne `val`. Ce que nous confirme bien la vue `pg_stats` :

```
SELECT tablename, attname, correlation
FROM   pg_stats WHERE  tablename='test' ORDER BY attname ;
```

```
 tablename | attname | correlation
-----------+---------+-------------
 test      | id      |           1
 test      | val     |  0.00528745
```

Si l'on teste la requête suivante, on s'aperçoit que PostgreSQL effectue un parcours complet (*Seq Scan*) de façon parallélisée ou non, et n'utilise donc pas l'index BRIN. Pour comprendre pourquoi, essayons de l'y forcer :

```
SET enable_seqscan TO off ;
SET max_parallel_workers_per_gather TO 0;

EXPLAIN (BUFFERS,ANALYZE) SELECT * FROM test WHERE val
```

```
BETWEEN 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'
    AND 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3';

                                    QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on test  (cost=721.46..234055.46 rows=2642373 width=37) (actual
↪  time=2.558..1622.646 rows=2668675 loops=1)
   Recheck Cond: ((val >= 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'::text)
             AND (val <= 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'::text))
   Rows Removed by Index Recheck: 7331325
   Heap Blocks: lossy=83334
   Buffers: shared hit=83349
   ->  Bitmap Index Scan on test_brin_idx  (cost=0.00..60.86 rows=10000000 width=0)
↪  (actual time=2.523..2.523 rows=833340 loops=1)
         Index Cond: ((val >= 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'::text)
                  AND (val <= 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'::text))
         Buffers: shared hit=15
 Planning:
   Buffers: shared hit=1
 Planning Time: 0.079 ms
 Execution Time: 1703.018 ms
```

83 334 blocs sont lus (651 Mo) soit l'intégralité de la table ! Il est donc logique que PostgreSQL préfère d'entrée un *Seq Scan* (parcours complet).

Pour que l'index BRIN soit utile pour ce critère, il faut là encore trier la table avec une commande `CLUSTER`, ce qui nécessite un index B-tree :

```
CREATE INDEX test_btree_idx ON test USING btree (val);

\di+ test_btree_idx
                             List of relations
 Schema |      Name      | Type  |  Owner   | Table |  Size  | Description
--------+----------------+-------+----------+-------+--------+-------------
 cave   | test_btree_idx | index | postgres | test  | 563 MB |
```

Notons au passage que cet index B-tree est presque aussi gros que notre table !

Après la commande `CLUSTER`, notre table est bien corrélée avec `val` (mais plus avec `id`) :

```
CLUSTER test USING test_btree_idx ;
ANALYZE test;
SELECT tablename, attname, correlation
FROM   pg_stats WHERE  tablename='test' ORDER BY attname ;

 tablename | attname | correlation
-----------+---------+----------------
 test      | id      |  -0.0023584804
 test      | val     |              1
```

La requête après le cluster utilise alors l'index BRIN :

```
SET enable_seqscan TO on ;

EXPLAIN (BUFFERS,ANALYZE) SELECT * FROM test WHERE val
BETWEEN 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'
    AND 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3';
```

```
                                    QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on test  (cost=712.28..124076.96 rows=2666839 width=37) (actual
↪  time=1.460..540.250 rows=2668675 loops=1)
   Recheck Cond: ((val >= 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'::text)
              AND (val <= 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'::text))
   Rows Removed by Index Recheck: 19325
   Heap Blocks: lossy=22400
   Buffers: shared hit=22409
   ->  Bitmap Index Scan on test_brin_idx  (cost=0.00..45.57 rows=2668712 width=0)
↪  (actual time=0.520..0.520 rows=224000 loops=1)
         Index Cond: ((val >= 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'::text)
                   AND (val <= 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'::text))
         Buffers: shared hit=9
 Planning:
   Buffers: shared hit=18 read=2
   I/O Timings: read=0.284
 Planning Time: 0.468 ms
 Execution Time: 630.124 ms
```

22 400 blocs sont lus dans la table, soit 175 Mo. Dans la table triée, l'index BRIN devient intéressant. Cette remarque vaut aussi si PostgreSQL préfère un *Index Scan* au plan précédent (notamment si `random_page_cost` vaut moins du 4 par défaut).

On supprime notre index BRIN et on garde l'index B-tree :

```
DROP INDEX test_brin_idx;

EXPLAIN (BUFFERS,ANALYZE) SELECT * FROM test WHERE val
BETWEEN 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'
AND     'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3';
```

```
                           QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------
 Index Scan using test_btree_idx on test  (cost=0.56..94786.34 rows=2666839
↪  width=37) (actual time=0.027..599.185 rows=2668675 loops=1)
   Index Cond: ((val >= 'a87ff679a2f3e71d9181a67b7542122c'::text)
             AND (val <= 'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'::text))
   Buffers: shared hit=41306
 Planning:
   Buffers: shared hit=12
 Planning Time: 0.125 ms
 Execution Time: 675.624 ms
```

La durée est ici similaire, mais le nombre de blocs lus est double, ce qui est une conséquence de la taille de l'index.

#### 2.7.0.4 Maintenance et consultation

Les lignes ajoutées à la table après la création de l'index ne sont pas forcément intégrées au résumé tout de suite. Il faut faire attention à ce que le `VACUUM` passe assez souvent[10]. Cela dit, la maintenance d'un BRIN lors d'écritures est plus légères qu'un gros B-tree.

[10] https://docs.postgresql.fr/current/brin-intro.html#BRIN-OPERATION

Pour modifier la granularité de l'index BRIN, il faut utiliser le paramètre `pages_per_range` à la création :

```
CREATE INDEX brin_demo_brin_idx ON brin_demo
USING brin (age) WITH (pages_per_range=16) ;
```

Les calculs de plage de valeur se feront alors par paquets de 16 blocs, ce qui est plus fin tout en conservant une volumétrie dérisoire. Sur la table `brin_demo`, l'index ne fait toujours que 56 ko. Par contre, la requête d'exemple parcourra un peu moins de blocs inutiles. La plage est à ajuster en fonction de la finesse des données et de leur répartition.

Pour consulter la répartition des valeurs comme nous l'avons fait plus haut, il faut utiliser pageinspect[11]. Pour une table `brin_demo` dix fois plus grosse, et des plages de 16 blocs :

```
SELECT * FROM brin_metapage_info(get_raw_page('brin_demo_brin_idx', 0));
```

```
   magic    | version | pagesperrange | lastrevmappage
------------+---------+---------------+----------------
 0xA8109CFA |       1 |            16 |              5
```

On retrouve le paramètre de plages de 16 blocs, et la range map commence au bloc 5. Par ailleurs, `pg_class.relpages` indique 20 blocs. Nous avons donc les bornes des pages de l'index à consulter :

```
SELECT * FROM generate_series (6,19) p,
  LATERAL (SELECT * FROM brin_page_items(get_raw_page('brin_demo_brin_idx',
 ↪  p),'brin_demo_brin_idx') ) b
ORDER BY blknum ;
```

```
p  | itemoffset | blknum | attnum | allnulls | hasnulls | placeholder |   value
---+------------+--------+--------+----------+----------+-------------+------------
 18 |        273 |      0 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 1}
 18 |        274 |     16 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 1}
 18 |        275 |     32 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 1}
 18 |        276 |     48 |      1 | f        | f        | f           | {1 .. 1}
…
 19 |        224 |  88432 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
 19 |        225 |  88448 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
 19 |        226 |  88464 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
 19 |        227 |  88480 |      1 | f        | f        | f           | {90 .. 90}
(5531 lignes)
```

#### 2.7.0.5 Plus d'informations sur les BRIN

- Conférence d'Adrien Nayrat au PGDay France 2016 (Lille, 31 mai 2016) : vidéo[12], texte[13].
- Documentation officielle[14].

[11] https://docs.postgresql.fr/current/pageinspect.html#id-1.11.7.33.8
[12] https://youtu.be/g3tSRyeN1TY
[13] https://kb.dalibo.com/conferences/index_brin/index_brin_pgday
[14] https://docs.postgresql.fr/current/brin.html

## 2.8 INDEX HASH

- Basés sur un hash
- Tous types de données, quelle que soit la taille
- Ne gèrent que `=`
  - donc ni `<`, `>`, `!=` …
- Mais plus compacts
- Ne pas utiliser avant v10 (non journalisés)

Les index hash contiennent des hachages de tout type de données. Cela leur permet d'être relativement petits, même pour des données de gros volume, et d'être une alternative aux index B-tree qui ne peuvent pas indexer des objets de plus de 2,7 ko.

Une conséquence de ce principe est qu'il est impossible de parcourir des plages de valeurs, seule l'égalité **exacte** à un critère peut être recherchée. Cet exemple utilise la base du projet Gutenberg[15] :

```
EXPLAIN (ANALYZE,BUFFERS,COSTS OFF)
SELECT * FROM textes
-- attention au nombre exact d'espaces
WHERE contenu = '    Maître corbeau, sur un arbre perché' ;
```

```
                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Index Scan using textes_contenu_hash_idx on textes (actual time=0.049..0.050 rows=1
 ↪  loops=1)
   Index Cond: (contenu = '    Maître corbeau, sur un arbre perché'::text)
   Buffers: shared hit=3
 Planning Time: 0.073 ms
 Execution Time: 0.072 ms
```

Les index hash restent plus longs à créer que des index B-tree. Ils ne sont plus petits qu'eux que si les champs indexés sont gros. Par exemple, dans la même table `texte`, de 3 Go, le nom de l'œuvre (`livre`) est court, mais une ligne de texte (`contenu`) peut faire 3 ko (ici, on a dû purger les trois lignes trop longues pour être indexées par un B-tree) :

```
SELECT pg_size_pretty(pg_relation_size(indexname::regclass)) AS taille,
indexdef FROM pg_indexes
WHERE indexname like 'texte%' ;
```

```
taille  |                                  indexdef
--------+-------------------------------------------------------------------------
733 MB  | CREATE INDEX textes_contenu_hash_idx ON public.textes USING hash (contenu)
1383 MB | CREATE INDEX textes_contenu_idx ON public.textes USING btree (contenu
 ↪  varchar_pattern_ops)
```

[15] https://dali.bo/tp_gutenberg

```
1033 MB | CREATE INDEX textes_livre_hash_idx ON public.textes USING hash (livre)
155 MB  | CREATE INDEX textes_livre_idx ON public.textes USING btree (livre
↪  varchar_pattern_ops)
```

On réservera donc les index hash à l'indexation de grands champs, éventuellement binaires, notamment dans des requêtes recherchant la présence d'un objet. Ils peuvent vous éviter de gérer vous-même un hachage du champ.

Les index hash n'étaient pas journalisés avant la version 10, leur utilisation y était donc une mauvaise idée (corruption à chaque arrêt brutal, pas de réplication…). Ils étaient aussi peu performants par rapport à des index B-tree. Ceci explique le peu d'utilisation de ce type d'index jusqu'à maintenant.

## 2.9 OUTILS

- Pour identifier des requêtes
- Pour identifier des prédicats et des requêtes liées
- Pour valider un index

Différents outils permettent d'aider le développeur ou le DBA à identifier plus facilement les index à créer. On peut classer ceux-ci en trois groupes, selon l'étape de la méthodologie à laquelle ils s'appliquent.

Tous les outils suivants sont disponibles dans les paquets diffusés par le PGDG sur yum.postgresql.org[16] ou apt.postgresql.org[17].

### 2.9.1 Identifier les requêtes

- pgBadger
- pg_stat_statements
- PoWA

Pour identifier les requêtes les plus lentes, et donc potentiellement nécessitant une réécriture ou un nouvel index, pgBadger[18] permet d'analyser les logs une fois ceux-ci configurés pour tracer toutes les requêtes. Des exemples figurent dans notre formation DBA1[19].

Pour une vision cumulative, voire temps réel, de ces requêtes, l'extension `pg_stat_statements`, fournie avec les « contrib » de PostgreSQL, permet de garder trace des N requêtes les plus fréquemment exécutées, et calcule le temps d'exécution total de chacune d'entre elles, ainsi que les accès au cache de PostgreSQL ou au système de fichiers. Son utilisation est détaillée dans notre module X2[20].

Le projet PoWA[21] exploite ces statistiques en les historisant, et en fournissant une interface web permettant de les exploiter.

[16] https://yum.postgresql.org
[17] https://apt.postgresql.org
[18] https://pgbadger.darold.net
[19] https://dali.bo/h1_html#pgbadger
[20] https://dali.bo/x2_html#pg_stat_statements
[21] https://powa.readthedocs.io/en/latest/

### 2.9.2 Identifier les prédicats et des requêtes liées

- Extension pg_qualstats
  - avec PoWa

Pour identifier les prédicats (clause `WHERE` ou condition de jointure à identifier en priorité), l'extension pg_qualstats[22] permet de pousser l'analyse offerte par pg_stat_statements au niveau du prédicat lui-même. Ainsi, on peut détecter les requêtes filtrant sur les mêmes colonnes, ce qui peut aider notamment à déterminer des index multicolonnes ou des index partiels.

De même que pg_stat_statements, cette extension peut être historisée et exploitée par le biais du projet PoWA.

### 2.9.3 Extension HypoPG

- Extension PostgreSQL
- Création d'index hypothétiques pour tester leur intérêt
  - avant de les créer pour de vrai
- Limitations : surtout B-Tree, statistiques

Cette extension est disponible sur GitHub[23] et dans les paquets du PGDG. Il existe trois fonctions principales et une vue :

- `hypopg_create_index()` pour créer un index hypothétique ;
- `hypopg_drop_index()` pour supprimer un index hypothétique particulier ou `hypopg_reset()` pour tous les supprimer ;
- `hypopg_list_indexes` pour les lister.

Un index hypothétique n'existe que dans la session, ni en mémoire ni sur le disque, mais le planificateur le prendra en compte dans un `EXPLAIN` simple (évidemment pas un `EXPLAIN ANALYZE`). En quittant la session, tous les index hypothétiques restants et créés sur cette session sont supprimés.

L'exemple suivant est basé sur la base dont le script peut être téléchargé sur https://dali.bo/tp_employes_services.

[22] https://github.com/powa-team/pg_qualstats
[23] https://github.com/HypoPG/hypopg

```
CREATE EXTENSION hypopg;

EXPLAIN SELECT * FROM employes_big WHERE prenom='Gaston';

                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------
 Gather  (cost=1000.00..8263.14 rows=1 width=41)
   Workers Planned: 2
   ->  Parallel Seq Scan on employes_big  (cost=0.00..7263.04 rows=1 width=41)
         Filter: ((prenom)::text = 'Gaston'::text)

SELECT * FROM hypopg_create_index('CREATE INDEX ON employes_big(prenom)');

 indexrelid |            indexname
------------+---------------------------------
      24591 | <24591>btree_employes_big_prenom

EXPLAIN SELECT * FROM employes_big WHERE prenom='Gaston';

                          QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------
 Index Scan using <24591>btree_employes_big_prenom on employes_big
                                (cost=0.05..4.07 rows=1 width=41)
   Index Cond: ((prenom)::text = 'Gaston'::text)

SELECT * FROM hypopg_list_indexes;

 indexrelid |            indexname             | nspname |   relname    | amname
------------+----------------------------------+---------+--------------+--------
      24591 | <24591>btree_employes_big_prenom | public  | employes_big | btree

SELECT * FROM hypopg_reset();

 hypopg_reset
--------------

(1 row)

CREATE INDEX ON employes_big(prenom);

EXPLAIN SELECT * FROM employes_big WHERE prenom='Gaston';

                      QUERY PLAN
------------------------------------------------------
 Index Scan using employes_big_prenom_idx on employes_big
                       (cost=0.42..4.44 rows=1 width=41)
   Index Cond: ((prenom)::text = 'Gaston'::text)
```

Le cas idéal d'utilisation est l'index B-Tree sur une colonne. Un index fonctionnel est possible, mais, faute de statistiques disponibles avant la création réelle de l'index, les estimations peuvent être fausses. Les autres types d'index sont moins bien ou non supportées.

### 2.9.4 Étude des index à créer

- PoWA peut utiliser HypoPG

Le projet PoWA propose une fonctionnalité, encore rudimentaire, de suggestion d'index à créer, en se basant sur HypoPG, pour répondre à la question « Quel serait le plan d'exécution de ma requête si cet index existait ? ».

L'intégration d'HypoPG dans PoWA permet là aussi une souplesse d'utilisation, en présentant les plans espérés avec ou sans les index suggérés.

Ensuite, en ouvrant l'interface de PoWA, on peut étudier les différentes requêtes, et les suggestions d'index réalisées par l'outil. À partir de ces suggestions, on peut créer les nouveaux index, et enfin relancer le bench pour constater les améliorations de performances.

## 2.10 QUIZ

**https://dali.bo/j5_quiz**

# 3/ Extensions PostgreSQL pour la performance

## 3.1 PRÉAMBULE

Ce module présente des extensions plus spécifiquement destinées à améliorer les performances.

## 3.2 PG_TRGM

- Indexation des recherches `LIKE '%critère%'`
- Similarité basée sur des trigrammes

```
CREATE EXTENSION pg_trgm;
SELECT similarity('bonjour','bnojour');

 similarity
------------
   0.333333
```

- Indexation (GIN ou GiST) :

```
CREATE INDEX test_trgm_idx ON test_trgm
  USING gist (text_data gist_trgm_ops);
```

Ce module permet de décomposer en trigramme les chaînes qui lui sont proposées :

```
 SELECT show_trgm('hello');

             show_trgm
---------------------------------
  {"  h","  he",ell,hel,llo,"lo "}
```

Une fois les trigrammes indexés, on peut réaliser de la recherche floue, ou utiliser des clauses `LIKE` malgré la présence de jokers ( `%` ) n'importe où dans la chaîne. À l'inverse, les indexations simples, de type B-tree, ne permettent des recherches efficaces que dans un cas particulier : si le seul joker de la chaîne est à la fin de celle ci ( `LIKE 'hello%'` par exemple). Contrairement à la *Full Text Search*, la recherche par trigrammes ne réclame aucune modification des requêtes.

```
CREATE EXTENSION pg_trgm;

CREATE TABLE test_trgm (text_data text);

INSERT INTO test_trgm(text_data)
VALUES ('hello'), ('hello everybody'),
('helo young man'),('hallo!'),('HELLO !');
INSERT INTO test_trgm SELECT 'hola' FROM generate_series(1,1000);

CREATE INDEX test_trgm_idx ON test_trgm
  USING gist (text_data gist_trgm_ops);

SELECT text_data FROM test_trgm
 WHERE text_data like '%hello%';

    text_data
-----------------
```

```
 hello
 hello everybody
```

Cette dernière requête passe par l'index `test_trgm_idx`, malgré le `%` initial :

```
EXPLAIN (ANALYZE)
SELECT text_data FROM test_trgm
WHERE  text_data like '%hello%' ;
```

```
                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
Index Scan using test_trgm_gist_idx on test_trgm
   (cost=0.41..0.63 rows=1 width=8) (actual time=0.174..0.204 rows=2 loops=1)
   Index Cond: (text_data ~~ '%hello%'::text)
   Rows Removed by Index Recheck: 1
 Planning time: 0.202 ms
 Execution time: 0.250 ms
```

On peut aussi utiliser un index GIN (comme pour le *Full Text Search*). Les index GIN ont l'avantage d'être plus efficaces pour les recherches exhaustives. Mais l'indexation pour la recherche des k éléments les plus proches (on parle de recherche k-NN) n'est disponible qu'avec les index GiST .

```
SELECT text_data, text_data <-> 'hello'
 FROM test_trgm
 ORDER BY text_data <-> 'hello'
 LIMIT 4;
```

nous retourne par exemple les deux enregistrements les plus proches de « hello » dans la table `test_trgm`.

## 3.3 PG_STAT_STATEMENTS

Capture en temps réel des requêtes

- Normalisation
- Indicateurs :
  - nombre d'exécutions,
  - nombre d'enregistrements retournés
  - temps cumulé d'exécution et d'optimisation
  - lectures/écritures en cache, demandées au système, tris
  - temps de lecture/écriture (`track_io_timing`)
  - écritures dans les journaux de transactions (v13)
  - temps de planning (désactivé par défaut, v13)
  - utilisation du JIT (v15)

Cette extension est fournie avec PostgreSQL et est parmi les plus populaires et les plus utiles.

Une fois installé, `pg_stat_statements` capture, à chaque exécution de requête, tous les compteurs ci-dessus et d'autres associés à cette requête (champ `query`), ci-dessous avec PostgreSQL 16 :

```
postgres=# \d pg_stat_statements
                      Vue « public.pg_stat_statements »
        Colonne         |       Type       | Collationnement | NULL-able | …
------------------------+------------------+-----------------+-----------+--
 userid                 | oid              |                 |           |
 dbid                   | oid              |                 |           |
 toplevel               | boolean          |                 |           |
 queryid                | bigint           |                 |           |
 query                  | text             |                 |           |
 plans                  | bigint           |                 |           |
 total_plan_time        | double precision |                 |           |
 min_plan_time          | double precision |                 |           |
 max_plan_time          | double precision |                 |           |
 mean_plan_time         | double precision |                 |           |
 stddev_plan_time       | double precision |                 |           |
 calls                  | bigint           |                 |           |
 total_exec_time        | double precision |                 |           |
 min_exec_time          | double precision |                 |           |
 max_exec_time          | double precision |                 |           |
 mean_exec_time         | double precision |                 |           |
 stddev_exec_time       | double precision |                 |           |
 rows                   | bigint           |                 |           |
 shared_blks_hit        | bigint           |                 |           |
 shared_blks_read       | bigint           |                 |           |
 shared_blks_dirtied    | bigint           |                 |           |
 shared_blks_written    | bigint           |                 |           |
 local_blks_hit         | bigint           |                 |           |
 local_blks_read        | bigint           |                 |           |
 local_blks_dirtied     | bigint           |                 |           |
```

```
local_blks_written     | bigint           |           |    |
temp_blks_read         | bigint           |           |    |
temp_blks_written      | bigint           |           |    |
blk_read_time          | double precision |           |    |
blk_write_time         | double precision |           |    |
temp_blk_read_time     | double precision |           |    |
temp_blk_write_time    | double precision |           |    |
wal_records            | bigint           |           |    |
wal_fpi                | bigint           |           |    |
wal_bytes              | numeric          |           |    |
jit_functions          | bigint           |           |    |
jit_generation_time    | double precision |           |    |
jit_inlining_count     | bigint           |           |    |
jit_inlining_time      | double precision |           |    |
jit_optimization_count | bigint           |           |    |
jit_optimization_time  | double precision |           |    |
jit_emission_count     | bigint           |           |    |
jit_emission_time      | double precision |           |    |
```

Quelques champs peuvent manquer ou porter un autre nom dans les versions précédentes.

Les requêtes d'une même base et d'un même utilisateur sont normalisées (reconnues comme identiques même avec des paramètres différents).

Les champs sont détaillés dans https://dali.bo/h2_html#pg_stat_statements.

### 3.3.1 pg_stat_statements : mise en place

```
shared_preload_libraries = 'pg_stat_statements'

CREATE EXTENSION pg_stat_statements ; -- dans 1 ou plusieurs bases
SELECT * FROM pg_stat_statements ;
```

- Vue en mémoire partagée (volumétrie contrôlée)
- Pas d'échantillonnage, seulement des compteurs cumulés
  - `pg_stat_statements_reset()` ou PoWA

#### 3.3.1.1 Installation et réinitialisation

Ce module nécessite un espace en mémoire partagée. Pour l'installer, il faut donc renseigner le paramètre suivant avant de redémarrer l'instance :

```
shared_preload_libraries = 'pg_stat_statements'
```

Il faut installer l'extension dans au moins une base (dont une à laquelle les développeurs auront aussi accès, car l'information les concerne au premier chef) :

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS pg_stat_statements ;
```

La vue `pg_stat_statements` retourne un instantané des compteurs au moment de l'interrogation depuis l'installation, depuis le dernier arrêt brutal, ou depuis le dernier appel à la fonction `pg_stat_statements_reset()`. Cette dernière fonction permet de réinitialiser les compteurs pour une base, un utilisateur, une requête, ou tout.

Deux méthodes d'utilisation sont donc possibles :

- effectuer un *reset* au début d'une période, puis interroger la vue `pg_stat_statements` à la fin de cette période ;
- capturer à intervalles réguliers le contenu de `pg_stat_statements` et visualiser les changements dans les compteurs : le projet PoWA[1] a été développé à cet effet.

La requête étant déjà analysée, cette opération supplémentaire n'ajoute qu'un faible surcoût (de l'ordre de 5 % sur une requête extrêmement courte), fixe, pour chaque requête.

Les données de l'extension sont stockées dans le PGDATA, sous `pg_stat_tmp` (même pour les versions récentes de PostgreSQL qui ne l'utilisent plus pour le `stats collector`), et un arrêt brutal peut mener à la perte du contenu.

#### 3.3.1.2 Paramétrage

`pg_stat_statements` possède quelques paramètres[2].

Dès lors que l'extension est chargée en mémoire, la capture des compteurs est enclenchée, sauf si le paramètre `pg_stat_statements.track` est positionné à `none`. Celui-ci permet donc d'activer cette capture à la demande, sans qu'il soit nécessaire de redémarrer l'instance, ce qui peut s'avérer utile pour une instance avec beaucoup de requêtes très courtes (de type OLTP), et dont la rapidité est un élément critique : pour une telle instance, le surcoût lié à `pg_stat_statements` peut être jugé trop important pour que cette capture soit activée en permanence.

Sur un serveur chargé, il est déconseillé de réduire `pg_stat_statements.max` (nombre de requêtes différentes suivies, à 5000 par défaut), car le coût d'une désallocation n'est pas négligeable[3].

[1] https://powa.readthedocs.io/en/latest/
[2] https://docs.postgresql.fr/current/pgstatstatements.html#id-1.11.7.40.9
[3] https://yhuelf.github.io/2021/09/30/pg_stat_statements_bottleneck.html

### 3.3.2 pg_stat_statements : exemple 1

Requêtes les plus longues en temps cumulé :

```
SELECT r.rolname, d.datname, s.calls, s.total_exec_time,
       s.total_exec_time / s.calls AS avg_time, s.query
  FROM pg_stat_statements s
  JOIN pg_roles r     ON (s.userid=r.oid)
  JOIN pg_database d  ON (s.dbid = d.oid)
 ORDER BY s.total_exec_time DESC
 LIMIT 10 ;
```

La requête ci-dessus affiche les dix requêtes les plus longues en cumulé (même avec des paramètres différents), le nombre d'appels, le temps total, le temps moyen par appel. Les temps sont en millisecondes.

NB : pour une instance en version 12 ou antérieure, utiliser le champ `total_time`, qui inclut aussi le temps de planification.

### 3.3.3 pg_stat_statements : exemple 2

Requêtes les plus fréquemment appelées :

```
SELECT r.rolname, d.datname, s.calls, s.total_exec_time,
       s.total_exec_time / s.calls  AS avg_time, s.query
  FROM pg_stat_statements s
  JOIN pg_roles r     ON (s.userid=r.oid)
  JOIN pg_database d  ON (s.dbid = d.oid)
 ORDER BY s.calls DESC
 LIMIT 10;
```

Cette requête affiche les dix requêtes les plus fréquentes en nombre d'appels, et le temps moyen. Exemple de sortie, avec un peu de formatage :

```
\pset format wrapped
\pset columns 83

 SELECT r.rolname, d.datname,
       to_char (s.calls,'999G999FM') AS calls,
       s.total_exec_time * interval '1ms' AS total_exec_time,
       s.total_exec_time/s.calls * interval '1ms' AS avg_time,
       s.query
  FROM pg_stat_statements s
  JOIN pg_roles r     ON (s.userid=r.oid)
  JOIN pg_database d  ON (s.dbid = d.oid)
 ORDER BY s.calls DESC
 LIMIT 10  \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | postgres
calls           | 329 021
total_exec_time | 00:00:01.617168
avg_time        | 00:00:00.000005
query           | SELECT pg_postmaster_start_time()
-[ RECORD 2 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | postgres
calls           | 316 192
total_exec_time | 24:19:01.780477
avg_time        | 00:00:00.276863
query           | SELECT                                                         +
                |             count(datid) as databases,                         +
                |             pg_size_pretty(sum(pg_database_size(               +
                |                 pg_database.datname))::bigint) as total_size,  +
                |             to_char(now(),$1) as time,                         +
                |             sum(xact_commit)::BIGINT as total_commit,          +
                |             sum(xact_rollback)::BIGINT as total_rollback       +
                |         FROM pg_database                                       +
                |         JOIN pg_stat_database ON (pg_database.oid = pg_stat_data.
                |.base.datid)                                                    +
                |         WHERE datistemplate = $2
-[ RECORD 3 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | postgres
calls           | 316 192
total_exec_time | 00:01:22.127931
avg_time        | 00:00:00.00026
query           | SELECT CASE sum(blks_hit+blks_read)                            +
                |           WHEN $1 THEN $2                                      +
                |           ELSE trunc(sum(blks_hit)/sum(blks_hit+blks_read)*$3)::.
                |.float                                                          +
                |         END AS hitratio                                        +
                |         FROM pg_stat_database
-[ RECORD 4 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | postgres
calls           | 316 192
total_exec_time | 00:00:02.82872
avg_time        | 00:00:00.000009
query           | SELECT buffers_alloc FROM pg_stat_bgwriter
-[ RECORD 5 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | postgres
calls           | 316 192
total_exec_time | 00:18:08.125136
avg_time        | 00:00:00.003441
query           | SELECT COUNT(*) AS nb FROM pg_stat_activity WHERE state != $1
-[ RECORD 6 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | postgres
datname         | pgbench_300_hdd
calls           | 79 534
total_exec_time | 00:03:44.82423
avg_time        | 00:00:00.002827
```

```
query           | select wait_event, wait_event_type, query from pg_stat_activity .
                |.where state =$1 and pid = $2
-[ RECORD 7 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | temboard_agent
datname         | postgres
calls           | 75 028
total_exec_time | 00:00:00.368735
avg_time        | 00:00:00.000005
query           | SELECT pg_postmaster_start_time()
-[ RECORD 8 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | temboard_agent
datname         | postgres
calls           | 72 091
total_exec_time | 00:04:02.992142
avg_time        | 00:00:00.003371
query           | SELECT COUNT(*) AS nb FROM pg_stat_activity WHERE state != $1
-[ RECORD 9 ]---+-----------------------------------------------------------------
rolname         | temboard_agent
datname         | postgres
calls           | 72 091
total_exec_time | 05:47:55.416569
avg_time        | 00:00:00.28957
query           | SELECT                                                         +
                |             count(datid) as databases,                         +
                |             pg_size_pretty(sum(pg_database_size(               +
                |                 pg_database.datname))::bigint) as total_size,  +
                |             to_char(now(),$1) as time,                         +
                |             sum(xact_commit)::BIGINT as total_commit,          +
                |             sum(xact_rollback)::BIGINT as total_rollback       +
                |          FROM pg_database                                      +
                |          JOIN pg_stat_database ON (pg_database.oid = pg_stat_data.
                |.base.datid)                                                    +
                |          WHERE datistemplate = $2
-[ RECORD 10 ]--+-----------------------------------------------------------------
rolname         | temboard_agent
datname         | postgres
calls           | 72 091
total_exec_time | 00:00:17.817369
avg_time        | 00:00:00.000247
query           | SELECT CASE sum(blks_hit+blks_read)                            +
                |           WHEN $1 THEN $2                                      +
                |           ELSE trunc(sum(blks_hit)/sum(blks_hit+blks_read)*$3)::.
                |.float                                                          +
                |          END AS hitratio                                       +
                |          FROM pg_stat_database
```

On voit qu'il y a beaucoup de requêtes de supervision, ce qui est logique. Il est donc conseillé de dédier un utilisateur à la supervision pour pouvoir filtrer aisément.

### 3.3.4 pg_stat_statements : exemple 3

Requêtes les plus consommatrices et *hit ratio* :

```
SELECT calls, total_exec_time, rows,
       100.0*shared_blks_hit
       /nullif(shared_blks_hit+shared_blks_read, 0) AS "hit %",
       query
FROM  pg_stat_statements
ORDER BY total_exec_time DESC
LIMIT 5 ;
```

Cette requête calcule le *hit ratio*, c'est-à-dire la proportion des blocs lus depuis le cache de PostgreSQL, pour les cinq plus grosses requêtes en temps cumulé. Dans l'idéal, ce ratio serait à 100 %.

## 3.4 AUTO_EXPLAIN

- Tracer les plans des requêtes lentes automatiquement
- Contrib officielle
- Mise en place globale (traces) :
  - globale :

```
shared_preload_libraries='auto_explain'   -- redémarrage !
ALTER DATABASE erp SET auto_explain.log_min_duration = '3s' ;
```

  - session :

```
LOAD 'auto_explain' ;
SET auto_explain.log_analyze TO true;
```

L'outil `auto_explain` est habituellement activé quand on a le sentiment qu'une requête devient subitement lente à certains moments, et qu'on suspecte que son plan diffère entre deux exécutions. Elle permet de tracer dans les journaux applicatifs, voire dans la console, le plan de la requête dès qu'elle dépasse une durée configurée.

C'est une « contrib » officielle de PostgreSQL (et non une extension). Tracer systématiquement le plan d'exécution d'une requête souvent répétée prend de la place, et est assez coûteux. C'est donc un outil à utiliser parcimonieusement. En général on ne trace ainsi que les requêtes dont la durée d'exécution dépasse la durée configurée avec le paramètre `auto_explain.log_min_duration`. Par défaut, ce paramètre vaut -1 pour ne tracer aucun plan.

Comme dans un `EXPLAIN` classique, on peut activer les options (par exemple `ANALYZE` ou `TIMING` avec, respectivement, un `SET auto_explain.log_analyze TO true;` ou un `SET auto_explain.log_timing TO true;`) mais l'impact en performance peut être important même pour les requêtes qui ne seront pas tracées.

D'autres options existent, qui reprennent les paramètres habituels d'`EXPLAIN`, notamment : `auto_explain.log_buffers`, `auto_explain.log_settings`.

Quant à `auto_explain.sample_rate`, il permet de ne tracer qu'un échantillon des requêtes (voir la documentation[4]).

Pour utiliser `auto_explain` globalement, il faut charger la bibliothèque au démarrage dans le fichier `postgresql.conf` via le paramètre `shared_preload_libraries`.

```
shared_preload_libraries='auto_explain'
```

Après un redémarrage de l'instance, il est possible de configurer les paramètres de capture des plans

[4] https://docs.postgresql.fr/current/auto-explain.html

d'exécution par base de données. Dans l'exemple ci-dessous, l'ensemble des requêtes sont tracées sur la base de données `bench`, qui est utilisée par `pgbench`.

```
ALTER DATABASE bench SET auto_explain.log_min_duration = '0';
ALTER DATABASE bench SET auto_explain.log_analyze = true;
```

Attention, l'activation des traces complètes sur une base de données avec un fort volume de requêtes peut être très coûteux.

Un benchmark `pgbench` est lancé sur la base de données `bench` avec 1 client qui exécute 1 transaction par seconde pendant 20 secondes :

```
pgbench -c1 -R1 -T20 bench
```

Les plans d'exécution de l'ensemble les requêtes exécutées par `pgbench` sont alors tracés dans les traces de l'instance.

```
2021-07-01 13:12:55.790 CEST [1705] LOG:  duration: 0.041 ms  plan:
    Query Text: SELECT abalance FROM pgbench_accounts WHERE aid = 416925;
    Index Scan using pgbench_accounts_pkey on pgbench_accounts
        (cost=0.42..8.44 rows=1 width=4) (actual time=0.030..0.032 rows=1 loops=1)
        Index Cond: (aid = 416925)
2021-07-01 13:12:55.791 CEST [1705] LOG:  duration: 0.123 ms  plan:
    Query Text: UPDATE pgbench_tellers SET tbalance = tbalance + -3201 WHERE tid = 19;
    Update on pgbench_tellers  (cost=0.00..2.25 rows=1 width=358)
                               (actual time=0.120..0.121 rows=0 loops=1)
        ->  Seq Scan on pgbench_tellers  (cost=0.00..2.25 rows=1 width=358)
                                         (actual time=0.040..0.058 rows=1 loops=1)
            Filter: (tid = 19)
            Rows Removed by Filter: 99
2021-07-01 13:12:55.797 CEST [1705] LOG:  duration: 0.116 ms  plan:
    Query Text: UPDATE pgbench_branches SET bbalance = bbalance + -3201 WHERE bid = 5;
    Update on pgbench_branches  (cost=0.00..1.13 rows=1 width=370)
                                (actual time=0.112..0.114 rows=0 loops=1)
        ->  Seq Scan on pgbench_branches  (cost=0.00..1.13 rows=1 width=370)
                                (actual time=0.036..0.038 rows=1 loops=1)
            Filter: (bid = 5)
            Rows Removed by Filter: 9
[...]
```

Pour utiliser `auto_explain` uniquement dans la session en cours, il faut penser à descendre au niveau de message `LOG` (défaut de `auto_explain`). On procède ainsi :

```
LOAD 'auto_explain';
SET auto_explain.log_min_duration = 0;
SET auto_explain.log_analyze = true;
SET client_min_messages to log;
SELECT count(*)
   FROM pg_class, pg_index
   WHERE oid = indrelid AND indisunique;
```

```
LOG:  duration: 1.273 ms  plan:
Query Text: SELECT count(*)
           FROM pg_class, pg_index
           WHERE oid = indrelid AND indisunique;
Aggregate  (cost=38.50..38.51 rows=1 width=8)
    (actual time=1.247..1.248 rows=1 loops=1)
  ->  Hash Join  (cost=29.05..38.00 rows=201 width=0)
          (actual time=0.847..1.188 rows=198 loops=1)
        Hash Cond: (pg_index.indrelid = pg_class.oid)
        ->  Seq Scan on pg_index  (cost=0.00..8.42 rows=201 width=4)
                      (actual time=0.028..0.188 rows=198 loops=1)
              Filter: indisunique
              Rows Removed by Filter: 44
        ->  Hash  (cost=21.80..21.80 rows=580 width=4)
            (actual time=0.726..0.727 rows=579 loops=1)
              Buckets: 1024  Batches: 1  Memory Usage: 29kB
              ->  Seq Scan on pg_class  (cost=0.00..21.80 rows=580 width=4)
                            (actual time=0.016..0.373 rows=579 loops=1)
 count
-------
   198
```

`auto_explain` est aussi un moyen de suivre les plans au sein de fonctions. Par défaut, un plan n'indique les compteurs de blocs *hit*, *read*, *temp*… que de l'appel global à la fonction.

Une fonction simple en PL/pgSQL est définie pour récupérer le solde le plus élevé dans la table `pgbench_accounts` :

```
CREATE OR REPLACE function f_max_balance() RETURNS int AS $$
    DECLARE
        acct_balance int;
    BEGIN
        SELECT max(abalance)
        INTO acct_balance
        FROM pgbench_accounts;
        RETURN acct_balance;
    END;
$$ LANGUAGE plpgsql ;
```

Un simple `EXPLAIN ANALYZE` de l'appel de la fonction ne permet pas d'obtenir le plan de la requête `SELECT max(abalance) FROM pgbench_accounts` contenue dans la fonction :

```
EXPLAIN (ANALYZE,VERBOSE) SELECT f_max_balance();

                                QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------------
 Result  (cost=0.00..0.26 rows=1 width=4) (actual time=49.214..49.216 rows=1 loops=1)
   Output: f_max_balance()
 Planning Time: 0.149 ms
 Execution Time: 49.326 ms
```

Par défaut, `auto_explain` ne va pas capturer plus d'information que la commande `EXPLAIN ANALYZE`. Le fichier log de l'instance capture le même plan lorsque la fonction est exécutée.

```
2021-07-01 15:39:05.967 CEST [2768] LOG:  duration: 42.937 ms  plan:
    Query Text: select f_max_balance();
    Result  (cost=0.00..0.26 rows=1 width=4)
            (actual time=42.927..42.928 rows=1 loops=1)
```

Il est cependant possible d'activer le paramètre `log_nested_statements` avant l'appel de la fonction, de préférence uniquement dans la ou les sessions concernées :

```
\c bench
SET auto_explain.log_nested_statements = true;
SELECT f_max_balance();
```

Le plan d'exécution de la requête SQL est alors visible dans les traces de l'instance :

```
2021-07-01 14:58:40.189 CEST [2202] LOG:  duration: 58.938 ms  plan:
Query Text: select max(abalance)
            from pgbench_accounts
Finalize Aggregate
(cost=22632.85..22632.86 rows=1 width=4)
(actual time=58.252..58.935 rows=1 loops=1)
    ->  Gather
        (cost=22632.64..22632.85 rows=2 width=4)
        (actual time=57.856..58.928 rows=3 loops=1)
        Workers Planned: 2
        Workers Launched: 2
        ->  Partial Aggregate
                (cost=21632.64..21632.65 rows=1 width=4)
                (actual time=51.846..51.847 rows=1 loops=3)
            ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts
                    (cost=0.00..20589.51 rows=417251 width=4)
                    (actual time=0.014..29.379 rows=333333 loops=3)
```

pgBadger est capable de lire les plans tracés par `auto_explain`, de les intégrer à son rapport et d'inclure un lien vers depesz.com[5] pour une version plus lisible.

[5] https://explain.depesz.com/

## 3.5 PG_BUFFERCACHE

Qu'y a-t'il dans le cache de PostgreSQL ?
Fournit une vue :

- Pour chaque page (donc pour l'ensemble de l'instance)
  - fichier (donc objet) associé
  - OID base
  - fork (0 : table, 1 : FSM, 2 : VM)
  - numéro de bloc
  - isdirty
  - usagecount

Pour chaque entrée (bloc, par défaut de 8 ko) du cache disque de PostgreSQL, cette vue nous fournit les informations suivantes : le fichier (donc la table, l'index…), le bloc dans ce fichier, si ce bloc est synchronisé avec le disque (`isdirty` à `false`) ou s'il est « sale » (modifié en mémoire mais non synchronisé sur disque), et si ce bloc a été utilisé récemment (de 0 « plus utilisé dernièrement » à 5 « récemment utilisé »).

Cela permet donc de déterminer les *hot blocks* de la base, ou d'avoir une idée un peu plus précise du bon dimensionnement du cache : si rien n'atteint un `usagecount` de 5, le cache est manifestement trop petit : il n'est pas capable de détecter les pages devant impérativement rester en cache. Inversement, si vous avez énormément d'entrées à 0 et quelques pages avec des `usagecount` très élevés, toutes ces pages à 0 sont égales devant le mécanisme d'éviction du cache. Elles sont donc supprimées à peu près de la même façon que du cache du système d'exploitation. Le cache de PostgreSQL dans ce cas fait « double emploi » avec lui, et pourrait être réduit.

Attention toutefois avec les expérimentations sur les caches : il existe des effets de seuils. Un cache trop petit peut de la même façon qu'un cache trop grand avoir une grande fraction d'enregistrements avec un `usagecount` à 0. Par ailleurs, le cache bouge extrêmement rapidement par rapport à notre capacité d'analyse. Nous ne voyons qu'un instantané, qui peut ne pas refléter toute la réalité.

`isdirty` indique si un buffer est synchronisé avec le disque ou pas. Il est intéressant de vérifier qu'une instance dispose en permanence d'un certain nombre de buffers pour lesquels `isdirty` vaut `false` et pour lesquels `usagecount` vaut `0`. Si ce n'est pas le cas, c'est le signe :

- que `shared_buffers` est probablement trop petit (il n'arrive pas à contenir les modifications) ;
- que le `background_writer` n'est pas assez agressif.

De plus, avant la version 10, l'utilisation de cette extension est assez coûteuse car elle a besoin d'acquérir un verrou sur chaque page de cache inspectée. Chaque verrou est acquis pour une durée très courte, mais elle peut néanmoins entraîner une contention. L'impact a été diminué en version 10.

À titre d'exemple, cette requête affiche les dix plus gros objets de la base en cours en mémoire cache (dont, ici, deux index) :

```
SELECT c.relname,
       c.relkind,
       count(*) AS buffers,
       pg_size_pretty(count(*)*8192) as taille_mem
FROM   pg_buffercache b
INNER JOIN pg_class c
      ON b.relfilenode = pg_relation_filenode(c.oid)
        AND b.reldatabase IN (0, (SELECT oid FROM pg_database
                                  WHERE datname = current_database()))
GROUP BY c.relname, c.relkind
ORDER BY 3 DESC
LIMIT 5 ;
```

```
            relname             | relkind | buffers | taille_mem
--------------------------------+---------+---------+------------
 test_val_idx                   | i       |  162031 | 1266 MB
 test_pkey                      | i       |   63258 | 494 MB
 test                           | r       |   36477 | 285 MB
 pg_proc                        | r       |      47 | 376 kB
 pg_proc_proname_args_nsp_index | i       |      34 | 272 kB
```

On peut suivre la quantité de blocs *dirty* et l'*usagecount* avec une requête de ce genre, ici juste après une petite mise à jour de la table `test` :

```
SELECT
    relname,
    isdirty,
    usagecount,
    pinning_backends,
    count(bufferid)
FROM pg_buffercache b
INNER JOIN pg_class c ON c.relfilenode = b.relfilenode
WHERE relname NOT LIKE 'pg%'
GROUP BY
        relname,
        isdirty,
        usagecount,
        pinning_backends
ORDER BY 1, 2, 3, 4 ;
```

```
    relname     | isdirty | usagecount | pinning_backends | count
----------------+---------+------------+------------------+--------
 brin_btree_idx | f       |          0 |                0 |      1
 brin_btree_idx | f       |          1 |                0 |   7151
 brin_btree_idx | f       |          2 |                0 |   3103
 brin_btree_idx | f       |          3 |                0 |  10695
 brin_btree_idx | f       |          4 |                0 | 141078
 brin_btree_idx | f       |          5 |                0 |      2
 brin_btree_idx | t       |          1 |                0 |      9
 brin_btree_idx | t       |          2 |                0 |      1
 brin_btree_idx | t       |          5 |                0 |     60
 test           | f       |          0 |                0 |  12371
 test           | f       |          1 |                0 |   6009
```

```
test          | f       |          2 |                0 |   8466
test          | f       |          3 |                0 |   1682
test          | f       |          4 |                0 |   7393
test          | f       |          5 |                0 |    112
test          | t       |          1 |                0 |      1
test          | t       |          5 |                0 |    267
test_pkey     | f       |          1 |                0 |    173
test_pkey     | f       |          2 |                0 |  27448
test_pkey     | f       |          3 |                0 |   6644
test_pkey     | f       |          4 |                0 |  10324
test_pkey     | f       |          5 |                0 |   3420
test_pkey     | t       |          1 |                0 |     57
test_pkey     | t       |          3 |                0 |     81
test_pkey     | t       |          4 |                0 |    116
test_pkey     | t       |          5 |                0 |  15067
```

## 3.6 PG_PREWARM

- Charge des blocs en cache :

```
-- cache de PG
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts', 'buffer') ;

-- cache de Linux (asynchrone)
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts', 'prefetch') ;
-- cache (tous OS)
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts', 'read') ;
```

- Ne pas oublier les index !
- N'interdit pas l'éviction
- Récupération du cache au redémarrage (v11)
  - avec un petit paramétrage

Grâce à l'extension pg_prewarm, intégrée à PostgreSQL, il est possible de pré-charger une table ou d'autres objets dans la mémoire de PostgreSQL, ou celle du système d'exploitation, pour améliorer les performances par la suite.

Par exemple, on charge la table `pgbench_accounts` dans le cache de PostgreSQL ainsi, et on le vérifie avec `pg_buffercache` :

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS pg_prewarm ;

SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts', 'buffer') ;
```

```
 pg_prewarm
------------
     163935
```

La valeur retournée correspond aux blocs chargés.

```
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS pg_buffercache ;

SELECT c.relname, count(*) AS buffers, pg_size_pretty(count(*)*8192) as taille_mem
FROM pg_buffercache b INNER JOIN pg_class c
                      ON b.relfilenode = pg_relation_filenode(c.oid)
GROUP BY c.relname ;
```

```
                relname                 | buffers | taille_mem
----------------------------------------+---------+------------
 …
 pgbench_accounts                       |  163935 | 1281 MB
 …
```

Il faut rappeler qu'une table ne se résume pas à ses données ! Il est au moins aussi intéressant de récupérer les index de la table en question :

```
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts_pkey','buffer');
```

Si le cache de PostgreSQL ne suffit pas, celui du système peut être aussi préchargé :

```
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts_pkey','read');
SELECT pg_prewarm ('pgbench_accounts_pkey','prefetch');  -- à préférer sur Linux
```

Charger une table en cache ne veut pas dire qu'elle va y rester ! Si les blocs chargés ne sont pas utilisés, ils seront évincés quand PostgreSQL aura besoin de faire de la place dans le cache, comme n'importe quels autres blocs.

**Automatisation** :

Cette extension peut sauvegarder le contenu du cache à intervalles réguliers ou lors de l'arrêt (propre) de PostgreSQL et le restaurer au redémarrage. Pour cela, paramétrer ceci :

```
shared_preload_libraries = 'pg_prewarm'
pg_prewarm.autoprewarm = on
pg_prewarm.autoprewarm_interval = '5min'
```

Les blocs concernés sont sauvés dans un fichier `autoprewarm.blocks` dans le répertoire PGDATA. Un *worker* nommé `autoprewarm leader` apparaîtra.

L'intérêt est de réduire énormément la phase de rechargement en cache des donnés actives après un redémarrage, accidentel ou non. En effet, une grosse base très active et aux disques un peu lents peut mettre longtemps à re-remplir son cache et à retrouver des performances acceptables. De plus, ne seront rechargées que les données en cache précédemment, donc à priori les parties de tables réellement actives.

**Autres possibilités** :

La documentation[6] décrit également comment charger :

- d'autres parties de la table comme la *visibility map* ;
- certains blocs précis.

[6] https://docs.postgresql.fr/current/pgprewarm.html

## 3.7 LANGAGES PROCÉDURAUX

- Procédures & fonctions en différents langages
- Par défaut : SQL, C et PL/pgSQL
- Extensions officielles : Perl, Python
- Mais aussi Java, Ruby, Javascript…
- Intérêts : fonctionnalités, performances

Les langages officiellement supportés par le projet sont :

- PL/pgSQL ;
- PL/Perl[7] ;
- PL/Python[8] ;
- PL/Tcl.

Voici une liste non exhaustive des langages procéduraux disponibles, à différents degrés de maturité :

- PL/sh[9] ;
- PL/R[10] ;
- PL/Java[11] ;
- PL/lolcode ;
- PL/Scheme ;
- PL/PHP ;
- PL/Ruby ;
- PL/Lua[12] ;
- PL/pgPSM ;
- PL/v8[13] (Javascript).

Tableau des langages supportés[14].

Pour qu'un langage soit utilisable, il doit être activé au niveau de la base où il sera utilisé. Les trois langages activés par défaut sont le C, le SQL et le PL/pgSQL. Les autres doivent être ajoutés à partir des paquets de la distribution ou du PGDG, ou compilés à la main, puis l'extension installée dans la base :

[7] https://docs.postgresql.fr/current/plperl.html
[8] https://docs.postgresql.fr/current/plpython.html
[9] https://github.com/petere/plsh
[10] https://github.com/postgres-plr/plr
[11] https://tada.github.io/pljava/
[12] https://github.com/pllua/pllua
[13] https://github.com/plv8/plv8

```
CREATE EXTENSION plperl ;
CREATE EXTENSION plpython3u ;
-- etc.
```

Ces fonctions peuvent être utilisées dans des index fonctionnels et des triggers comme toute fonction SQL ou PL/pgSQL.

Chaque langage a ses avantages et inconvénients. Par exemple, PL/pgSQL est très simple à apprendre mais n'est pas performant quand il s'agit de traiter des chaînes de caractères. Pour ce traitement, il est souvent préférable d'utiliser PL/Perl, voire PL/Python. Évidemment, une routine en C aura les meilleures performances mais sera beaucoup moins facile à coder et à maintenir, et ses bugs seront susceptibles de provoquer un plantage du serveur.

Par ailleurs, les procédures peuvent s'appeler les unes les autres quel que soit le langage. S'ajoute l'intérêt de ne pas avoir à réécrire en PL/pgSQL des fonctions existantes dans d'autres langages ou d'accéder à des modules bien établis de ces langages.

### 3.7.1 Avantages & inconvénients

- PL/pgSQL plus performant pour l'accès aux données
- Chaque langage a son point fort
- Performances :
  - latence (pas d'allers-retours)
  - accès aux données depuis les fonctions
  - bibliothèques de chaque langage
  - index
- Langages *trusted* / *untrusted*

Il est courant de considérer que la logique métier (les fonctions) doit être intégralement dans l'applicatif, et pas dans la base de données. Même si l'on adopte ce point de vue, il faut savoir faire des exceptions pour prendre en compte les performances : une fonction, en PL/pgSQL ou un autre langage, exécutée dans la base de données économisera des aller-retours entre la base et le serveur applicatif, ce qui peut avoir un impact énorme (latence due à de nombreux ordres, ou durée de transfert des résultats intermédiaires).

Une fonction en Perl ou Python complexe peut servir aussi de critère d'indexation, pour des gains parfois énormes.

Le PL/pgSQL[15] est le mieux intégré des langages (avec le C), D'autres langages peuvent subir une pénalité due à la communication avec l'interpréteur (car c'est bien celui présent sur le serveur qui est utilisé). Cependant, ils peuvent apporter des fonctionnalités qui manquent à PostgreSQL : PL/R, bibliothèques numériques NumPy et Scipy de Python…

[15] https://www.postgresql.org/docs/current/plpgsql-overview.html

Pour des raisons de sécurité, on distingue des langages *trusted* et *untrusted*. Un langage *trusted* est disponible pour tous les utilisateurs de la base, n'autorise pas l'accès à des données normalement inaccessibles à l'utilisateur, mais quelques fonctionnalités ont pu être supprimées (interaction avec l'environnement notamment). Un langage *untrusted* n'a pas ces limites et les fonctions ne peuvent être créées que par un super-utilisateur. PL/pgSQL est *trusted*. PL/Python n'existe qu'en *untrusted* (l'extension pour la version 3 se nomme `plpython3u`). PL/Perl existe dans les deux versions (extensions `plperl` et `plperlu`).

## 3.8 HLL

- `COUNT(DISTINCT)` est notoirement lent
- Principe d'HyperLogLog :
  - travail sur des hachages, avec perte
  - estimation statistique
  - non exact, mais beaucoup plus rapide
- Exemple :

```
SELECT mois, hll_cardinality(hll_add_agg(hll_hash_text( id )))
FROM voyages ;
```

- Type `hll` pour pré-agréger des données

Les décomptes de valeurs distinctes sont une opération assez courante dans certains domaines : décompte de visiteurs distincts d'un site web ou d'un lieu, de patients d'un hôpital, de voyageurs, etc. Or `COUNT(DISTINCT)` est notoirement lent quand on fait face à un grand nombre de valeurs distinctes, à cause de la déduplication des valeurs, du maintien d'un espace pour le décompte, du besoin fréquent de fichiers temporaires…

Le principe de HyperLogLog est de ne pas opérer de calculs exacts mais de compiler un hachage des données rencontrées, avec perte, et donc beaucoup de manière plus compacte ; puis d'étudier la répartition statistique des valeurs rencontrées, et d'en déduire la volumétrie approximative. En effet, dans beaucoup de contexte, il n'est pas forcément utile de connaître le nombre *exact* de clients, de passagers… Une approximation peut répondre à beaucoup de besoins. En fonction de l'imprécision acceptée, on peut économiser beaucoup de mémoire et de temps (un gain d'un facteur supérieur à 10 est fréquent).

Une extension dédiée existe, à présent maintenue par Citusdata. Le source est sur Github[16], et on trouvera les paquets dans les dépôts communautaires habituels.

La bibliothèque doit être préchargée dans chaque session pour être exécuté par l'optimiseur pour influencer les plans générés :

```
shared_preload_libraries = 'hll'
```

Puis charger l'extension dans la base concernée :

```
CREATE EXTENSION hll ;
```

On peut alors immédiatement remplacer un `COUNT(DISTINCT id)` par cet équivalent :

```
SELECT mois, hll_cardinality(hll_add_agg(hll_hash_text( id )))
FROM   matable ;
```

[16] https://github.com/citusdata/postgresql-hll

Concrètement, l'identifiant à trier est haché (il y a une fonction dédiée par type). Puis ces hachages sont agrégés en un ensemble par la fonction `hll_add_agg()`. Ensuite, la fonction `hll_cardinality()` estime le nombre de valeurs distinctes originales à partir de cet ensemble.

Le paramétrage par défaut est déjà pertinent pour des cardinalités jusqu'au billion ($10^{12}$) d'après la documentation[17], avec une erreur de l'ordre du pour cent. La précision de l'estimation peut être ajustée de manière générale, ou bien comme paramètre à la fonction de création de l'ensemble, comme dans ces exemples (ici avec les valeurs par défaut) :

```
SELECT hll_set_defaults(11, 5, -1, 1) ;

SELECT hll_cardinality(hll_add_agg(hll_hash_text( id ), 11, 5, -1, 1 ))
FROM matable ;
```

Les deux premiers paramètres sont les plus importants : le nombre de registres utilisés (de 4 à 31, chaque incrément de 1 doublant la taille mémoire requise), et la taille des registres en bits (de 1 à 8). Des valeurs trop grandes risquent de rendre l'estimation inutilisable (résultat `NaN`).

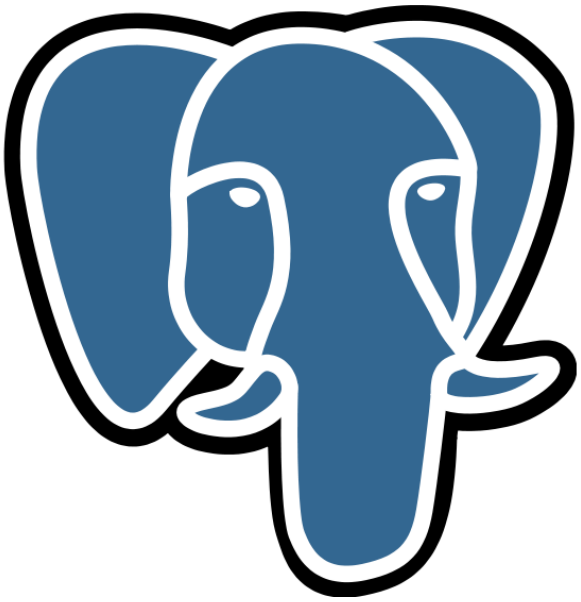
Dans le monde décisionnel, il est fréquent de créer des tables d'agrégat avec des résultats précalculés sur un jour ou un mois. Cela ne fonctionne que partiellement pour des `COUNT(DISTINCT)` : par exemple, on ne peut sommer le nombre de voyageurs distincts de chaque mois pour calculer celui sur l'année, ce sont peut-être les mêmes clients toute l'année. L'extension apporte donc aussi un type `hll` destiné à stocker des résultats agrégés issus d'un appel à `hll_add_agg()`. On agrège le contenu de ces champs `hll` avec la fonction `hll_union_agg()`, et on peut procéder à l'estimation sur l'ensemble avec `hll_cardinality`.

[17] https://github.com/citusdata/postgresql-hll

## 3.9 QUIZ

**https://dali.bo/x2_quiz**

# 4/ Partitionnement sous PostgreSQL



- Ses principes et intérêts
- Historique
- Les différents types

## 4.1 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 PART`) pour l'archiver (et la réattacher au besoin) ou la supprimer ultérieurement.

D'autres optimisations sont décrites dans ce billet de blog d'Adrien Nayrat[1] : 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/

## 4.2 PARTITIONNEMENT APPLICATIF

- …ou la réinvention de la roue
- Gestion au niveau applicatif, table par table
- Complexité pour le développeur
- Intégrité des données ?

L'application peut gérer le partitionnement elle-même, par exemple en créant des tables numérotées par mois, année… Le moteur de PostgreSQL ne voit que des tables classiques et ne peut assurer l'intégrité entre ces données.

C'est au développeur de réinventer la roue : choix de la table, gestion des index… La lecture des données qui concerne plusieurs tables peut devenir délicate.

Ce modèle extrêmement fréquent est bien sûr à éviter.

## 4.3 MÉTHODES DE PARTITIONNEMENT INTÉGRÉES À POSTGRESQL

- Partitionnement par héritage (historique)
- Partitionnement déclaratif (>=v10, préférer v13+)

Un partitionnement entièrement géré par le moteur, n'existe réellement que depuis la version 10 de PostgreSQL. Il a été grandement amélioré en versions 11 et 12, en fonctionnalités comme en performances.

Jusqu'à PostgreSQL 9.6 n'existaient que le partitionnement dit par héritage, nettement moins flexible, et bien sûr le partitionnement géré intégralement par l'applicatif.

## 4.4 PARTITIONNEMENT PAR HÉRITAGE

- Historique ou pour cas très spécifique
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE primates (debout boolean) INHERITS (mammiferes) ;
```

- Table mère :
  - définie normalement, peut contenir des lignes
- Tables filles :
  - héritent des propriétés de la table mère
  - …mais pas des contraintes, index et droits
  - colonnes supplémentaires possibles
- Insertion applicative ou par trigger (lent !)

**Principe du partitionnement par héritage** :

PostgreSQL permet de créer des tables qui héritent les unes des autres. L'héritage d'une table mère transmet les propriétés suivantes à la table fille :

- les colonnes, avec le type et les valeurs par défaut ;
- les contraintes `CHECK`.

Les tables filles peuvent ajouter leurs propres colonnes. Par exemple :

```
CREATE TABLE animaux (nom text PRIMARY KEY);
INSERT INTO animaux VALUES ('Éponge');
INSERT INTO animaux VALUES ('Ver de terre');

CREATE TABLE cephalopodes (nb_tentacules integer) INHERITS (animaux);
INSERT INTO cephalopodes VALUES ('Poulpe', 8);

CREATE TABLE vertebres (nb_membres integer) INHERITS (animaux);

CREATE TABLE tetrapodes () INHERITS (vertebres);
ALTER TABLE ONLY tetrapodes ALTER COLUMN nb_membres SET DEFAULT 4 ;

CREATE TABLE poissons (eau_douce boolean) INHERITS (tetrapodes);
INSERT INTO poissons (nom, eau_douce) VALUES ('Requin', false);
INSERT INTO poissons (nom, nb_membres, eau_douce) VALUES ('Anguille', 0, false);
```

La table `poissons` possède les champs des tables dont elle hérite :

```
\d+ poissons
                    Table "public.poissons"
```

```
   Column   |  Type   | Collation | Nullable | Default | …
------------+---------+-----------+----------+---------+---
 nom        | text    |           | not null |         | …
 nb_membres | integer |           |          | 4       | …
 eau_douce  | boolean |           |          |         | …
Inherits: tetrapodes
Access method: heap
```

On peut créer toute une hiérarchie avec des branches parallèles, chacune avec ses colonnes propres :

```
CREATE TABLE reptiles (venimeux boolean) INHERITS (tetrapodes);
INSERT INTO reptiles VALUES ('Crocodile', 4, false);
INSERT INTO reptiles VALUES ('Cobra', 0, true);

CREATE TABLE mammiferes () INHERITS (tetrapodes);

CREATE TABLE cetartiodactyles (
    cornes boolean,
    bosse boolean
) INHERITS (mammiferes);
INSERT INTO cetartiodactyles VALUES ('Girafe', 4, true, false);
INSERT INTO cetartiodactyles VALUES ('Chameau', 4, false, true);

CREATE TABLE primates (debout boolean) INHERITS (mammiferes);
INSERT INTO primates (nom, debout) VALUES ('Chimpanzé', false);
INSERT INTO primates (nom, debout) VALUES ('Homme', true);

\d+ primates

                    Table "public.primates"
   Column   |  Type   | Collation | Nullable | Default | …
------------+---------+-----------+----------+---------+---
 nom        | text    |           | not null |         | …
 nb_membres | integer |           |          | 4       | …
 debout     | boolean |           |          |         | …
Inherits: mammiferes
Access method: heap
```

On remarquera que la clé primaire manque. En effet, l'héritage ne transmet pas :

- les contraintes d'unicité et référentielles ;
- les index ;
- les droits.

Chaque table possède ses propres lignes :

```
SELECT * FROM poissons ;

   nom    | nb_membres | eau_douce
----------+------------+-----------
 Requin   |          4 | f
 Anguille |          0 | f
```

Par défaut une table affiche aussi le contenu de ses tables filles et les colonnes communes :

```
SELECT * FROM animaux ORDER BY 1 ;
```

```
   nom
--------------
 Anguille
 Chameau
 Chimpanzé
 Cobra
 Crocodile
 Éponge
 Girafe
 Homme
 Poulpe
 Requin
 Ver de terre
```

```
SELECT * FROM tetrapodes ORDER BY 1 ;
```

```
    nom     | nb_membres
------------+------------
 Anguille   |          0
 Chameau    |          4
 Chimpanzé  |          4
 Cobra      |          0
 Crocodile  |          4
 Girafe     |          4
 Homme      |          4
 Requin     |          4
```

```
EXPLAIN SELECT * FROM tetrapodes ORDER BY 1 ;
```

```
                                  QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Sort  (cost=420.67..433.12 rows=4982 width=36)
   Sort Key: tetrapodes.nom
   ->  Append  (cost=0.00..114.71 rows=4982 width=36)
         ->  Seq Scan on tetrapodes  (cost=0.00..0.00 rows=1 width=36)
         ->  Seq Scan on poissons  (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)
         ->  Seq Scan on reptiles  (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)
         ->  Seq Scan on mammiferes  (cost=0.00..0.00 rows=1 width=36)
         ->  Seq Scan on cetartiodactyles  (cost=0.00..22.30 rows=1230 width=36)
         ->  Seq Scan on primates  (cost=0.00..22.50 rows=1250 width=36)
```

Pour ne consulter que le contenu de la table sans ses filles :

```
SELECT * FROM ONLY animaux ;
```

```
     nom
--------------
 Éponge
 Ver de terre
```

**Limites et problèmes** :

En conséquence, on a bien affaire à des tables indépendantes. Rien n'empêche d'avoir des doublons entre la table mère et la table fille. Cela empêche aussi bien sûr la mise en place de clé étrangère,

puisqu'une clé étrangère s'appuie sur une contrainte d'unicité de la table référencée. Lors d'une insertion, voire d'une mise à jour, le choix de la table cible se fait par l'application ou un trigger sur la table mère.

Il faut être vigilant à bien recréer les contraintes et index manquants ainsi qu'à attribuer les droits sur les objets de manière adéquate. L'une des erreurs les plus fréquentes est d'oublier de créer les contraintes, index et droits qui n'ont pas été transmis.

Ce type de partitionnement est un héritage des débuts de PostgreSQL, à l'époque de la mode des « bases de donnée objet ». Dans la pratique, dans les versions antérieures à la version 10, l'héritage était utilisé pour mettre en place le partitionnement. La maintenance des index, des contraintes et la nécessité d'un trigger pour aiguiller les insertions vers la bonne table fille, ne facilitaient pas la maintenance. Les performances en écritures étaient bien en-deçà des tables classiques ou du nouveau partitionnement déclaratif.

**Table partitionnée en détournant le partitionnement par héritage** :

```
CREATE TABLE t3 (c1 integer, c2 text);
CREATE TABLE t3_1 (CHECK (c1 BETWEEN       0 AND  999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_2 (CHECK (c1 BETWEEN 1000000 AND 1999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_3 (CHECK (c1 BETWEEN 2000000 AND 2999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_4 (CHECK (c1 BETWEEN 3000000 AND 3999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_5 (CHECK (c1 BETWEEN 4000000 AND 4999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_6 (CHECK (c1 BETWEEN 5000000 AND 5999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_7 (CHECK (c1 BETWEEN 6000000 AND 6999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_8 (CHECK (c1 BETWEEN 7000000 AND 7999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_9 (CHECK (c1 BETWEEN 8000000 AND 8999999)) INHERITS (t3);
CREATE TABLE t3_0 (CHECK (c1 BETWEEN 9000000 AND 9999999)) INHERITS (t3);

-- Fonction et trigger de répartition pour les insertions :

CREATE OR REPLACE FUNCTION insert_into() RETURNS TRIGGER
LANGUAGE plpgsql
AS $FUNC$
BEGIN
  IF NEW.c1    BETWEEN       0 AND  999999 THEN
    INSERT INTO t3_1 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 1000000 AND 1999999 THEN
    INSERT INTO t3_2 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 2000000 AND 2999999 THEN
    INSERT INTO t3_3 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 3000000 AND 3999999 THEN
    INSERT INTO t3_4 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 4000000 AND 4999999 THEN
    INSERT INTO t3_5 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 5000000 AND 5999999 THEN
    INSERT INTO t3_6 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 6000000 AND 6999999 THEN
    INSERT INTO t3_7 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 7000000 AND 7999999 THEN
    INSERT INTO t3_8 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 8000000 AND 8999999 THEN
    INSERT INTO t3_9 VALUES (NEW.*);
  ELSIF NEW.c1 BETWEEN 9000000 AND 9999999 THEN
    INSERT INTO t3_0 VALUES (NEW.*);
```

```
  END IF;
  RETURN NULL;
END;
$FUNC$;

CREATE TRIGGER tr_insert_t3
BEFORE INSERT ON t3 FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE insert_into();
```

Noter qu'il reste encore à gérer les mises à jour de lignes… À cause de ce trigger, le temps d'insertion peut être allègrement multiplié par huit ou dix par rapport à une insertion dans une table normale ou dans une table avec le partitionnement déclaratif moderne.

La même table en partitionnement déclaratif par liste est :

```
CREATE TABLE t2 (c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (      0) TO ( 1000000);
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1000000) TO ( 2000000);
CREATE TABLE t2_3 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (2000000) TO ( 3000000);
CREATE TABLE t2_4 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (3000000) TO ( 4000000);
CREATE TABLE t2_5 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (4000000) TO ( 5000000);
CREATE TABLE t2_6 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (5000000) TO ( 6000000);
CREATE TABLE t2_7 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (6000000) TO ( 7000000);
CREATE TABLE t2_8 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (7000000) TO ( 8000000);
CREATE TABLE t2_9 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (8000000) TO ( 9000000);
CREATE TABLE t2_0 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (9000000) TO (10000000);
```

Si le partitionnement par héritage fonctionne toujours sur les versions récentes de PostgreSQL, il est déconseillé pour les nouveaux développements.

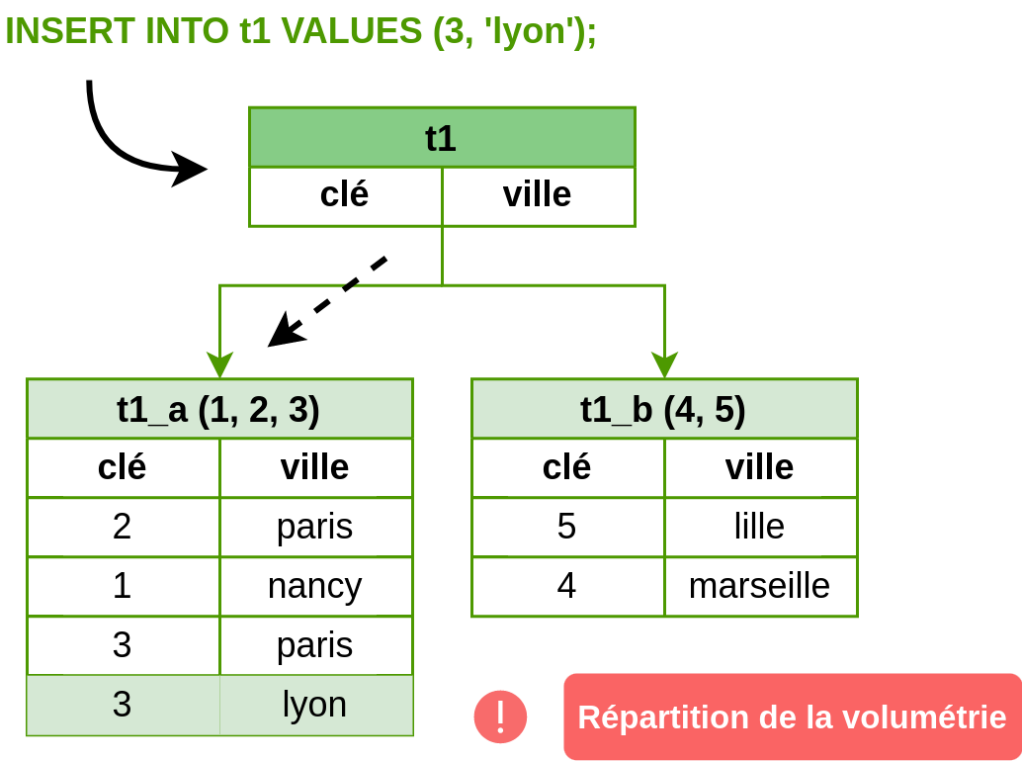
## 4.5 PARTITIONNEMENT DÉCLARATIF

- Préférer version 13+
- Mise en place et administration simplifiées (intégrées au moteur)
- Gestion automatique des lectures et écritures (et rapide)
- Partitions
  - attacher/détacher une partition
  - contrainte implicite de partitionnement
  - expression possible pour la clé de partitionnement
  - sous-partitions possibles
  - partition par défaut

Le partitionnement déclaratif est le système à privilégier de nos jours. Apparu en version 10, il est à présent mûr. Son but est de permettre une mise en place et une administration simples des tables partitionnées. Des clauses spécialisées ont été ajoutées aux ordres SQL, comme `CREATE TABLE` et `ALTER TABLE`, pour attacher (`ATTACH PARTITION`) et détacher des partitions (`DETACH PARTITION`).

Au niveau de la simplification de la mise en place par rapport à l'ancien partitionnement par héritage, on peut noter qu'il n'est pas nécessaire de créer une fonction *trigger* ni d'ajouter des *triggers* pour gérer les insertions et mises à jour. Le routage est géré de façon automatique en fonction de la définition des partitions, au besoin vers une partition par défaut, et sans pénalité notable en performances. Contrairement au partitionnement par héritage, la table partitionnée ne contient pas elle-même de ligne, ce n'est qu'une coquille vide.

### 4.5.1 Partitionnement par liste




### 4.5.2 Partitionnement par liste : implémentation

- Liste de valeurs par partition
  - statut, client, pays, année ou mois…
- Clé de partitionnement forcément mono-colonne
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1) ;

CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
…
```

Il est possible de partitionner une table par valeurs. Ce type de partitionnement fonctionne uniquement avec une clé de partitionnement mono-colonne (on verra qu'il est possible de sous-

partitionner). Il faut que le nombre de valeurs soit assez faible pour être listé explicitement. Le partitionnement par liste est adapté par exemple au partitionnement par :

- type d'un objet ;
- client final (si peu de clients) ;
- géographie : pays, entité commerciale, entrepôt… ;
- statut d'un objet, pour isoler les données froides dans leur partition ;
- année ou mois (ne pas oublier de créer régulièrement de nouvelles partitions) pour faciliter les purges.

Voici un exemple de création d'une table partitionnée par liste et de ses partitions :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1);

CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
```

Les noms des partitions sont à définir par l'utilisateur, il n'y a pas d'automatisme ni de convention particulière.

Lors de l'insertion, les données sont correctement redirigées vers leur partition, comme le montre cette requête :

```
INSERT INTO t1 VALUES (1);
INSERT INTO t1 VALUES (2);
INSERT INTO t1 VALUES (5);
SELECT tableoid::regclass, * FROM t1;
```

```
 tableoid | c1 | c2
----------+----+----
 t1_a     |  1 |
 t1_a     |  2 |
 t1_b     |  5 |
```

Il est aussi possible d'interroger directement une partition (ici `t1_a` et non `t1`) :

```
SELECT * FROM t1_a ;
```

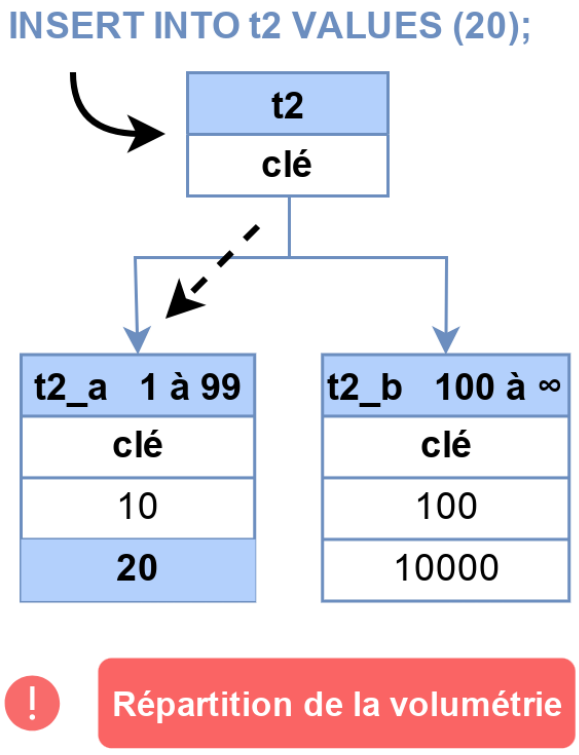
```
 c1 | c2
----+----
  1 |
  2 |
```

Si aucune partition correspondant à la clé insérée n'est trouvée et qu'aucune partition par défaut n'est déclarée, une erreur se produit.

```
INSERT INTO t1 VALUES (0);

ERROR:  no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL:  Partition key of the failing row contains (c1) = (0).

INSERT INTO t1 VALUES (6);

ERROR:  no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL:  Partition key of the failing row contains (c1) = (6).
```

Si la clé de partitionnement d'une ligne est modifiée par un `UPDATE`, la ligne change automatiquement de partition (sauf en version 10, où ce n'est pas implémenté, et l'on obtient une erreur).

### 4.5.3 Partitionnement par intervalle



### 4.5.4 Partitionnement par intervalle : implémentation

- Clé de partitionnement mono- ou multicolonne
  - dates, id…
- Bornes :
  - supérieure exclue
  - `MINVALUE` / `MAXVALUE` pour infinis
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);

CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1) TO (100);
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (100) TO (MAXVALUE);
…
```

Le partitionnement par intervalle est très courant quand il y a de nombreuses valeurs différentes de la clé de partitionnement, ou qu'elle doit être multicolonne, par exemple :

- selon une tranche de dates, notamment pour faciliter des purges ;
- selon des plages d'identifiants d'objets : client final, produit…

Voici un exemple de création de la table partitionnée et de deux partitions :

```
CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text) PARTITION BY RANGE (c1);
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (1) to (100);
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2 FOR VALUES FROM (100) TO (MAXVALUE);
```

Le `MAXVALUE` indique la valeur maximale du type de données : `t2_2` acceptera donc tous les entiers supérieurs ou égaux à 100.

Noter que les bornes supérieures des partitions sont **exclues** ! La valeur 100 ira donc dans la seconde partition.

Lors de l'insertion, les données sont redirigées vers leur partition, s'il y en a une :

```
INSERT INTO t2 VALUES (0);

ERROR:  no PARTITION OF relation "t2" found for row
DETAIL:  Partition key of the failing row contains (c1) = (0).

INSERT INTO t2 VALUES (10, 'dix');

INSERT INTO t2 VALUES (100, 'cent');
INSERT INTO t2 VALUES (10000, 'dix mille');
SELECT * FROM t2 ;
```

```
  c1   |    c2
-------+-----------
    10 | dix
   100 | cent
 10000 | dix mille
(3 lignes)
```

```
SELECT * FROM t2_2 ;
```

```
  c1   |    c2
-------+-----------
   100 | cent
 10000 | dix mille
(2 lignes)
```

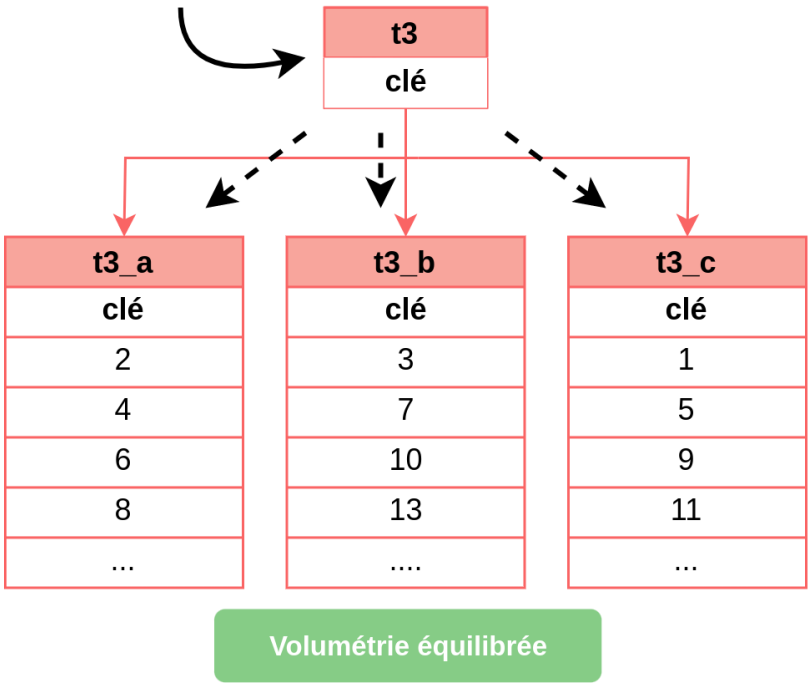
La colonne système `tableoid` permet de connaître la partition d'où provient une ligne :

```
SELECT ctid, tableoid::regclass, * FROM t2 ;
```

```
 ctid  | tableoid |  c1   |    c2
-------+----------+-------+-----------
 (0,1) | t2_1     |    10 | dix
 (0,1) | t2_2     |   100 | cent
 (0,2) | t2_2     | 10000 | dix mille
```

### 4.5.5 Partitionnement par hachage

INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 100) ;




### 4.5.6 Partitionnement par hachage : principe

Pour une répartition uniforme des données :

- Hachage de valeurs par partition
  - indiquer un modulo et un reste
- Clé de partitionnement mono- ou multicolonnes
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t3(c1 integer, c2 text) PARTITION BY HASH (c1);

CREATE TABLE t3_a PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 0);
CREATE TABLE t3_b PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 1);
CREATE TABLE t3_c PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3,remainder 2);
```

Si la clé de partitionnement n'est pas évidente et que le besoin est surtout de répartir la volumétrie

en partitions de tailles équivalentes, le partitionnement par hachage est adapté. Voici comment partitionner par hachage une table en trois partitions :

```
CREATE TABLE t3(c1 integer, c2 text) PARTITION BY HASH (c1);
CREATE TABLE t3_1 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 0);
CREATE TABLE t3_2 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 1);
CREATE TABLE t3_3 PARTITION OF t3 FOR VALUES WITH (modulus 3, remainder 2);
```

Une grosse insertion de données répartira les données de manière équitable entre les différentes partitions :

```
INSERT INTO t3 SELECT generate_series(1, 1000000);

SELECT relname, count(*) FROM t3
JOIN pg_class ON t3.tableoid=pg_class.oid
GROUP BY 1;

 relname | count
---------+--------
 t3_1    | 333263
 t3_2    | 333497
 t3_3    | 333240
```

### 4.5.7 Clé de partitionnement multicolonne

- Clé sur plusieurs colonnes :
  - si partitionnement par intervalle ou hash (pas par liste)
  - et si 1er champ toujours présent
- Syntaxe :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text, c3 date)
PARTITION BY RANGE (c1, c3) ;

CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1
FOR VALUES FROM (1,'2017-08-10') TO (100, '2017-08-11') ;
…
```

Avec le partitionnement par intervalle, il est possible de créer les partitions en utilisant plusieurs colonnes. On profitera de l'exemple ci-dessous pour montrer l'utilisation conjointe de tablespaces différents. Commençons par créer les tablespaces :

```
CREATE TABLESPACE ts0 LOCATION '/tablespaces/ts0';
CREATE TABLESPACE ts1 LOCATION '/tablespaces/ts1';
CREATE TABLESPACE ts2 LOCATION '/tablespaces/ts2';
CREATE TABLESPACE ts3 LOCATION '/tablespaces/ts3';
```

Créons maintenant la table partitionnée et deux partitions :

```
CREATE TABLE t2(c1 integer, c2 text, c3 date not null)
       PARTITION BY RANGE (c1, c3);
CREATE TABLE t2_1 PARTITION OF t2
       FOR VALUES FROM (1,'2017-08-10') TO (100, '2017-08-11')
       TABLESPACE ts1;
CREATE TABLE t2_2 PARTITION OF t2
       FOR VALUES FROM (100,'2017-08-11') TO (200, '2017-08-12')
       TABLESPACE ts2;
```

La borne supérieure étant exclue, la valeur `(100, '2017-08-11')` fera donc partie de la seconde partition. Si les valeurs sont bien comprises dans les bornes, tout va bien :

```
INSERT INTO t2 VALUES (1, 'test', '2017-08-10');
INSERT INTO t2 VALUES (150, 'test2', '2017-08-11');
```

Mais si la valeur pour `c1` est trop petite :

```
INSERT INTO t2 VALUES (0, 'test', '2017-08-10');

ERROR:  no partition of relation "t2" found for row
DÉTAIL : Partition key of the failing row contains (c1, c3) = (0, 2017-08-10).
```

De même, si la valeur pour `c3` (colonne de type date) est antérieure :

```
INSERT INTO t2 VALUES (1, 'test', '2017-08-09');

ERROR:  no partition of relation "t2" found for row
DÉTAIL : Partition key of the failing row contains (c1, c3) = (1, 2017-08-09).
```

Les valeurs spéciales `MINVALUE` et `MAXVALUE` permettent de ne pas indiquer de valeur de seuil limite. Les partitions `t2_0` et `t2_3` pourront par exemple être déclarées comme suit et permettront d'insérer les lignes qui étaient ci-dessus en erreur.

```
CREATE TABLE t2_0 PARTITION OF t2
       FOR VALUES FROM (MINVALUE, MINVALUE) TO (1,'2017-08-10')
       TABLESPACE ts0;

CREATE TABLE t2_3 PARTITION OF t2
       FOR VALUES FROM (200,'2017-08-12') TO (MAXVALUE, MAXVALUE)
       TABLESPACE ts3;
```

Enfin, on peut consulter la table `pg_class` afin de vérifier la présence des différentes partitions :

```
ANALYZE t2;
SELECT relname,relispartition,relkind,reltuples
FROM pg_class WHERE relname LIKE 't2%';

 relname | relispartition | relkind | reltuples
---------+----------------+---------+-----------
 t2      | f              | p       |         0
 t2_0    | t              | r       |         2
 t2_1    | t              | r       |         1
 t2_2    | t              | r       |         1
 t2_3    | t              | r       |         0
```

**Performances** :

Si le premier champ de la clé de partitionnement n'est pas fourni, il semble que l'optimiseur ne sache pas cibler correctement les partitions. Il balaiera toutes les partitions. Ce peut être gênant si ce premier champ n'est pas systématiquement présent dans les requêtes.

Le sous-partitionnement est une alternative à étudier, également plus souple.

Il faut faire attention à ce que le nombre de combinaisons possibles ne mène pas à trop de partitions.

### 4.5.8 Sous-partitionnement

S'il y a deux chemins d'accès privilégiés :

```
CREATE TABLE objets (id int, statut int, annee int, t text)
 PARTITION BY LIST (statut) ;

CREATE TABLE objets_123
 PARTITION OF objets FOR VALUES IN (1, 2, 3)
 PARTITION BY LIST (annee) ;

CREATE TABLE objets_123_2023
 PARTITION OF objets_123 FOR VALUES IN (2023) ;
CREATE TABLE objets_123_2024
 PARTITION OF objets_123 FOR VALUES IN (2024) ;

CREATE TABLE objets_45
 PARTITION OF objets FOR VALUES IN (4,5) ;
```

- Plus souple que le partitionnement multicolonne

**Principe** :

Les partitions sont des tables à part entière, qui peuvent donc être elles-mêmes partitionnées. Ce peut être utile si les requêtes alternent entre deux schémas d'accès.

**Exemple** :

L'exemple ci-dessus crée deux partitions selon `statut` (`objets_123` et `objets_45`). La première partition est elle-même sous-partitionnée par année (`objets_123_2023` et `objets_123_2024`). Cela permet par exemple, de faciliter la purge des données ou d'accélérer le temps de traitement si l'on requête sur une année entière. Il n'a pas été jugé nécessaire de sous-partitionner la seconde partition `objets_45` (par exemple parce qu'elle est petite).

```
\dt objets*
                    Liste des relations
 Schéma |       Nom       |        Type        | Propriétaire
--------+-----------------+--------------------+--------------
 public | objets          | table partitionnée | postgres
```

```
 public | objets_123      | table partitionnée | postgres
 public | objets_123_2023 | table              | postgres
 public | objets_123_2024 | table              | postgres
 public | objets_45       | table              | postgres
```

Il n'est pas obligatoire de sous-partitionner avec la même technique (liste, intervalle, hachage…) que le partitionnement de plus haut niveau.

Il n'y a pas besoin de fournir la première clé de partitionnement pour que les sous-partitions soient directement accessibles :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE annee = 2023 ;
```

```
                QUERY PLAN
------------------------------------------
 Append
   ->  Seq Scan on objets_123_2023 objets_1
         Filter: (annee = 2023)
   ->  Seq Scan on objets_45 objets_2
         Filter: (annee = 2023)
```

Fournir uniquement la première clé de partitionnement entraînera le parcours de toutes les sous-partitions concernées :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE statut = 3 ;
```

```
                QUERY PLAN
------------------------------------------
 Append
   ->  Seq Scan on objets_123_2023 objets_1
         Filter: (statut = 3)
   ->  Seq Scan on objets_123_2024 objets_2
         Filter: (statut = 3)
```

Bien sûr, l'idéal est de fournir les deux clés de partitionnement pour n'accéder qu'à une partition :

```
EXPLAIN (COSTS OFF) SELECT * FROM objets
WHERE statut = 3 AND annee = 2024 ;
```

```
                QUERY PLAN
-------------------------------------------
 Seq Scan on objets_123_2024 objets
   Filter: ((statut = 3) AND (annee = 2024))
```

Cette fonctionnalité peut être ponctuellement utile, mais il ne faut pas en abuser en raison de la complexité supplémentaire. Toutes les clés de partitionnement devront se retrouver dans les clés primaires techniques des tables. Le nombre de partitions peut devenir très important.

**Comparaison avec le partitionnement multicolonne** :

Le partitionnement multicolonne est conceptuellement plus simple. Pour un même besoin, le nombre de partitions est identique. Mais le sous-partitionnement est plus souple :

- mélange possible des types de partitionnement (par exemple un partitionnement par liste sous-partitionné par intervalle de dates) ;
- type de sous-partitionnement différent possible selon les partitions.

### 4.5.9 Partition par défaut

- Pour le partitionnement par liste ou par intervalle
- Toutes les données n'allant pas dans les partitions définies iront dans la partition par défaut

```
CREATE TABLE t2_autres PARTITION OF t2 DEFAULT ;
```

- La conserver petite

Ajouter une partition par défaut permet de ne plus avoir d'erreur au cas où une partition n'est pas définie. Par exemple :

```
CREATE TABLE t1(c1 integer, c2 text) PARTITION BY LIST (c1);
CREATE TABLE t1_a PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_b PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);

INSERT INTO t1 VALUES (0);

ERROR:  no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL:  Partition key of the failing row contains (c1) = (0).

INSERT INTO t1 VALUES (6);

ERROR:  no PARTITION OF relation "t1" found for row
DETAIL:  Partition key of the failing row contains (c1) = (6).

-- partition par défaut
CREATE TABLE t1_defaut PARTITION OF t1 DEFAULT ;
-- on réessaie l'insertion
INSERT INTO t1 VALUES (0);
INSERT INTO t1 VALUES (6);

SELECT tableoid::regclass, * FROM t1;

 tableoid  | c1 | c2
-----------+----+----
 t1_a      |  1 |
 t1_a      |  2 |
 t1_b      |  5 |
 t1_defaut |  0 |
 t1_defaut |  6 |
```

Comme la partition par défaut risque d'être parcourue intégralement à chaque ajout d'une nouvelle partition, il vaut mieux la garder de petite taille.

Un partitionnement par hachage ne peut posséder de table par défaut puisque les données sont forcément aiguillées vers une partition ou une autre.

### 4.5.10 Attacher une partition

`ALTER TABLE … ATTACH PARTITION … FOR VALUES … ;`

- La table doit préexister
- Vérification du respect de la contrainte par les données existantes
  - parcours complet de la table
  - potentiellement lent !
  - …sauf si contrainte `CHECK` identique déjà ajoutée
- Si la partition par défaut a des données qui iraient dans cette partition :
  - erreur à l'ajout de la nouvelle partition
  - détacher la partition par défaut
  - ajouter la nouvelle partition
  - déplacer les données de l'ancienne partition par défaut
  - ré-attacher la partition par défaut

Ajouter une table comme partition d'une table partitionnée est possible mais cela nécessite de vérifier que la contrainte de partitionnement est valide pour toute la table attachée, et que la partition par défaut ne contient pas de données qui devraient figurer dans cette nouvelle partition. Cela résulte en un parcours complet de la table attachée, et de la partition par défaut si elle existe, ce qui sera d'autant plus lent qu'elles sont volumineuses.

Ce peut être très coûteux en disque, mais le plus gros problème est la durée du verrou sur la table partitionnée, pendant toute cette opération. Il est donc conseillé d'ajouter une contrainte `CHECK` adéquate **avant** l'`ATTACH` : la durée du verrou sera raccourcie d'autant.

Si des lignes pour cette nouvelle partition figurent déjà dans la partition par défaut, des opérations supplémentaires sont à réaliser pour les déplacer. Ce n'est pas automatique.

**Exemple** :

```
\set ECHO all
\set timing off

DROP TABLE IF EXISTS t1 ;

-- Une table partitionnée avec partition par défaut
CREATE TABLE t1 (c1 integer, filler char (10)) PARTITION BY LIST (c1);
CREATE TABLE t1_123 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (1, 2, 3);
CREATE TABLE t1_45 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (4, 5);
CREATE TABLE t1_default  PARTITION OF t1 DEFAULT ;

-- Données d'origine
INSERT INTO t1 SELECT 1+mod(i,5) FROM generate_series (1,5000000) i;
-- Les données sont bien dans les partitions t1_123 et t1_45
```

```
SELECT tableoid::regclass, c1, count(*) FROM t1
GROUP BY 1,2 ORDER BY c1 ;

-- Création d'une table pour les valeurs 6 à attacher
CREATE TABLE t1_6 (LIKE t1 INCLUDING ALL) ;
INSERT INTO t1_6 SELECT 6 FROM generate_series (1,1000000);

\dt+ t1*

\timing on
-- on attache la table : elle est scannée, ce qui est long
ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_6 FOR VALUES IN (6) ;
-- noter la nouvelle contrainte sur la table
\d+ t1_6
-- on la détache, la contrainte a disparu
ALTER TABLE t1 DETACH PARTITION t1_6 ;
\d+ t1_6

-- on remet manuellement la même contrainte que ci-dessus
-- (ce qui reste long mais ne pose pas de verrou sur t1)
ALTER TABLE t1_6 ADD CONSTRAINT t1_6_ck CHECK(c1 IS NOT NULL AND c1 = 6) ;
\d+ t1_6
-- l'ATTACH est cette fois presque instantané
ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_6 FOR VALUES IN (6) ;

\timing off

-- On insère par erreur des valeurs 7 sans avoir fait la partition
-- (et sans avoir le droit de les enlever de t1 ensuite)
INSERT INTO t1 SELECT 7 FROM generate_series (1,100);
-- Créer la partition échoue avec "constraint for default partition "t1_default"
 ↪  would be violated""
CREATE TABLE t1_7 PARTITION OF t1 FOR VALUES IN (7);

-- Pour corriger cela, au sein d'une transaction,
-- on transfére les données de la partition par défaut
-- vers une nouvelle table qui est ensuite attachée
CREATE TABLE t1_7 (LIKE t1 INCLUDING ALL) ;
ALTER TABLE t1_7 ADD CONSTRAINT t1_7_ck CHECK(c1 IS NOT NULL AND c1 = 7) ;
BEGIN ;
    INSERT INTO t1_7 SELECT * FROM t1_default WHERE c1=7 ;
    DELETE FROM t1_default WHERE c1=7 ;
    ALTER TABLE t1 ATTACH PARTITION t1_7 FOR VALUES IN (7) ;
COMMIT ;
```

### 4.5.11 Détacher une partition

```
ALTER TABLE … DETACH PARTITION …
```

- Simple et rapide
- Mais nécessite un verrou exclusif
  - option `CONCURRENTLY` (v14+)

Détacher une partition est beaucoup plus rapide qu'en attacher une. En effet, il n'est pas nécessaire de procéder à des vérifications sur les données des partitions. La partition détachée devient alors une table tout à fait classique. Elle conserve les index, contraintes, etc. dont elle a pu hériter de la table partitionnée originale.

Cependant, il reste nécessaire d'acquérir un verrou exclusif sur la table partitionnée, ce qui peut prendre du temps si des transactions sont en cours d'exécution. L'option `CONCURRENTLY` (à partir de PostgreSQL 14) mitige le problème malgré quelques restrictions[2], notamment : pas d'utilisation dans une transaction, incompatibilité avec la présence d'une partition par défaut, et nécessité d'une commande `FINALIZE` si l'ordre a échoué ou été interrompu.

### 4.5.12 Supprimer une partition

```
DROP TABLE nom_partition ;
```

Une partition étant une table, supprimer la table revient à supprimer la partition, et bien sûr les données qu'elle contient. Il n'y a pas besoin de la détacher explicitement auparavant. L'opération est simple et rapide, mais demande un verrou exclusif.

Il est fréquent de partitionner par date pour profiter de cette facilité dans la purge des vieilles données, et réduire énormément sa durée mais aussi les écritures de journaux.

[2] https://docs.postgresql.fr/current/sql-altertable.html#SQL-ALTERTABLE-DETACH-PARTITION

### 4.5.13 Fonctions de gestion et vues système

- Sous psql : `\dP`
- `pg_partition_tree ('logs')` : liste entière des partitions
- `pg_partition_root ('logs_2019')` : racine d'une partition
- `pg_partition_ancestors ('logs_201901')` : parents d'une partition

Voici le jeu de tests pour l'exemple qui suivra. Il illustre également l'utilisation de sous-partitions (ici sur la même clé, mais cela n'a rien d'obligatoire).

```
-- Table partitionnée
CREATE TABLE logs (dreception timestamptz, contenu text) PARTITION BY
 ↪  RANGE(dreception);
-- Partition 2018, elle-même partitionnée
CREATE TABLE logs_2018 PARTITION OF logs FOR VALUES FROM ('2018-01-01') TO
 ↪  ('2019-01-01')
                       PARTITION BY range(dreception);
-- Sous-partitions 2018
CREATE TABLE logs_201801 PARTITION OF logs_2018 FOR VALUES FROM ('2018-01-01') TO
 ↪  ('2018-02-01');
CREATE TABLE logs_201802 PARTITION OF logs_2018 FOR VALUES FROM ('2018-02-01') TO
 ↪  ('2018-03-01');
…
-- Idem en 2019
CREATE TABLE logs_2019 PARTITION OF logs FOR VALUES FROM ('2019-01-01') TO
 ↪  ('2020-01-01')
                       PARTITION BY range(dreception);
CREATE TABLE logs_201901 PARTITION OF logs_2019 FOR VALUES FROM ('2019-01-01') TO
 ↪  ('2019-02-01');
…
```

Et voici le test des différentes fonctions :

```
SELECT pg_partition_root('logs_2019');

 pg_partition_root
-------------------
 logs

SELECT pg_partition_root('logs_201901');

 pg_partition_root
-------------------
 logs

SELECT pg_partition_ancestors('logs_2018');

 pg_partition_ancestors
------------------------
 logs_2018
 logs
```

```
SELECT pg_partition_ancestors('logs_201901');
```

```
 pg_partition_ancestors
------------------------
 logs_201901
 logs_2019
 logs
```

```
SELECT * FROM pg_partition_tree('logs');
```

```
    relid    | parentrelid | isleaf | level
-------------+-------------+--------+-------
 logs        |             | f      |     0
 logs_2018   | logs        | f      |     1
 logs_2019   | logs        | f      |     1
 logs_201801 | logs_2018   | t      |     2
 logs_201802 | logs_2018   | t      |     2
 logs_201901 | logs_2019   | t      |     2
```

Noter les propriétés de « feuille » (*leaf*) et le niveau de profondeur dans le partitionnement.

Sous psql, `\d` affichera toutes les tables, partitions comprises, ce qui peut vite encombrer l'affichage. `\dP` affiche uniquement les tables et index partitionnés :

```
=# \dP
                Liste des relations partitionnées
 Schéma |   Nom    | Propriétaire |        Type        |  Table
--------+----------+--------------+--------------------+----------
 public | logs     | postgres     | table partitionnée |
 public | t2       | postgres     | index partitionné  | bigtable
```

La table système `pg_partitioned_table`[3] permet des requêtes plus complexes. Le champ `pg_class.relpartbound`[4] contient les définitions des clés de partitionnement.

Pour masquer les partitions dans certains outils, il peut être intéressant de déclarer les partitions dans un schéma différent de la table principale.
Dans un cadre « multitenant » avec de nombreux schémas, et des partitions de même noms chacune dans son schéma, positionner `search_path` permet de sélectionner implicitement la partition, facilitant la vie au développeur ou permettant de « mentir » à l'application.

[3] https://www.postgresql.org/docs/current/catalog-pg-partitioned-table.html
[4] https://www.postgresql.org/docs/current/catalog-pg-class.html

### 4.5.14 Clé primaire et clé de partitionnement

La clé primaire doit contenir toutes les colonnes de la clé de partitionnement.

- Idem pour une contrainte unique
- Pas un problème si on partitionne selon la clé
- Plus gênant dans d'autres cas (date, statut…)

Le partitionnement impose une contrainte importante sur la modélisation : la clé de partitionnement doit impérativement faire partie de la clé primaire (ainsi que des contraintes et index uniques). En effet, PostgreSQL ne maintient pas d'index global couvrant toutes les partitions. Il ne peut donc garantir l'unicité d'un champ qu'au sein de chaque partition.

Dans beaucoup de cas cela ne posera pas de problème, notamment si on partitionne justement sur tout ou partie de cette clé primaire. Dans d'autres cas, c'est plus gênant. Si la vraie clé primaire est un identifiant géré par la base à l'insertion (`serial` ou `IDENTITY`), le risque reste limité. Mais avec des identifiants générés côté applicatif, il y a un risque d'introduire un doublon. Dans le cas où les valeurs de la clé de partitionnement ne sont pas une simple constante (par exemple des dates au lieu d'une seule année), le problème peut être mitigé en ajoutant une contrainte unique directement sur chaque partition, garantissant l'unicité de la clé primaire réelle au moins au sein de la partition.

Une solution générale est de créer une autre table non partitionnée avec la clé primaire réelle, et une contrainte vers cette table depuis la table partitionnée. Conceptuellement, cela est équivalent à ne pas partitionner une grosse table mais à en « sortir » les données dans une sous-table partitionnée portant une contrainte.

**Exemple** :

```
-- On voudrait partitionner ainsi mais le moteur refuse
CREATE TABLE factures_p
                  (id bigint PRIMARY KEY,
                   d timestamptz,
                   id_client int NOT NULL,
                   montant_c int NOT NULL DEFAULT 0)
PARTITION BY RANGE (d);

ERROR:  unique constraint on partitioned table must include all partitioning columns
DÉTAIL : PRIMARY KEY constraint on table "factures_p" lacks column "d" which is part
 ↪  of the partition key.

-- On se rabat sur une clé primaire incluant la date
CREATE TABLE factures_p
                  (id bigint NOT NULL,
                   d timestamptz NOT NULL,
                   id_client int,
                   montant_c int,
                   PRIMARY KEY (id, d)
                   )
PARTITION BY RANGE (d);
```

```
CREATE TABLE factures_p_202310 PARTITION OF factures_p
  FOR VALUES FROM ('2023-10-01') TO ('2023-11-01');
CREATE TABLE factures_p_202311 PARTITION OF factures_p
  FOR VALUES FROM ('2023-11-01') TO ('2023-12-01');
ALTER TABLE factures_p_202310 ADD CONSTRAINT factures_p_202310_uq UNIQUE (id);
-- Ces contraintes sécurisent les clés primaire au niveau partition
ALTER TABLE factures_p_202311 ADD CONSTRAINT factures_p_202311_uq UNIQUE (id);
-- Ajout de quelques lignes de 1 à 5 sur les deux partitions
INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
SELECT i, '2023-10-26'::timestamptz+i*interval '2 days', 42 FROM generate_series
 ↪  (1,5) i;

BEGIN ;
-- Ce doublon est accepté car les deux valeurs 3 ne sont pas dans la même partition
INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
SELECT 3, '2023-11-01'::timestamptz-interval '1s', 42 ;
-- Vérification que 3 est en double
SELECT tableoid::regclass, id, d FROM factures_p ORDER BY id ;
ROLLBACK ;

-- Cette table permet de garantir l'unicité dans toutes les partitions
CREATE TABLE factures_ref (id bigint NOT NULL PRIMARY KEY,
                      d timestamptz NOT NULL,
                      UNIQUE (id,d) -- nécessaire pour la contrainte
                      )  ;

INSERT INTO factures_ref SELECT id,d FROM factures_p ;

-- Contrainte depuis la table partitionnée
ALTER TABLE factures_p ADD CONSTRAINT factures_p_id_fk
FOREIGN KEY (id, d)  REFERENCES factures_ref (id,d);

-- Par la suite, il faut insérer chaque nouvelle valeur de `id`
-- dans les deux tables
-- Ce doublon est à présent correctement rejeté :
WITH ins AS (
    INSERT INTO factures_p (id, d, id_client)
    SELECT 3, '2023-11-01'::timestamptz-interval '1s', 42
    RETURNING id,d )
INSERT INTO factures_ref
SELECT id, d FROM ins ;

ERROR:  duplicate key value violates unique constraint "factures_ref_pkey"
DÉTAIL : Key (id)=(3) already exists.
```

### 4.5.15 Indexation

- Propagation automatique
- Index supplémentaires par partition possibles
- Clés étrangères entre tables partitionnées

Les index sont propagés de la table mère aux partitions : tout index créé sur la table partitionnée sera automatiquement créé sur les partitions existantes. Toute nouvelle partition disposera des index de la table partitionnée. La suppression d'un index se fait sur la table partitionnée et concernera toutes les partitions. Il n'est pas possible de supprimer un tel index d'une seule partition.

Gérer des index manuellement sur certaines partitions est possible. Par exemple, on peut n'avoir besoin de certains index que sur les partitions de données récentes, et ne pas les créer sur des partitions de données d'archives.

Une clé primaire ou unique peut exister sur une table partitionnée (mais elle devra contenir toutes les colonnes de la clé de partitionnement) ; ainsi qu'une clé étrangère d'une table partitionnée *vers* une table normale.

Depuis PostgreSQL 12, il est possible de créer une clé étrangère *vers* une table partitionnée de la même manière qu'entre deux tables normales. Par exemple, si les tables `ventes` et `lignes_ventes` sont toutes deux partitionnées :

```
ALTER TABLE lignes_ventes
ADD CONSTRAINT lignes_ventes_ventes_fk
FOREIGN KEY (vente_id) REFERENCES ventes (vente_id) ;
```

Noter que les versions 10 et 11 possèdent des limites sur ces fonctionnalités, que l'on peut souvent contourner en créant index et contraintes manuellement sur chaque partition.

### 4.5.16 Planification & performances

- Mettre la clé dans la requête autant que possible
- ou : cibler les partitions directement
- Temps de planification
  - nombre de tables, d'index, leurs statistisques…
  - max ~ 100 partitions
- À activer ?
  - `enable_partitionwise_aggregate`
  - `enable_partitionwise_join`

**Cibler la partition par la clé** :

Si la clé de partitionnement n'est pas fournie, l'exécution concernera toutes les partitions, qu'elles soient accédées par *Seq Scan* ou *Index Scan*.

Autant que possible, le développeur doit fournir la clé de partitionnement dans chaque requête, et le plan ciblera directement la bonne partition.

Comme avec les index, il faut vérifier que la clé est bien claire pour PostgreSQL. Si ce n'est pas le cas toutes les partitions seront lues :

```
EXPLAIN SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid + 0 = 123 LIMIT 1 ;
```

```
                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
 Limit  (cost=0.00..6.29 rows=1 width=97)
   ->  Append  (cost=0.00..314250.00 rows=50000 width=97)
         ->  Seq Scan on pgbench_accounts_1  (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
               Filter: ((aid + 0) = 123)
         ->  Seq Scan on pgbench_accounts_2  (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
               Filter: ((aid + 0) = 123)
        …
        …
               Filter: ((aid + 0) = 123)
         ->  Seq Scan on pgbench_accounts_99  (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
               Filter: ((aid + 0) = 123)
         ->  Seq Scan on pgbench_accounts_100  (cost=0.00..3140.00 rows=500 width=97)
               Filter: ((aid + 0) = 123)
```

alors que si PostgreSQL reconnaît la clé de partitionnement :

```
EXPLAIN SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;
```

```
                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
 Limit  (cost=0.29..8.31 rows=1 width=97)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1
↪  pgbench_accounts  (cost=0.29..8.31 rows=1 width=97)
         Index Cond: (aid = 123)
```

**Partition pruning** :

Dans le cas où la clé de partitionnement dépend du résultat d'un calcul, d'une sous-requête ou d'une jointure, PostgreSQL prévoit un plan concernant toutes les partitions, mais élaguera à l'exécution les appels aux partitions non concernées. Ci-dessous, seule `pgbench_accounts_8` est interrogé (et ce peut être une autre partition si l'on répète la requête) :

```
EXPLAIN (ANALYZE,COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = (SELECT (random()*1000000)::int )  ;
```

```
                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
 Append (actual time=23.083..23.101 rows=1 loops=1)
   InitPlan 1 (returns $0)
     ->  Result (actual time=0.001..0.002 rows=1 loops=1)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_2_pkey on pgbench_accounts_2 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_3_pkey on pgbench_accounts_3 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
```

```
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_4_pkey on pgbench_accounts_4 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_5_pkey on pgbench_accounts_5 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_6_pkey on pgbench_accounts_6 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_7_pkey on pgbench_accounts_7 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_8_pkey on pgbench_accounts_8 (actual
↪  time=23.077..23.080 rows=1 loops=1)
         Index Cond: (aid = $0)
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_9_pkey on pgbench_accounts_9 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
   …
   …
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_100_pkey on pgbench_accounts_100 (never
↪  executed)
         Index Cond: (aid = $0)
 Planning Time: 1.118 ms
 Execution Time: 23.341 ms
```

**Temps de planification** :

Une limitation sérieuse du partitionnement tient au temps de planification qui augmente très vite avec le nombre de partitions, même petites. En effet, chaque partition ajoute ses statistiques et souvent plusieurs index aux tables système. Par exemple, dans le cas le plus défavorable d'une session qui démarre :

```
-- Base pgbench de taille 100, non partitionnée
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;

                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
 Limit (actual time=0.021..0.022 rows=1 loops=1)
   Buffers: shared hit=4
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_pkey on pgbench_accounts (actual
↪  time=0.021..0.021 rows=1 loops=1)
         Index Cond: (aid = 123)
         Buffers: shared hit=4
 Planning:
   Buffers: shared hit=70
 Planning Time: 0.358 ms
 Execution Time: 0.063 ms

-- Base pgbench de taille 100, partitionnée en 100 partitions
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;

                                  QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------
```

```
 Limit (actual time=0.015..0.016 rows=1 loops=1)
   Buffers: shared hit=3
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1
↪   pgbench_accounts (actual time=0.015..0.015 rows=1 loops=1)
         Index Cond: (aid = 123)
         Buffers: shared hit=3
 Planning:
   Buffers: shared hit=423
 Planning Time: 1.030 ms
 Execution Time: 0.061 ms
```

La section `Planning` indique le nombre de blocs qu'une session qui démarre doit mettre en cache, liés notamment aux tables systèmes et statistiques (ce phénomène est encore une raison d'éviter des sessions trop courtes). Dans cet exemple, sur la base partitionnée, il y a presque six fois plus de ces blocs, et on triple le temps de planification, qui reste raisonnable.

En général, on considère qu'il ne faut pas dépasser 100 partitions si l'on ne veut pas pénaliser les transactions courtes. Les dernières versions de PostgreSQL sont cependant meilleures sur ce point.

Ce problème de planification est moins gênant pour les requêtes longues (analytiques).

Pour contourner cette limite, il est possible d'utiliser directement les partitions, s'il est facile pour le développeur (ou le générateur de code…) de trouver leur nom, en plus de toujours fournir la clé. Interroger directement une partition est en effet aussi rapide à planifier qu'interroger une table monolithique :

```
EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS, COSTS OFF)
SELECT * FROM pgbench_accounts_1 WHERE aid = 123 LIMIT 1 ;
```

```
                                    QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Limit (actual time=0.006..0.007 rows=1 loops=1)
   Buffers: shared hit=3
   ->  Index Scan using pgbench_accounts_1_pkey on pgbench_accounts_1 (actual
↪   time=0.006..0.006 rows=1 loops=1)
         Index Cond: (aid = 123)
         Buffers: shared hit=3
 Planning Time: 0.046 ms
 Execution Time: 0.016 ms
```

Utiliser directement les partitions est particulièrement économe si leur nombre est grand, mais on perd alors le côté « transparent » du partitionnement, et on augmente la complexité du code applicatif.

**Paramètres « partitionwise »** :

Dans des cas plus complexes, notamment en cas de jointure entre tables partitionnées, le temps de planification peut exploser. Par exemple, pour la requête suivante où la table partitionnée est jointe à elle-même, le plan sur la table non partitionnée, cache de session chaud, renvoie :

```
EXPLAIN (BUFFERS, COSTS OFF, SUMMARY ON) SELECT *
FROM pgbench_accounts a INNER JOIN pgbench_accounts b USING (aid)
WHERE a.bid = 55 ;

                                    QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Gather
   Workers Planned: 4
   ->  Nested Loop
         ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts a
               Filter: (bid = 55)
         ->  Index Scan using pgbench_accounts_pkey on pgbench_accounts b
               Index Cond: (aid = a.aid)
 Planning:
   Buffers: shared hit=16
 Planning Time: 0.168 ms
```

Avec cent partitions, le temps de planification est ici multiplié par 50 :

```
 Gather
   Workers Planned: 4
   ->  Parallel Hash Join
         Hash Cond: (b.aid = a.aid)
         ->  Parallel Append
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_1 b_1
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_2 b_2
               …
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_99 b_99
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 b_100
         ->  Parallel Hash
               ->  Parallel Append
                     ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_1 a_1
                           Filter: (bid = 55)
                     ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_2 a_2
                           Filter: (bid = 55)
                     …
                     ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_99 a_99
                           Filter: (bid = 55)
                     ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 a_100
                           Filter: (bid = 55)
 Planning Time: 5.513 ms
```

Ce plan est perfectible : il récupère tout `pgbench_accounts` et le joint à toute la table. Il serait plus intelligent de travailler partition par partition puisque la clé de jointure est celle de partitionnement. Pour que PostgreSQL cherche à faire ce genre de chose, un paramètre doit être activé :

```
SET enable_partitionwise_join TO on ;
```

Les jointures se font alors entre partitions :

```
Gather
   Workers Planned: 4
   ->  Parallel Append
         ->  Parallel Hash Join
               Hash Cond: (a_55.aid = b_55.aid)
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_55 a_55
```

```
                  Filter: (bid = 55)
               ->  Parallel Hash
                     ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_55 b_55
…
         ->  Nested Loop
               ->  Parallel Seq Scan on pgbench_accounts_100 a_100
                     Filter: (bid = 55)
               ->  Index Scan using pgbench_accounts_100_pkey on pgbench_accounts_100
↪  b_100
                     Index Cond: (aid = a_100.aid)
 Planning:
   Buffers: shared hit=1200
 Planning Time: 12.449 ms
```

Le temps d'exécution passe de 1,2 à 0,2 s, ce qui justifie les quelques millisecondes perdues en plus en planification.

Un autre paramètre est à activer si des agrégations sur plusieurs partitions sont à faire :

```
SET enable_partitionwise_aggregate TO on ;
```

`enable_partitionwise_aggregate` et `enable_partitionwise_join` sont désactivés par défaut à cause de leur coût en planification sur les petites requêtes, mais les activer est souvent rentable. Avec `SET`, cela peut se décider requête par requête.

### 4.5.17 Opérations de maintenance

- Changement de tablespace
- autovacuum/analyze
  - sur les partitions comme sur toute table
- `VACUUM`, `VACUUM FULL`, `ANALYZE`
  - sur table mère : redescendent sur les partitions
- `REINDEX`
  - avant v14 : uniquement par partition
- `ANALYZE`
  - prévoir aussi sur la table mère (manuellement…)

Les opérations de maintenance profitent grandement du fait de pouvoir scinder les opérations en autant d'étapes qu'il y a de partitions. Des données « froides » peuvent être déplacées dans un autre tablespace sur des disques moins chers, partition par partition, ce qui est impossible avec une table monolithique :

```
ALTER TABLE pgbench_accounts_8 SET TABLESPACE hdd ;
```

L'autovacuum et l'autoanalyze fonctionnent normalement et indépendamment sur chaque partition, comme sur les tables classiques. Ainsi ils peuvent se déclencher plus souvent sur les partitions actives. Par rapport à une grosse table monolithique, il y a moins souvent besoin de régler l'autovacuum.

Les ordres `ANALYZE` et `VACUUM` peuvent être effectués sur une partition, mais aussi sur la table partitionnée, auquel cas l'ordre redescendra en cascade sur les partitions (l'option `VERBOSE` permet de le vérifier). Les statistiques seront calculées par partition, donc plus précises.

Reconstruire une table partitionnée avec `VACUUM FULL` se fera généralement partition par partition. Le partitionnement permet ainsi de résoudre les cas où le verrou sur une table monolithique serait trop long, ou l'espace disque total serait insuffisant.

Noter cependant ces spécificités sur les tables partitionnées :

**REINDEX** :

À partir de PostgreSQL 14, un `REINDEX` sur la table partitionnée réindexe toutes les partitions automatiquement. Dans les versions précédentes, il faut réindexer partition par partition.

**ANALYZE** :

L'autovacuum ne crée pas spontanément de statistiques sur les données pour la table partitionnée dans son ensemble, mais uniquement partition par partition. Pour obtenir des statistiques sur toute la table partitionnée, il faut exécuter manuellement :

```
ANALYZE table_partitionnée ;
```

### 4.5.18 Sauvegardes

Sauvegarde physique : peu de différence
Avec `pg_dump` :

- `--jobs` : efficace
- `--load-via-partition-root`
- exclusion de partitions (v16+) :
  - `--table-and-children`
  - `--exclude-table-and-children`
  - `--exclude-table-data-and-children`

Grâce au partitionnement, un export par `pg_dump --jobs` devient efficace puisque plusieurs partitions peuvent être sauvegardées en parallèle.

La parallélisation peut être aussi un peu meilleure avec un outil de sauvegarde physique (comme pgBackRest ou Barman), qui parallélise les copies de fichiers, mais les grosses tables non partitionnées étaient de toute façon déjà découpées en fichier de 1 Go.

`pg_dump` a des options pour gérer l'export des tables partitionnées :

`--load-via-partition-root` permet de générer des ordres `COPY` ciblant la table mère et non la partition. Ce peut être pratique pour restaurer les données dans une base où la table est partitionnée séparément.

À partir de PostgreSQL 16, n'exporter qu'une table partitionnée se fait avec `--table-and-children` (et non `--table`/`-t` qui ne concernerait que la table mère). Exclure des tables partitionnées se fait avec `--exclude-table-and-children` (et non `--exclude-table`/`-T`). Pour exclure uniquement les données d'une table partitionnée en gardant sa structure, on utilisera `--exclude-table-data-and-children`. Ces trois options acceptent un motif (par exemple : `pgbench_accounts_*`) et peuvent être répétées dans la commande.

### 4.5.19 Limitations du partitionnement déclaratif et versions

- Pas de création automatique des partitions
- Planification : 100 partitions max conseillé
- Pas d'héritage multiple, schéma fixe
- Partitions distantes : sans propagation d'index
- PostgreSQL >= 13 conseillée !
  - limitations sur versions précédentes
  - contournement : travailler par partition

Une table partitionnée ne peut être convertie en table classique, ni vice-versa. (Par contre, une table classique peut être attachée comme partition, ou une partition détachée).

Les partitions ont forcément le même schéma de données que leur partition mère.

Leur création n'est pas automatisée : il faut les créer par avance manuellement ou par script planifié, et éventuellement prévoir une partition par défaut pour les cas qui ont pu être oubliés.

Les clés de partition ne doivent pas se recouvrir. Les contraintes ne peuvent s'exercer qu'au sein d'une même partition : les clés d'unicité doivent donc inclure toute la clé de partitionnement, les contraintes d'exclusion ne peuvent vérifier toutes les partitions.

Il n'y a pas de notion d'héritage multiple.

Éviter d'avoir trop de partitions, pour limiter les risques de dérapage du temps de planification. Si possible, cibler les requêtes directement sur les partitions qui les intéressent.

L'ordre `CLUSTER`, pour réécrire une table dans l'ordre d'un index donné, ne fonctionne pour les tables partitionnées qu'à partir de PostgreSQL 15. Il peut toutefois être exécuté manuellement table par table.

Un `TRUNCATE` d'une table distante n'est pas possible avant PostgreSQL 14.

Il est possible d'attacher comme partitions des tables distantes, généralement déclarées avec `postgres_fdw` ; cependant la propagation d'index ne fonctionnera pas sur ces tables. Il faudra les créer manuellement sur les instances distantes. (Restriction supplémentaire en version 10 : les partitions distantes ne sont accessibles qu'en lecture, si accédées *via* la table mère.)

Les partitions par défaut n'existent pas en version 10.

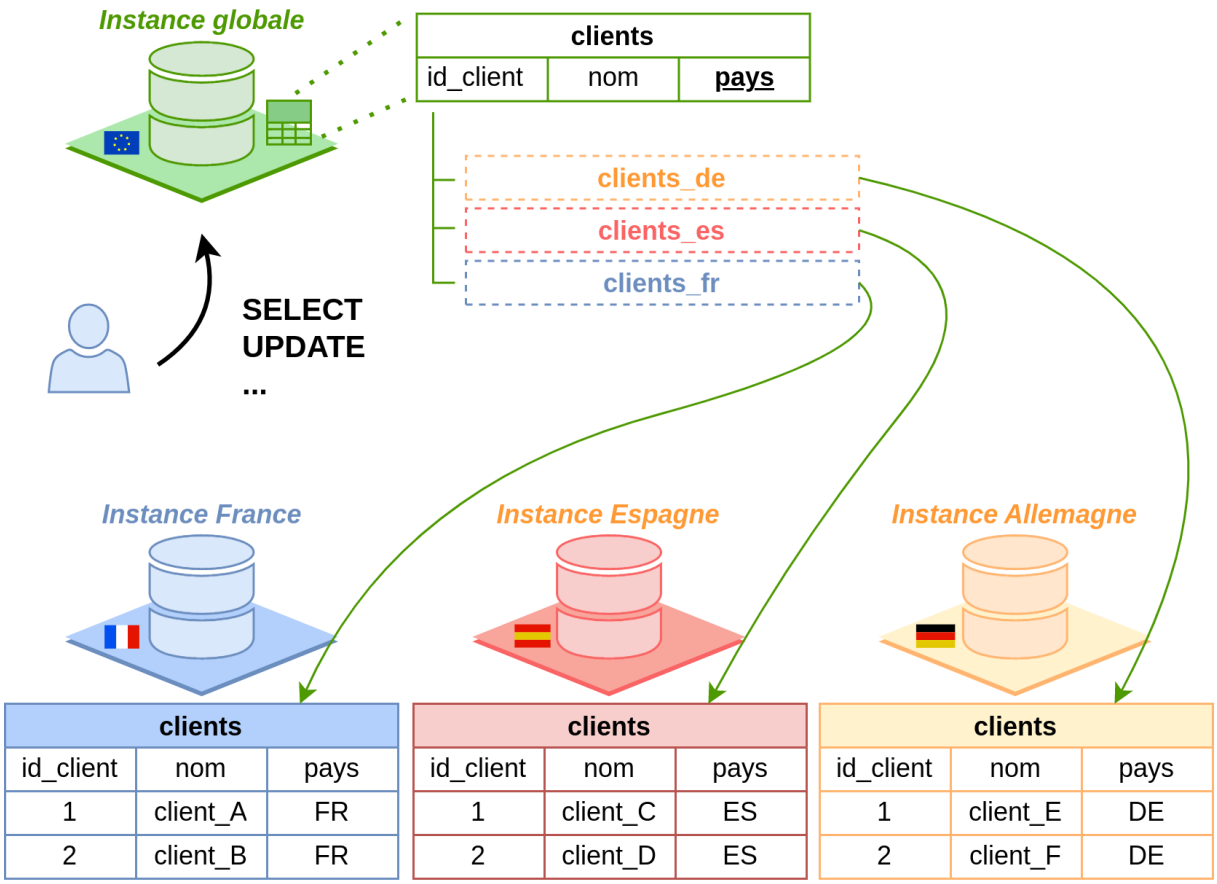
Les limitations sur les index et clés primaires et étrangères avant la version 12 ont été évoquées plus haut.

Les triggers de lignes ne se propagent pas en version 10. En v11, on peut créer des triggers `AFTER UPDATE … FOR EACH ROW`, mais les `BEFORE UPDATE … FOR EACH ROW` ne peuvent toujours pas être créés sur la table mère. Il reste là encore la possibilité de les créer partition par partition au besoin. À partir de la version 13, les triggers `BEFORE UPDATE … FOR EACH ROW` sont possibles, mais il ne permettent pas de modifier la partition de destination.

Enfin, la version 10 ne permet pas de faire une mise à jour ( `UPDATE` ) d'une ligne où la clé de partitionnement est modifiée de telle façon que la ligne doit changer de partition. Il faut faire un `DELETE` et un `INSERT` à la place.

On constate que des limitations évoquées plus haut dépendent des versions de PostgreSQL. Si le partitionnement vous intéresse, il est conseillé d'utiliser une version la plus récente possible, au moins PostgreSQL 13.

## 4.6 TABLES DISTANTES & SHARDING




- Tables distantes comme partitions : sharding
- (v14+) Interrogation simultanée asynchrone

Il est possible d'attacher comme partitions des tables distantes (situées sur d'autres serveurs), généralement déclarées avec le *Foreign Data Wrapper* `postgres_fdw`.

NB : Dans le reste de ce chapitre, nous nommerons **table étrangère** (*foreign table* dans la documentation officielle) l'objet qui sert d'interface pour accéder, depuis l'instance locale, à la **table distante** (*remote table*), qui contient réellement les données.

Par exemple, si trois instances en France, Allemagne et Espagne possèdent chacune des tables `clients` et `commandes` ne contenant que les données de leur pays, on peut créer une autre instance utilisant des tables étrangères pour accéder aux trois tables, chaque table étrangère étant une partition d'une table partitionnée de cette instance européene.

Pour les instances nationales, cette instance européenne n'est qu'un client comme un autre, qui envoie des requêtes, et ouvre parfois des curseurs (fonctionnement normal de `postgres_fdw`). Si le

pays est précisé dans une requête, la bonne partition est ciblée, et l'instance européenne n'interroge qu'une seule instance nationale.

La maquette suivante donne une idée du fonctionnement :

```
-- Maquette rapide sous psql de sharding
-- avec trois bases demosharding_fr , _de, _es
-- et une base globale pour le requêtage

\set timing off
\set ECHO all
\set ON_ERROR_STOP 1

\connect postgres postgres serveur1
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_fr ;
CREATE DATABASE demosharding_fr ;
ALTER DATABASE demosharding_fr SET log_min_duration_statement TO 0 ;
\connect postgres postgres serveur2
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_de ;
CREATE DATABASE demosharding_de ;
ALTER DATABASE demosharding_de SET log_min_duration_statement TO 0 ;
\connect postgres postgres serveur3
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_es ;
CREATE DATABASE demosharding_es ;
ALTER DATABASE demosharding_es SET log_min_duration_statement TO 0 ;

\connect postgres postgres serveur4
DROP DATABASE IF EXISTS demosharding_global ;
CREATE DATABASE demosharding_global ;
ALTER DATABASE demosharding_global SET log_min_duration_statement TO 0 ;

-- Tables identiques sur chaque serveur
\connect demosharding_fr postgres serveur1

CREATE TABLE clients    (id_client  int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                         nom        text,
                         pays       char (2) DEFAULT 'FR' CHECK (pays = 'FR')
                         ) ;
CREATE TABLE commandes (id_commande  bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY  PRIMARY
 ↪  KEY,
                         pays        char (2) DEFAULT 'FR'  CHECK (pays = 'FR'),
                         id_client   int REFERENCES clients ,
                         montant     float
                         );

\connect demosharding_de postgres serveur2

CREATE TABLE clients    (id_client  int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                         nom        text,
                         pays       char (2) DEFAULT 'DE'  CHECK (pays = 'DE')
                         ) ;
CREATE TABLE commandes (id_commande  bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                         pays        char (2) DEFAULT 'DE'  CHECK (pays = 'DE') ,
                         id_client   int  REFERENCES clients,
                         montant     float
```

```
                        );

\connect demosharding_es postgres serveur3

CREATE TABLE clients    (id_client  int GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        nom         text,
                        pays        char (2) DEFAULT 'ES'  CHECK (pays = 'ES')
                        ) ;
CREATE TABLE commandes (id_commande  bigint GENERATED ALWAYS AS IDENTITY PRIMARY KEY,
                        pays         char (2) DEFAULT 'ES'  CHECK (pays = 'ES'),
                        id_client    int REFERENCES clients ,
                        montant      float
                        );

-- Tables partitionnées globales
\connect demosharding_global postgres serveur4

CREATE TABLE clients (id_client int, nom text, pays char(2))
PARTITION BY LIST (pays);
CREATE TABLE commandes (id_commande bigint, pays char(2),
                        id_client int, montant float)
PARTITION BY LIST (pays);

-- Serveurs distants (adapter les chaines de connexion)
-- NB : l'option async_capable n existe pas avant PostgreSQL 14
CREATE EXTENSION postgres_fdw ;

CREATE SERVER dist_fr
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_fr', port '16001',
async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE SERVER dist_de
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_de', port '16001',
async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE SERVER dist_es
FOREIGN DATA WRAPPER postgres_fdw
OPTIONS (host 'localhost', dbname 'demosharding_es', port '16001',
async_capable 'on', fetch_size '10000') ;

CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_fr ;
CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_de ;
CREATE USER MAPPING IF NOT EXISTS FOR current_user SERVER dist_es ;

-- Les partitions distantes
CREATE FOREIGN TABLE clients_fr PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('FR')
SERVER dist_fr OPTIONS (table_name 'clients') ;
CREATE FOREIGN TABLE clients_de PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('DE')
SERVER dist_de OPTIONS (table_name 'clients') ;
CREATE FOREIGN TABLE clients_es PARTITION OF clients FOR VALUES IN ('ES')
SERVER dist_es OPTIONS (table_name 'clients') ;

CREATE FOREIGN TABLE commandes_fr PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('FR')
SERVER dist_fr OPTIONS (table_name 'commandes') ;
```

```
CREATE FOREIGN TABLE commandes_de PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('DE')
SERVER dist_de OPTIONS (table_name 'commandes') ;
CREATE FOREIGN TABLE commandes_es PARTITION OF commandes FOR VALUES IN ('ES')
SERVER dist_es OPTIONS (table_name 'commandes') ;

-- Alimentations des pays (séparément)

\connect demosharding_fr postgres serveur1

WITH ins_clients AS (
    INSERT INTO clients (nom)
    SELECT md5 (random()::text) FROM generate_series (1,10) i
    WHERE random()<0.8
RETURNING id_client
),
ins_commandes AS (
    INSERT INTO commandes (id_client, montant)
    SELECT c.id_client, random()*j::float
    FROM ins_clients c CROSS JOIN generate_series (1,100000) j
    WHERE random()<0.8
RETURNING *
)
SELECT count(*) FROM  ins_commandes ;

\connect demosharding_de postgres serveur2

\g

\connect demosharding_es postgres serveur3

\g

\connect demosharding_global postgres serveur4

-- Les ANALYZE redescendent sur les partitions
ANALYZE (VERBOSE) clients, commandes ;

-- Pour un plan optimal
SET enable_partitionwise_join TO on ;
SET enable_partitionwise_aggregate TO on ;

-- Requête globale : top 8 des clients
-- Plan disponible sur https://explain.dalibo.com/plan/27f964651518a65g

SELECT pays,
       nom,
       count(DISTINCT id_commande) AS nb_commandes,
       avg(montant) AS montant_avg_commande,
       sum(montant) AS montant_sum
FROM
    commandes INNER JOIN clients USING (pays, id_client)
GROUP BY 1,2
ORDER BY montant_sum DESC
LIMIT 8 ;
```

Une nouveauté de PostgreSQL 14 est ici particulièrement intéressante : l'option `async_capable` du serveur étranger (éventuellement de la table) peut être passée à `on` (le défaut est `off`). Les nœuds *Foreign Scan* typiques des accès distants sont alors remplacés par des nœuds *Async Foreign Scan* (asynchrones), et le serveur principal interroge alors simultanément les trois serveurs qui lui renvoient les données. Dans cet extrait des traces, les ordres `FETCH` sont entremêlés :

```
…user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 0.384 ms  execute <unnamed>: DECLARE c1 CURSOR FOR
        SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
…user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 0.314 ms  execute <unnamed>: DECLARE c2 CURSOR FOR
        SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
…user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 0.374 ms  execute <unnamed>: DECLARE c3 CURSOR FOR
        SELECT id_commande, pays, id_client, montant FROM public.commandes
…user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 6.081 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
…user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 5.878 ms  statement: FETCH 10000 FROM c2
…user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 6.263 ms  statement: FETCH 10000 FROM c3
…user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 2.418 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
…user=postgres,db=demosharding_de,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 2.397 ms  statement: FETCH 10000 FROM c1
…user=postgres,db=demosharding_es,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 2.423 ms  statement: FETCH 10000 FROM c2
…user=postgres,db=demosharding_fr,app=postgres_fdw,client=::1
LOG:  duration: 4.381 ms  statement: FETCH 10000 FROM c3
```

Dans cette configuration, activer les paramètres `enable_partitionwise_join` et `enable_partitionwise_aggregat` est particulièrement important. Dans l'idéal, comme dans le plan suivant (voir la version complète[5]), ces paramètres permettent que les agrégations et les jointures soient « poussées » au niveau du nœud (et calculées directement sur les serveurs distants) :

```
->  Append  (cost=6105.41..110039.12 rows=21 width=60) (actual time=330.325..594.923
↪   rows=21 loops=1)
          ->  Async Foreign Scan  (cost=6105.41..28384.99 rows=6 width=60) (actual
↪   time=2.284..2.286 rows=6 loops=1)
                Output: commandes.pays, clients.nom, (count(DISTINCT
↪   commandes.id_commande)), (avg(commandes.montant)), (sum(commandes.montant))
                Relations: Aggregate on ((public.commandes_de commandes) INNER JOIN
↪   (public.clients_de clients))
                Remote SQL: SELECT r4.pays, r7.nom, count(DISTINCT r4.id_commande),
↪   avg(r4.montant), sum(r4.montant) FROM (public.commandes r4 INNER JOIN
↪   public.clients r7 ON (((r4.pays = r7.pays)) AND ((r4.id_client =
↪   r7.id_client)))) GROUP BY 1, 2
          ->  Async Foreign Scan  (cost=6098.84..28353.37 rows=6 width=60) (actual
↪   time=2.077..2.078 rows=6 loops=1)
                Output: commandes_1.pays, clients_1.nom, (count(DISTINCT
↪   commandes_1.id_commande)), (avg(commandes_1.montant)),
↪   (sum(commandes_1.montant))
```

[5] https://explain.dalibo.com/plan/27f964651518a65g#raw

```
                Relations: Aggregate on ((public.commandes_es commandes_1) INNER
↪ JOIN (public.clients_es clients_1))
               Remote SQL: SELECT r5.pays, r8.nom, count(DISTINCT r5.id_commande),
↪ avg(r5.montant), sum(r5.montant) FROM (public.commandes r5 INNER JOIN
↪ public.clients r8 ON (((r5.pays = r8.pays)) AND ((r5.id_client =
↪ r8.id_client)))) GROUP BY 1, 2
         ->  Async Foreign Scan  (cost=9102.09..53300.65 rows=9 width=60) (actual
↪ time=2.189..2.190 rows=9 loops=1)
                Output: commandes_2.pays, clients_2.nom, (count(DISTINCT
↪ commandes_2.id_commande)), (avg(commandes_2.montant)),
↪ (sum(commandes_2.montant))
                Relations: Aggregate on ((public.commandes_fr commandes_2) INNER
↪ JOIN (public.clients_fr clients_2))
               Remote SQL: SELECT r6.pays, r9.nom, count(DISTINCT r6.id_commande),
↪ avg(r6.montant), sum(r6.montant) FROM (public.commandes r6 INNER JOIN
↪ public.clients r9 ON (((r6.pays = r9.pays)) AND ((r6.id_client =
↪ r9.id_client)))) GROUP BY 1, 2
```

Quand on utilise les tables étrangères, il est conseillée d'utiliser `EXPLAIN (VERBOSE)`, pour afficher les requêtes envoyées aux serveurs distants et vérifier que le minimum de volumétrie transite sur le réseau.

Cet exemple est une version un peu primitive de *sharding*, à réserver aux cas où les données sont clairement séparées. L'administration d'une configuration « multimaître » peut devenir compliquée : cohérence des différents schémas et des contraintes sur chaque instance, copie des tables de référence communes, risques de recouvrement des clés primaires entre bases, gestion des indisponibilités, sauvegardes cohérentes…

Noter que l'utilisation de partitions distantes rend impossible notamment la gestion automatique des index, il faut retourner à une manipulation table par table.

## 4.7 EXTENSIONS & OUTILS

- Extension pg_partman[6]
  - automatisation
- Extensions dédiées à un domaine :
  - timescaledb
  - citus

L'extension pg_partman[7], de Crunchy Data, est un complément aux systèmes de partitionnement de PostgreSQL. Elle est apparue d'abord pour automatiser le partitionnement par héritage. Elle peut être utile avec le partitionnement déclaratif, pour simplifier la maintenance d'un partitionnement sur une échelle temporelle ou de valeurs (par *range*).

PostgresPro proposait un outil nommé pg_pathman[8], à présent déprécié en faveur du partitionnement déclaratif intégré à PostgreSQL.

**timescaledb** est une extension spécialisée dans les séries temporelles. Basée sur le partitionnement par héritage, elle vaut surtout pour sa technique de compression et ses utilitaires. La version communautaire sur Github[9] ne comprend pas tout ce qu'offre la version commerciale.

**citus**[10] est une autre extension commerciale. Le principe est de partitionner agressivement les tables sur plusieurs instances, et d'utiliser simultanément les processeurs, disques de toutes ces instances (*sharding*). Citus gère la distribution des requêtes, mais pas la maintenance des instances PostgreSQL supplémentaires. L'éditeur Citusdata a été racheté par Microsoft, qui le propose à présent dans Azure. En 2022, l'entièreté du code est passée sous licence libre[11]. Le gain de performance peut être impressionnant, mais attention : certaines requêtes se prêtent très mal au *sharding*.

[7] https://github.com/pgpartman/pg_partman
[8] https://github.com/postgrespro/pg_pathman
[9] https://github.com/timescale/timescaledb
[10] https://github.com/citusdata/citus
[11] https://www.citusdata.com/blog/2022/06/17/citus-11-goes-fully-open-source/

## 4.8 CONCLUSION

Le partitionnement déclaratif a de gros avantages pour le DBA

- …mais les développeurs doivent savoir l'utiliser
- Préférer une version récente de PostgreSQL

Le partitionnement par héritage n'a plus d'utilité pour la plupart des applications.

Le partitionnement déclaratif apparu en version 10 est mûr dans les dernières versions. Il introduit une complexité supplémentaire, que les développeurs doivent maîtriser, mais peut rendre de grands services quand la volumétrie augmente.

## 4.9 QUIZ

**https://dali.bo/v1_quiz**

# 5/ Types avancés

PostgreSQL offre des types avancés :

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

## 5.1 UUID

### 5.1.1 UUID : principe

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

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

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

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

Références :

- Pages Wikipédia francophone[1] et anglophone[2] ;
- RFC 4122[3], ISO/IEC 9834-8:2005 (juillet 2005), définissant les UUID versions 1 à 5 et leurs utilisations ;
- RFC 9562[4] (mai 2024), définissant les UUID versions 1 à 8 ;
- Un excellent article de Victor Adossi sur le choix de différents types de clés primaires[5], les différents types d'UUID, et des benchmarks de génération d'UUID en masse (septembre 2022).

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier
[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier
[3] https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4122
[4] https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9562
[5] https://supabase.com/blog/choosing-a-postgres-primary-key

### 5.1.2 UUID : avantages

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

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

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

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

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

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

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

### 5.1.3 UUID : inconvénients

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

**Lisibilité** :

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

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

**Taille** :

Le type `uuid` de PostgreSQL prend 128 bits, donc 16 octets. Les types numériques entiers de PostgreSQL[6] utilisent 2 octets pour un `smallint` (`int2`, de -32768 à +32767), 4 pour un `integer` (de -2 à +2 milliards environ), 8 pour un `bigint` (`int8`, de $-9.10^{18}$ à $+9.10^{18}$ environ). Ces types entiers suffisent généralement à combler les besoins, tout en permettant de choisir le type le plus petit possible. On a donc une différence de 8 octets par ligne entre `uuid` et `bigint`, à multiplier par autant de lignes, parfois des milliards.

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

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

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

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

[6] https://docs.postgresql.fr/current/datatype-numeric.html

**Temps de génération** :

Selon l'algorithme de génération utilisé, la création d'un UUID peut être plusieurs fois plus lente que celle d'un numéro de séquence. Mais ce n'est pas vraiment un souci avec les processeurs modernes, qui sont capables de générer des dizaines, voire des centaines de milliers d'UUID, aléatoires ou pas, par seconde.

**Fragmentation des index** :

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

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

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

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

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

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

Récemment, une solution standardisée est apparue avec les UUID version 7 (standardisés dans la RFC 9562[7] en 2024) : ces UUID utilisent l'heure de génération et sont donc triés. Le souci de pollution du cache disparaît donc.

[7] https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9562

### 5.1.4 UUID : utilisation sous PostgreSQL

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

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

**gen_random_uuid()** :

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

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

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

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

**uuid-ossp** :

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

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

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

[8] https://www.postgresql.org/docs/current/functions-uuid.html
[9] https://www.postgresql.org/docs/current/pgcrypto.html
[10] https://www.postgresql.org/docs/current/uuid-ossp.html

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

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

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

Sur une autre machine :

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

           uuid_generate_v1           | pg_sleep
--------------------------------------+----------
 ef5078b4-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
 f24c2982-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
 f547b552-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
 f84345aa-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
 fb3ed120-45e3-11ef-a2d4-67bc5acec5f2 |
```

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

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

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

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

**UUID version 7** :

PostgreSQL ne sait pas encore générer d'UUID en version 7. Il existe cependant plusieurs extensions dédiées, avec les soucis habituels de disponibilité de paquets, maintenance des versions, confiance dans le mainteneur et disponibilité dans un PostgreSQL en SaaS. Par exemple, Supabase propose `pg_idkit` (versions Rust[11], et PL/pgSQL[12]).

Le plus simple est sans doute d'utiliser la fonction SQL suivante, de Kyle Hubert, modifiée par Daniel Vérité[13]. Elle est sans doute suffisamment rapide pour la plupart des besoins.

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

[11] https://github.com/VADOSWARE/pg_idkit
[12] https://github.com/kiwicopple/pg-extensions/tree/main/pg_idkit
[13] https://postgresql.verite.pro/blog/2024/07/15/uuid-v7-pure-sql.html

```
                  FROM 3)
            FROM 1 for 6),
          52, 1),
       53, 1), 'hex')::uuid;
$$ LANGUAGE sql VOLATILE;
```

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

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

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

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

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

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

**Création de table** :

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

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

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

### 5.1.5 UUID : une indexation facile

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

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

### 5.1.6 UUID : résumé

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

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

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

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

## 5.2 TYPES TABLEAUX

### 5.2.1 Tableaux : principe

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Références** :

- Documentation officielle :
  - syntaxe et exemples[14] ;
  - constructeur de tableau ARRAY[15] ;
  - fonctions et opérateurs tableau[16] : `array_to_string`, `string_to_array`, `unnest`, `array_agg`, `array_length`, `array_cat`, `array_append`, `array_prepend`, `cardinality`,

[14] https://docs.postgresql.fr/current/arrays.html
[15] https://docs.postgresql.fr/current/sql-expressions.html#SQL-SYNTAX-ARRAY-CONSTRUCTORS
[16] https://docs.postgresql.fr/current/arrays.html

`array_position` / `array_positions`, `array_fill`, `array_remove`, `array_shuffle`, `trim_array`...

### 5.2.2 Tableaux : recherche de valeurs

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

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

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

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

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

TABLE demotab ;

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

Recherchons des lignes contenant certaines valeurs :

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

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

 id |        liste
----+---------------------
  1 | {10,11,12,13,14,15}
```

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

```
 id |        liste
----+---------------------
  1 | {10,11,12,13,14,15}
```

```
-- Recherche des deux lignes contenant 11 OU 55 (éléments communs)
SELECT * FROM demotab
WHERE liste && ARRAY[11,55] ;
```

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

### 5.2.3 Tableaux : performances

Quel intérêt par rapport à 1 valeur par ligne ?

- Allège certains modèles
  - données non triées (ex : liste de n°s de téléphone)
  - et sans contraintes
- Grosse économie en place (*time series*)
  - 24 octets par ligne
  - et parfois mécanisme TOAST
- Mais…
  - mise à jour compliquée/lente
  - indexation moins simple

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

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

```
-- Mauvaise pratique : champs identiques séparés à nombre fixe
CREATE TABLE personnes ( …
  telephone1  text,
  telephone2  text … ) ;
```

par :

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

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

Quand il y a beaucoup de lignes et peu de valeurs sur celles-ci, il faut se rappeler que chaque ligne d'une base de données PostgreSQL a un coût d'au moins 24 octets de données « administratives », même si l'on ne stocke qu'un entier par ligne, par exemple. Agréger des valeurs dans un tableau permet de réduire mécaniquement le nombre de lignes et la volumétrie sur le disque et celles des écritures. Par contre, le développeur devra savoir comment utiliser ces tableaux, comment retrouver une valeur donnée à l'intérieur d'un champ multicolonne, et comment le faire efficacement.

De plus, si le champ concaténé est assez gros (typiquement 2 ko), le mécanisme TOAST peut s'activer et procéder à la compression du champ tableau, ou à son déport dans une table système de manière transparente. (Pour les détails sur le mécanisme TOAST, voir cet extrait de la formation DBA2[17].)

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

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

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

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


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

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

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

La différence de taille est d'un facteur 1000 :

```
ANALYZE serieparjour,serieparligne ;
```

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

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

```
-[ RECORD 1 ]-------+--------------------
table               | public.serieparjour
nb_lignes_estimees  | 366
 Table (dont TOAST) | 200 kB
  Heap              | 168 kB
  Toast             | 0 bytes
 Index              | 16 kB
Total               | 216 kB
-[ RECORD 2 ]-------+--------------------
table               | public.serieparligne
nb_lignes_estimees  | 6.3072e+06
 Table (dont TOAST) | 266 MB
  Heap              | 266 MB
  Toast             | ø
 Index              | 135 MB
Total               | 402 MB
```

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

Les cas réels sont plus complexes, avec un horodatage moins régulier. Par exemple, l'outil OPM stocke plutôt des tableaux d'un type composé d'une date et de la valeur relevée[18], et non la valeur seule.

Dans beaucoup de cas, cette technique assez simple évite de recourir à des extensions spécialisées payantes comme TimescaleDB[19], voire à des bases de données spécialisées.

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

[18] https://github.com/OPMDG/opm-core/blob/ae89f025407ab144e1e30abd7d6580f258945d61/pg/opm_core--2.6.sql#L41
[19] https://www.timescale.com/products

### 5.2.4 Tableaux : indexation

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

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

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

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

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

CREATE INDEX demotab_gin ON demotab USING gin (liste);

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

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

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

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

```
                              QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Bitmap Heap Scan on demotab  (cost=23.37..2417.62 rows=2500 width=12) (actual
↪  time=0.067..0.325 rows=50 loops=1)
   Recheck Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
   Heap Blocks: exact=50
   ->  Bitmap Index Scan on demotab_gin  (cost=0.00..22.75 rows=2500 width=0) (actual
↪  time=0.024..0.024 rows=50 loops=1)
         Index Cond: (liste @> '{45}'::integer[])
   SubPlan 1
     ->  Aggregate  (cost=0.13..0.14 rows=1 width=8) (actual time=0.003..0.003 rows=1
↪  loops=50)
           ->  Function Scan on unnest e  (cost=0.00..0.13 rows=1 width=0) (actual
↪  time=0.002..0.002 rows=1 loops=50)
                 Filter: (e = 45)
                 Rows Removed by Filter: 5
 Planning Time: 0.240 ms
 Execution Time: 0.388 ms
```

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

Pour les détails sur les index GIN, voir le module J5[20].

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

## 5.3 TYPES COMPOSÉS

### 5.3.1 Types composés : généralités

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

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

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

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

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

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

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

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

Il n'y a même pas besoin de créer une table des attributs séparée : le mécanisme du « TOAST » permet de déporter les champs volumineux (texte, JSON, `hstore`…) dans une table séparée gérée par PostgreSQL, éventuellement en les compressant, et cela de manière totalement transparente. On y gagne donc en simplicité de développement.

## 5.4 HSTORE

### 5.4.1 hstore : principe

Stocker des données non structurées

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

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

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

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

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

### 5.4.2 hstore : exemple

```
CREATE EXTENSION hstore ;

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

CREATE INDEX idx_animaux_donnees ON animaux
                                 USING gist (caract);

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

 nom  |              caract               | nb_pattes
------+-----------------------------------+-----------
 loup | "pattes"=>"4", "carnivore"=>"oui" | 4
```

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

```
SELECT * FROM animaux ;
```

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

Les différentes fonctions disponibles sont bien sûr dans la documentation[21].

Par exemple :

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

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

```
 nom  |                      caract
------+-------------------------------------------------
 loup | "poil"=>"t", "pattes"=>"4", "carnivore"=>"oui"
```

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

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

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

ou en JSON :

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

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

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

[21] https://docs.postgresql.fr/current/hstore.html

## 5.5 JSON

### 5.5.1 JSON & PostgreSQL

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

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

Le format JSON[22] est devenu extrêmement populaire. Au-delà d'un simple stockage clé/valeur, il permet de stocker des tableaux, ou des hiérarchies, de manière plus simple et lisible qu'en XML. Par exemple, pour décrire une personne, on peut utiliser cette structure :

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

[22] https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation

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

Les opérateurs SQL/JSON path ont été ajoutés dans PostgreSQL 12[23], suite à l'introduction du JSON dans le standard SQL:2016.

### 5.5.2 Type json

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

Le type natif `json`, dans PostgreSQL, n'est rien d'autre qu'un habillage autour du type texte. Il valide à chaque insertion/modification que la donnée fournie est une syntaxe JSON valide. Le stockage est exactement le même qu'une chaîne de texte, et utilise le mécanisme du TOAST[24], qui compresse les grands champs au besoin, de manière transparente pour l'utilisateur. Le fait que la donnée soit validée comme du JSON permet d'utiliser des fonctions de manipulation, comme l'extraction d'un attribut, la conversion d'un JSON en enregistrement, de façon systématique sur un champ sans craindre d'erreur.

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

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

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

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

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

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

[23] https://paquier.xyz/postgresql-2/postgres-12-jsonpath/
[24] https://dali.bo/m4_html#mécanisme-toast

### 5.5.3 Type jsonb

- **JSON** au format **B**inaire
- Indexation GIN
- Langage JSONPath

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

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

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

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

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

### 5.5.4 Validation du format JSON

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

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

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

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

Existent aussi :

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

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

 valid
----------
 f

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.5.5 JSON : Exemple d'utilisation

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

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

### 5.5.6 JSON : construction

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

SELECT jsonb_build_object ('nom', 'Lagaffe', 'prenom', 'Gaston') ;
```

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

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

### 5.5.7 JSON : Affichage des attributs

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.5.8 Modifier un JSON

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il vaut mieux indiquer le chemin complet en second paramètre :

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

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

### 5.5.9 JSON, tableaux et agrégation

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

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

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

`jsonb_array_elements` permet de parcourir ces tableaux :

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

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

Avec la syntaxe JSONPath, le résultat est le même :

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

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

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

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

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

Si l'on veut un tableau de textes :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.5.10 Conversions jsonb / relationnel

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

Plusieurs fonctions permettant de construire du `jsonb`, ou de le manipuler de manière ensembliste.

**jsonb_each** :

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

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

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

```
 spouse       | "Martine Durand"
…
```

**jsonb_populate_record/jsonb_populate_recordset** :

Si les noms des attributs et champs sont bien identiques (casse comprise !) entre JSON et table cible, `jsonb_populate_record` peut être pratique :

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

```
 firstName | lastName | age | present
-----------+----------+-----+---------
 Jean      | Valjean  |     |
 Georges   | Durand   |     |
 Jacques   | Dupont   |  27 |
```

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

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

```
 firstName | lastName | age | present
-----------+----------+-----+---------
 Jean      | Valjean  |     | t
 Georges   | Durand   |     | t
 Jacques   | Dupont   |  27 | t
```

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

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

**jsonb_to_record/jsonb_to_recordset** :

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

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

```
 firstName | lastName
-----------+----------
```

```
 Jean      | Valjean
 Georges   | Durand
 Jacques   | Dupont
```

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

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

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

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

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

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

**jsonb_typeof** :

Pour connaître le type d'un attribut JSON :

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

```
 jsonb_typeof | jsonb_typeof
--------------+--------------
 string       |
 string       |
 string       | number
```

### 5.5.11 JSON : performances

Inconvénients par rapport à un modèle normalisé :

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

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

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

Chaque JSON récupéré l'est en bloc. Si un seul attribut est récupéré, PostgreSQL devra charger tout le JSON et le décomposer. Cela peut même coûter un accès supplémentaire à une table TOAST pour les gros JSON. Rappelons que le mécanisme du TOAST permet à PostgreSQL de compresser à la volée un grand champ texte, binaire, JSON… et/ou de le déporter dans une table annexe interne, le tout étant totalement transparent pour l'utilisateur. Pour les détails, voir cet extrait de la formation DBA2[25].

Il n'y a pas de mise à jour partielle : modifier un attribut implique de décomposer tout le JSON pour le réécrire entièrement (et parfois en le *détoastant*/*retoastant*). Si le JSON est trop gros, modifier ses sous-attributs par plusieurs processus différents peut poser des problèmes de verrouillage. Pour citer la documentation[26] :

[25] https://dali.bo/m4_html#mécanisme-toast
[26] https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html#JSON-INDEXING

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

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

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

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

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

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

### 5.5.12 Recherche dans un champ JSON (1)

Sans JSONPath :

```
SELECT * FROM personnes …
 WHERE datas->>'lastName' = 'Durand';  -- textes
 WHERE datas->'lastName'  = '"Durand"'::jsonb ; -- JSON
 WHERE datas @> '{"nom": "Durand"}'::jsonb ; -- contient
 WHERE datas ? 'spouse' ; -- attibut existe ?
 WHERE datas ?| '{spouse,children}'::text[] ; -- un des champs ?
 WHERE datas ?& '{spouse,children}'::text[] ; -- tous les champs ?
```

Mais comment indexer ?

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

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

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

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

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

JSONPath[27] est un langage de requêtage permettant de spécifier des parties d'un champ JSON, même complexe. Il a été implémenté dans de nombreux langages, et a donc une syntaxe différente de celle du SQL, mais souvent déjà familière aux développeurs. Il évite de parcourir manuellement les nœuds et tableaux du JSON, ce qui est vite fastidieux en SQL.

Le standard SQL:2016 intègre le SQL/JSON[28]. PostgreSQL 12 contient déjà l'essentiel des fonctionnalités SQL/JSON, y compris JSONPath, mais elles sont complétées dans les versions suivantes.

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

```
SELECT … FROM …

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

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

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

[27] https://en.wikipedia.org/wiki/JSONPath
[28] https://modern-sql.com/blog/2017-06/whats-new-in-sql-2016#json-path

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

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

 prenom
----------
 Georges
```

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

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

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

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

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

   nom   | jsonb_path_exists | jsonb_path_match
---------+-------------------+------------------
 Valjean | t                 | t
 Durand  | f                 | f
 Dupont  | f                 | f
```

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

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

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

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

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

L'appel suivant effectue un filtrage sur la ville :

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

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

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

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

On trouvera d'autres exemples dans la présentation de Postgres Pro dédié à la fonctionnalité lors la parution de PostgreSQL 12[29], ou dans un billet de Michael Paquier[30].

### 5.5.15 jsonb : indexation (1/2)

- Index fonctionnel sur un attribut précis
  - bonus : statistiques

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

- Colonne générée (dénormalisée) :
  - champ normal, indexable, facile à utiliser, rapide à lire
  - statistiques

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

- Préférer `@>` et `@?` que des fonctions

**Index fonctionnel** :

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

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

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

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

**Colonne générée** :

[29] https://www.postgresql.eu/events/pgconfeu2019/sessions/session/2555/slides/221/jsonpath-pgconfeu-2019.pdf
[30] https://paquier.xyz/postgresql-2/postgres-12-jsonpath/

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

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

ANALYZE personnes ;

CREATE INDEX ON personnes (lastname) ;
```

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

Ce champ coûte certes un peu d'espace disque supplémentaire, mais il améliore la lisibilité du code, et facilite l'usage avec certains outils ou pour certains utilisateurs. Dans le cas des gros JSON, il peut aussi éviter quelques allers-retours vers la table TOAST. Même sans utilisation d'un index, un champ normal est beaucoup plus rapide à lire dans la ligne qu'un attribut extrait d'un JSON.

### 5.5.16 jsonb : indexation (2/2)

- Indexation « schemaless » grâce au GIN :
  - attention au choix de l'opérateur

```
-- opérateur par défaut
--  pour critères : ?, ?|, ?& , @> , @?, @@)
CREATE INDEX idx_prs ON personnes USING gin(datas) ;
-- index plus performant
--  mais que @> , @?, @@
CREATE INDEX idx_prs ON personnes USING gin(datas jsonb_path_ops) ;
```

**Index GIN** :

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

L'opérateur par défaut de GIN pour `jsonb` est `jsonb_ops`. Mais il est souvent plus efficace de choisir l'opérateur `jsonb_path_ops`. Ce dernier donne des index plus petits et performants sur des clés fréquentes, bien qu'il ne supporte que certains opérateurs de recherche ( `@>` , `@?` et `@@` ) (voir les détails[31]), ce qui suffit généralement.

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

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

[31] https://docs.postgresql.fr/current/datatype-json.html#JSON-INDEXING

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

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

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

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

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

### 5.5.17 Pour aller plus loin…

Lire la documentation

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

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

## 5.6 XML

### 5.6.1 XML : présentation

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

Le type `xml`, inclus de base, vérifie que le XML inséré est un document « bien formé », ou constitue des fragments de contenu (« content »). L'encodage UTF-8 est impératif. Il y a quelques limitations par rapport aux dernières versions du standard, XPath et XQuery[32]. Le stockage se fait en texte, donc bénéficie du mécanisme de compression TOAST.

Il existe quelques opérateurs et fonctions de validation et de manipulations, décrites dans la documentation du type xml[33] ou celle des fonctions[34]. Par contre, une simple comparaison est impossible et l'indexation est donc impossible directement. Il faudra passer par une expression XPath.

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

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

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

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

[32] https://docs.postgresql.fr/current/xml-limits-conformance.html
[33] https://docs.postgresql.fr/current/datatype-xml.html
[34] https://docs.postgresql.fr/current/functions-xml.html

```
  <CD>
    <TITLE>Olympia 1961</TITLE>
    <ARTIST>Jacques Brel</ARTIST>
    <COUNTRY>France</COUNTRY>
    <YEAR>1962</YEAR>
  </CD>
</CATALOG> $$ ) ;
--- Noter le $$ pour délimiter une chaîne contenant une apostrophe

SELECT XMLSERIALIZE (DOCUMENT catalogue AS text) FROM liste_cd;

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

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

NB : l'extension xml2[35] est dépréciée et ne doit pas être utilisée dans les nouveaux projets.

[35] https://docs.postgresql.fr/current/xml2.html

## 5.7 OBJETS BINAIRES

### 5.7.1 Objets binaires : les types

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

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

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

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

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

### 5.7.2 bytea

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

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

Voici un exemple :

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

SELECT * FROM demo_bytea ;

        a
------------------
 \x626f6e6a6f7572
```

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

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

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

    a
---------
 bonjour

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

       a
----------------
 bonjour
 journ\303\251e
```

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

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

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

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

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

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

La documentation officielle[36] liste les fonctions pour encoder, décoder, extraire, hacher… les `bytea`.

### 5.7.3 Large Object

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

[36] https://docs.postgresql.fr/current/functions-binarystring.html

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

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

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

En contrepartie, il a les avantages suivant :

- une taille jusqu'à 4 To, ce qui n'est tout de même pas conseillé ;
- la possibilité d'accéder à une partie directement (par exemple les octets de 152 000 à 153 020), ce qui permet de le transférer par parties sans le charger en mémoire (notamment, le driver JDBC de PostgreSQL fournit une classe LargeObject[37]) ;
- de ne modifier que cette partie sans tout réécrire.

Cependant, nous déconseillons son utilisation autant que possible :

- le stockage des *large objects* ne prévoit pas vraiment de compression : des `bytea` prendront moins de place (penser à changer `default_toast_compression` à `lz4` sur les versions 14 et supérieures) ;
- il est facile et fréquent d'oublier de purger des *large objects* supprimés ;
- une sauvegarde logique partielle les oublie facilement (voir l'option `--large-objects` de `pg_dump`[38]) ;
- `pg_dump` n'est pas optimisé pour sauver de nombreux *large objects* : la sauvegarde de la table `pg_largeobject` ne peut être parallélisée et peut consommer transitoirement énormément de mémoire s'il y a trop d'objets.

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

- appeler la fonction `lo_unlink` dans le code client — au risque d'oublier ;
- utiliser la fonction trigger `lo_manage` fournie par le module contrib `lo` : (voir documentation[39], si les *large objects* ne sont jamais référencés plus d'une fois ;
- appeler régulièrement le programme `vacuumlo` (là encore un contrib[40]) : il liste tous les *large objects* référencés dans la base, puis supprime les autres. Ce traitement est bien sûr un peu lourd.

Techniquement, un *large object* est stocké dans la table système `pg_largeobject` sous forme de pages de 2 ko. Voir la documentation[41] pour les détails.

[37] https://jdbc.postgresql.org/documentation/binary-data/
[38] https://docs.postgresql.fr/current/app-pgdump.html
[39] https://docs.postgresql.fr/current/lo.html
[40] https://docs.postgresql.fr/current/vacuumlo.html
[41] https://docs.postgresql.fr/current/largeobjects.html

## 5.8 QUIZ

**https://dali.bo/s9_quiz**

# 6/ Fonctionnalités avancées pour la performance

## 6.1 PRÉAMBULE

Comme tous les SGBD, PostgreSQL fournit des fonctionnalités avancées.
Ce module présente des fonctionnalités internes au moteur généralement liées aux performances.

### 6.1.1 Au menu

- Tables temporaires
- Tables non journalisées
- JIT
- Recherche Full Text

## 6.2 TABLES TEMPORAIRES

```
CREATE TEMP TABLE  travail (…) ;
```

- N'existent que pendant la session
- Non journalisées
- Ne pas en abuser !
- Ignorées par autovacuum : `ANALYZE` et `VACUUM` manuels !
- Paramétrage :
  - `temp_buffers` : cache disque pour les objets temporaires, par session, à augmenter ?

**Principe** :

Sous PostgreSQL, les tables temporaires sont créées dans une session, et disparaissent à la déconnexion. Elles ne sont pas visibles par les autres sessions. Elles ne sont pas journalisées, ce qui est très intéressant pour les performances. Elles s'utilisent comme les autres tables, y compris pour l'indexation, les triggers, etc.

Les tables temporaires semblent donc idéales pour des tables de travail temporaires et « jetables ».

Cependant, il est déconseillé d'abuser des tables temporaires. En effet, leur création/destruction permanente entraîne une fragmentation importante des tables systèmes (en premier lieu `pg_catalog.pg_class`, `pg_catalog.pg_attribute`…), qui peuvent devenir énormes. Ce n'est jamais bon pour les performances, et peut nécessiter un `VACUUM FULL` des tables système !

Le démon autovacuum ne voit pas les tables temporaires ! Les statistiques devront donc être mises à jour manuellement avec `ANALYZE`, et il faudra penser à lancer `VACUUM` explicitement après de grosses modifications.

**Aspect technique** :

Les tables temporaires sont créées dans un schéma temporaire `pg_temp_…`, ce qui explique qu'elles ne sont pas visibles dans le schéma `public`.

Physiquement, par défaut, elles sont stockées sur le disque avec les autres données de la base, et non dans `base/pgsql_tmp` comme les fichiers temporaires. Il est possible de définir des tablespaces dédiés aux objets temporaires (fichiers temporaires et données des tables temporaires) à l'aide du paramètre `temp_tablespaces`, à condition de donner des droits `CREATE` dessus aux utilisateurs. Le

nom du fichier d'une table temporaire est reconnaissable car il commence par `t`. Les éventuels index de la table suivent les même règles.

**Exemple** :

```
CREATE TEMP TABLE travail (x int PRIMARY KEY) ;

EXPLAIN (COSTS OFF, ANALYZE, BUFFERS, WAL)
INSERT INTO travail SELECT i FROM generate_series (1,1000000) i ;

                                QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------------
 Insert on travail (actual time=1025.752..1025.753 rows=0 loops=1)
   Buffers: shared hit=13, local hit=2172174 read=4 dirtied=7170 written=10246
   I/O Timings: read=0.012
   ->  Function Scan on generate_series i (actual time=77.112..135.624 rows=1000000
 ↪  loops=1)
 Planning Time: 0.028 ms
 Execution Time: 1034.984 ms

SELECT pg_relation_filepath ('travail') ;

 pg_relation_filepath
----------------------
 base/13746/t7_5148873

\d pg_temp_7.travail

                Table « pg_temp_7.travail »
 Colonne |  Type   | Collationnement | NULL-able | Par défaut
---------+---------+-----------------+-----------+------------
 x       | integer |                 | not null  |
Index :
    "travail_pkey" PRIMARY KEY, btree (x)
```

**Cache** :

Dans les plans d'exécution avec `BUFFERS`, l'habituelle mention `shared` est remplacée par `local` pour les tables temporaires. En effet, leur cache disque dédié est au niveau de la session, non des *shared buffers*. Ce cache est défini par le paramètre `temp_buffers` (exprimé par session, et à 8 Mo par défaut). Ce paramètre peut être augmenté, avant la création de la table. Bien sûr, on risque de saturer la RAM en cas d'abus ou s'il y a trop de sessions, comme avec `work_mem`. Ce cache n'empêche pas l'écriture des petites tables temporaires sur le disque.

Pour éviter de recréer perpétuellement la même table temporaire, une table *unlogged* (voir plus bas) sera sans doute plus indiquée. Le contenu de cette dernière sera aussi visible des autres sessions, ce qui est pratique pour suivre la progression d'un traitement, faciliter le travail de l'autovacuum, ou déboguer. Sinon, il est fréquent de pouvoir remplacer une table temporaire par une CTE (clause `WITH`) ou un tableau en mémoire.

L'extension pgtt[1] émule un autre type de table temporaire dite « globale » pour la compatibilité avec d'autres SGBD.

[1] https://github.com/darold/pgtt

## 6.3 TABLES NON JOURNALISÉES (UNLOGGED)

- La durabilité est parfois accessoire :
  - tables temporaires et de travail
  - caches…
- Tables non journalisées
  - non répliquées, non restaurées
  - **remises à zéro en cas de crash**
- Respecter les contraintes

Une table *unlogged* est une table non journalisée. Comme la journalisation est responsable de la durabilité, une table non journalisée n'a pas cette garantie.

La table est systématiquement remise à zéro au redémarrage après un arrêt brutal. En effet, tout arrêt d'urgence peut entraîner une corruption des fichiers de la table ; et sans journalisation, il ne serait pas possible de la corriger au redémarrage et de garantir l'intégrité.

La non-journalisation de la table implique aussi que ses données ne sont pas répliquées vers des serveurs secondaires, et que les tables ne peuvent figurer dans une publication (réplication logique). En effet, les modes de réplication natifs de PostgreSQL utilisent les journaux de transactions. Pour la même raison, une restauration de sauvegarde PITR ne restaurera pas le contenu de la table. Le bon côté est qu'on allège la charge sur la sauvegarde et la réplication.

Les contraintes doivent être respectées même si la table *unlogged* est vidée : une table normale ne peut donc avoir de clé étrangère pointant vers une table *unlogged*. La contrainte inverse est possible, tout comme une contrainte entre deux tables *unlogged*.

À part ces limitations, les tables *unlogged* se comportent exactement comme les autres. Leur intérêt principal est d'être en moyenne 5 fois plus rapides à la mise à jour. Elles sont donc à réserver à des cas d'utilisation particuliers, comme :

- table de *spooling*/*staging* ;
- table de cache/session applicative ;
- table de travail partagée entre sessions ;
- table de travail systématiquement reconstruite avant utilisation dans le flux applicatif ;
- et de manière générale toute table contenant des données dont on peut accepter la perte sans impact opérationnel ou dont on peut regénérer aisément les données.

Les tables *unlogged* ne doivent pas être confondues avec les tables temporaires (non journalisées et

visibles uniquement dans la session qui les a créées). Les tables *unlogged* ne sont pas ignorées par l'autovacuum (les tables temporaires le sont). Abuser des tables temporaires a tendance à générer de la fragmentation dans les tables système, alors que les tables *unlogged* sont en général créées une fois pour toutes.

### 6.3.1 Tables non journalisées : mise en place

```
CREATE UNLOGGED TABLE ma_table (col1 int …) ;
```

Une table *unlogged* se crée exactement comme une table journalisée classique, excepté qu'on rajoute le mot `UNLOGGED` dans la création.

### 6.3.2 Bascule d'une table en/depuis unlogged

```
ALTER TABLE table_normale SET UNLOGGED ;
```

- réécriture

```
ALTER TABLE table_unlogged SET LOGGED ;
```

- passage du contenu dans les WAL !

Il est possible de basculer une table à volonté de normale à *unlogged* et vice-versa.

Quand une table devient *unlogged*, on pourrait imaginer que PostgreSQL n'a rien besoin d'écrire. Malheureusement, pour des raisons techniques, la table doit tout de même être réécrite. Elle est défragmentée au passage, comme lors d'un `VACUUM FULL`. Ce peut être long pour une grosse table, et il faudra voir si le gain par la suite le justifie.

Les écritures dans les journaux à ce moment sont théoriquement inutiles, mais là encore des optimisations manquent et il se peut que de nombreux journaux soient écrits si les sommes de contrôles ou `wal_log_hints` sont activés. Par contre il n'y aura plus d'écritures dans les journaux lors des modifications de cette table, ce qui reste l'intérêt majeur.

Quand une table *unlogged* devient *logged* (journalisée), la réécriture a aussi lieu, et tout le contenu de la table est journalisé (c'est indispensable pour la sauvegarde PITR et pour la réplication notamment), ce qui génère énormément de journaux et peut prendre du temps.

Par exemple, une table modifiée de manière répétée pendant un batch, peut être définie *unlogged* pour des raisons de performance, puis basculée en *logged* en fin de traitement pour pérenniser son contenu.

## 6.4 COLONNES GÉNÉRÉES

```
CREATE TABLE paquet (
  code       text          PRIMARY KEY, …
  livraison  timestamptz   DEFAULT now() + interval '3d',
  largeur    int,    longueur int,   profondeur int,
  volume     int
      GENERATED ALWAYS AS ( largeur * longueur * profondeur )
      STORED    CHECK (volume > 0.0)
  ) ;
```

- `DEFAULT` : expressions très simples, modifiables
- `GENERATED`
  - fonctions « immutables », ne dépendant **que** de la ligne
  - danger sinon (ex : pas pour dates de mises à jour)
  - difficilement modifiables
  - peuvent porter des contraintes

Les valeurs par défaut sont très connues mais limitées. PostgreSQL connaît les colonnes générées (ou calculées).

La syntaxe est :

```
nomchamp  <type> GENERATED ALWAYS AS ( <expression> ) STORED ;
```

Les colonnes générées sont recalculées à chaque fois que les champs sur lesquels elles sont basées changent, donc aussi lors d'un `UPDATE` (avant PostgreSQL 13, ils étaient systématiquement recalculés, parfois inutilement). Ces champs calculés sont impérativement marqués `ALWAYS`, c'est-à-dire obligatoires et non modifiables, et `STORED`, c'est-à-dire stockés sur le disque (et non recalculés à la volée comme dans une vue). Ils ne doivent pas se baser sur d'autres champs calculés.

Un intérêt est que les champs calculés peuvent porter des contraintes, par exemple la clause `CHECK` ci-dessous, mais encore des clés étrangères ou unique.

**Exemple** :

```
CREATE TABLE paquet (
  code       text          PRIMARY KEY,
  reception  timestamptz   DEFAULT now(),
  livraison  timestamptz   DEFAULT now() + interval '3d',
  largeur    int,    longueur int,   profondeur int,
  volume     int
      GENERATED ALWAYS AS ( largeur * longueur * profondeur )
      STORED    CHECK (volume > 0.0)
  ) ;

INSERT INTO paquet (code, largeur, longueur, profondeur)
VALUES ('ZZ1', 3, 5, 10) ;
```

```
\x on

TABLE paquet ;

-[ RECORD 1 ]----------------------------
code       | ZZ1
reception  | 2024-04-19 18:02:41.021444+02
livraison  | 2024-04-22 18:02:41.021444+02
largeur    | 3
longueur   | 5
profondeur | 10
volume     | 150

-- Les champs DEFAULT sont modifiables
-- Changer la largeur va modifier le volume
UPDATE paquet
SET largeur=4,
    livraison = '2024-07-14'::timestamptz,
    reception = '2024-04-20'::timestamptz
WHERE code='ZZ1' ;

TABLE paquet ;

-[ RECORD 1 ]----------------------
code       | ZZ1
reception  | 2024-04-20 00:00:00+02
livraison  | 2024-07-14 00:00:00+02
largeur    | 4
longueur   | 5
profondeur | 10
volume     | 200

-- Le volume ne peut être modifié
UPDATE paquet
SET volume = 250
WHERE code = 'ZZ1' ;

ERROR:  column "volume" can only be updated to DEFAULT
DETAIL : Column "volume" is a generated column.
```

**Expression immutable** :

Avec `GENERATED`, l'expression du calcul doit être « immutable », c'est-à-dire ne dépendre **que** des autres champs de la même ligne, n'utiliser que des fonctions elles-mêmes immutables, et rien d'autre. Il n'est donc pas possible d'utiliser des fonctions comme `now()`, ni des fonctions de conversion de date dépendant du fuseau horaire, ou du paramètre de formatage de la session en cours (toutes choses autorisées avec `DEFAULT`), ni des appels à d'autres lignes ou tables…

La colonne calculée peut être convertie en colonne « normale » :

```
ALTER TABLE paquet ALTER COLUMN volume DROP EXPRESSION ;
```

Mais modifier l'expression n'est pas (encore) possible, sauf à supprimer la colonne générée et en créer une nouvelle, ce qui implique de recalculer toutes les lignes et réécrire toute la table.

Il est possible de créer sa propre fonction pour l'expression, qui doit aussi être immutable :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION volume (l int, h int, p int)
RETURNS int
AS $$
 SELECT l * h * p ;
$$
LANGUAGE sql
-- cette fonction dépend uniquement des données de la ligne donc :
PARALLEL SAFE
IMMUTABLE ;

ALTER TABLE paquet DROP COLUMN volume ;

ALTER TABLE paquet ADD COLUMN volume int
  GENERATED ALWAYS AS ( volume (largeur, longueur, profondeur) )
  STORED;

TABLE paquet ;

-[ RECORD 1 ]----------------------
code       | ZZ1
reception  | 2024-04-20 00:00:00+02
livraison  | 2024-07-14 00:00:00+02
largeur    | 4
longueur   | 5
profondeur | 10
volume     | 200
```

Attention : modifier la fonction ne réécrit pas spontanément la table, il faut forcer la réécriture avec par exemple :

```
UPDATE paquet SET longueur = longueur ;
```

Ne pas réécrire les anciennes valeurs calculées n'est pas un moyen de les conserver. En effet, en cas de sauvegarde logique et restauration, tous les champs seront recalculés avec la dernière formule !

Un autre piège : il faut résister à la tentation de déclarer une fonction comme immutable sans la certitude qu'elle l'est bien (penser aux paramètres de session, aux fuseaux horaires…), sous peine d'incohérences dans les données.

**Cas d'usage** :

Les colonnes générées économisent la création de triggers, ou de vues de « présentation ». Elles facilitent la dénormalisation de données calculées dans une même table tout en garantissant l'intégrité.

Un cas d'usage courant est la dénormalisation d'attributs JSON pour les manipuler comme des champs de table classiques :

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

L'accès au champ est notablement plus rapide que l'analyse systématique du champ JSON.

Par contre, les colonnes `GENERATED` ne sont **pas** un bon moyen pour créer des champs portant la dernière mise à jour. Certes, PostgreSQL ne vous empêchera pas de déclarer une fonction (abusivement) immutable utilisant `now()` ou une variante. Mais ces informations seront perdues en cas de restauration logique. Dans ce cas, les triggers restent une option plus complexe mais plus propre.

## 6.5 JIT : LA COMPILATION À LA VOLÉE

- Compilation *Just In Time* des requêtes
- Utilise le compilateur LLVM
- Vérifier que l'installation est fonctionnelle
- Activé par défaut
  - sauf en v11 ; et absent auparavant

Une des nouveautés les plus visibles et techniquement pointues de la v11 est la « compilation à la volée » (*Just In Time compilation*, ou JIT) de certaines expressions dans les requêtes SQL. Le JIT n'est activé par défaut qu'à partir de la version 12.

Dans certaines requêtes, l'essentiel du temps est passé à décoder des enregistrements (*tuple deforming*), à analyser des clauses `WHERE`, à effectuer des calculs. En conséquence, l'idée du JIT est de transformer tout ou partie de la requête en un programme natif directement exécuté par le processeur.

Cette compilation est une opération lourde qui ne sera effectuée que pour des requêtes qui en valent le coup, donc qui dépassent un certain coût. Au contraire de la parallélisation, ce coût n'est pas pris en compte par le planificateur. La décision d'utiliser le JIT ou pas se fait une fois le plan décidé, si le coût calculé de la requête dépasse un certain seuil.

Le JIT de PostgreSQL s'appuie actuellement sur la chaîne de compilation LLVM, choisie pour sa flexibilité. L'utilisation nécessite un PostgreSQL compilé avec l'option `--with-llvm` et l'installation des bibliothèques de LLVM.

Sur Debian, avec les paquets du PGDG, les dépendances sont en place dès l'installation.

Sur Rocky Linux/Red Hat 8 et 9, l'installation du paquet dédié suffit :

```
# dnf install postgresql14-llvmjit
```

Sur CentOS/Red Hat 7, ce paquet supplémentaire nécessite lui-même des paquets du dépôt EPEL :

```
# yum install epel-release
# yum install postgresql14-llvmjit
```

Les systèmes CentOS/Red Hat 6 ne permettent pas d'utiliser le JIT.

Si PostgreSQL ne trouve pas les bibliothèques nécessaires, il ne renvoie pas d'erreur et continue sans tenter de JIT. Pour tester si le JIT est fonctionnel sur votre machine, il faut le chercher dans un plan quand on force son utilisation ainsi :

```
SET jit=on;
SET jit_above_cost TO 0 ;
EXPLAIN (ANALYZE) SELECT 1;
```

```
                                 QUERY PLAN
-----------------------------------------------------------------------------
 Result  (cost=0.00..0.01 rows=1 width=4) (… rows=1 loops=1)
 Planning Time: 0.069 ms
 JIT:
   Functions: 1
   Options: Inlining false, Optimization false, Expressions true,
            Deforming true
   Timing:  Generation 0.123 ms, Inlining 0.000 ms, Optimization 0.187 ms,
            Emission 2.778 ms, Total 3.088 ms
 Execution Time: 3.952 ms
```

La documentation officielle est assez accessible : https://doc.postgresql.fr/current/jit.html

### 6.5.1 JIT : qu'est-ce qui est compilé ?

- *Tuple deforming*
- Évaluation d'expressions :
  - `WHERE`
  - agrégats, `GROUP BY`
- Appels de fonctions (*inlining*)
- Mais pas les jointures

Le JIT ne peut pas encore compiler toute une requête. La version actuelle se concentre sur des goulots d'étranglement classiques :

- le décodage des enregistrements (*tuple deforming*) pour en extraire les champs intéressants ;
- les évaluations d'expressions, notamment dans les clauses `WHERE` pour filtrer les lignes ;
- les agrégats, les `GROUP BY`…

Les jointures ne sont pas (encore ?) concernées par le JIT.

Le code résultant est utilisable plus efficacement avec les processeurs actuels qui utilisent les pipelines et les prédictions de branchement.

Pour les détails, on peut consulter notamment cette conférence très technique au FOSDEM 2018[2] par l'auteur principal du JIT, Andres Freund.

[2] https://archive.fosdem.org/2018/schedule/event/jiting_postgresql_using_llvm/

### 6.5.2 JIT : algorithme « naïf »

- `jit` (défaut : `on`)
- `jit_above_cost` (défaut : 100 000)
- `jit_inline_above_cost` (défaut : 500 000)
- `jit_optimize_above_cost` (défaut : 500 000)
- À comparer au coût de la requête… I/O comprises
- Seuils arbitraires !

De l'avis même de son auteur, l'algorithme de déclenchement du JIT est « naïf ». Quatre paramètres existent (hors débogage).

`jit = on` (défaut à partir de la v12) active le JIT **si** l'environnement technique évoqué plus haut le permet.

La compilation n'a cependant lieu que pour un coût de requête calculé d'au moins `jit_above_cost` (par défaut 100 000, une valeur élevée). Puis, si le coût atteint `jit_inline_above_cost` (500 000), certaines fonctions utilisées par la requête et supportées par le JIT sont intégrées dans la compilation. Si `jit_optimize_above_cost` (500 000) est atteint, une optimisation du code compilé est également effectuée. Ces deux dernières opérations étant longues, elles ne le sont que pour des coûts assez importants.

Ces seuils sont à comparer avec les coûts des requêtes, qui incluent les entrées-sorties, donc pas seulement le coût CPU. Ces seuils sont un peu arbitraires et nécessiteront sans doute un certain tuning en fonction de vos requêtes et de vos processeurs.

Des contre-performances dues au JIT ont déjà été observées, menant à monter les seuils. Le JIT est trop jeune pour que les développeurs de PostgreSQL eux-mêmes aient des règles d'ajustement des valeurs des différents paramètres. Il est fréquent de le désactiver ou de monter radicalement les seuils de déclenchement.

Un exemple de plan d'exécution sur une grosse table donne :

```
# EXPLAIN (ANALYZE) SELECT sum(x), count(id)
  FROM bigtable WHERE id + 2 > 500000  ;

                                QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Finalize Aggregate  (cost=3403866.94..3403866.95 rows=1 width=16) (…)
   ->  Gather        (cost=3403866.19..3403866.90 rows=7 width=16)
                (actual time=11778.983..11784.235 rows=8 loops=1)
         Workers Planned: 7
         Workers Launched: 7
         ->  Partial Aggregate  (cost=3402866.19..3402866.20 rows=1 width=16)(…)
               ->  Parallel Seq Scan on bigtable  (…)
                     Filter: ((id + 2) > 500000)
                     Rows Removed by Filter: 62500
```

```
Planning Time: 0.047 ms
JIT:
  Functions: 42
  Options: Inlining true, Optimization true, Expressions true, Deforming true
  Timing:  Generation 5.611 ms, Inlining 422.019 ms, Optimization 229.956 ms,
           Emission 125.768 ms, Total 783.354 ms
Execution Time: 11785.276 ms
```

Le plan d'exécution est complété, à la fin, des informations suivantes :

- le nombre de fonctions concernées ;
- les temps de génération, d'inclusion des fonctions, d'optimisation du code compilé…

Dans l'exemple ci-dessus, on peut constater que ces coûts ne sont pas négligeables par rapport au temps total. Il reste à voir si ce temps perdu est récupéré sur le temps d'exécution de la requête… ce qui en pratique n'a rien d'évident.

Sans JIT, la durée de cette requête était d'environ 17 s. Ici le JIT est rentable.

### 6.5.3 Quand le JIT est-il utile ?

- Goulot d'étranglement au niveau CPU (pas I/O)
- Requêtes complexes (calculs, agrégats, appels de fonctions…)
- Beaucoup de lignes, filtres
- Assez longues pour « rentabiliser » le JIT
- Analytiques, pas ERP

Vu son coût élevé, le JIT n'a d'intérêt que pour les requêtes utilisant beaucoup le CPU et où il est le facteur limitant.

Ce seront donc surtout des requêtes analytiques agrégeant beaucoup de lignes, comprenant beaucoup de calculs et filtres, et non les petites requêtes d'un ERP.

Il n'y a pas non plus de mise en cache du code compilé.

Si gain il y a, il est relativement modeste en deçà de quelques millions de lignes, et devient de plus en plus important au fur et à mesure que la volumétrie augmente, à condition bien sûr que d'autres limites n'apparaissent pas (bande passante…).

Documentation officielle : https://docs.postgresql.fr/current/jit-decision.html

## 6.6 RECHERCHE PLEIN TEXTE

*Full Text Search* : Recherche Plein Texte

- Recherche « à la Google » ; fonctions dédiées
- On n'indexe plus une chaîne de caractère mais
  - les mots (« lexèmes ») qui la composent
  - on peut rechercher sur chaque lexème indépendamment
- Les lexèmes sont soumis à des règles spécifiques à chaque langue
  - notamment termes courants
  - permettent une normalisation, des synonymes…

L'indexation FTS est un des cas les plus fréquents d'utilisation non-relationnelle d'une base de données : les utilisateurs ont souvent besoin de pouvoir rechercher une information qu'ils ne connaissent pas parfaitement, d'une façon floue :

- recherche d'un produit/article par rapport à sa description ;
- recherche dans le contenu de livres/documents…

PostgreSQL doit donc permettre de rechercher de façon efficace dans un champ texte. L'avantage de cette solution est d'être intégrée au SGBD. Le moteur de recherche est donc toujours parfaitement à jour avec le contenu de la base, puisqu'il est intégré avec le reste des transactions.

Le principe est de décomposer le texte en « lexèmes » propres à chaque langue. Cela implique donc une certaine forme de normalisation, et permettent aussi de tenir compte de dictionnaires de synonymes. Le dictionnaire inclue aussi les termes courants inutiles à indexer (*stop words*) propres à la langue (le, la, et, the, and, der, daß…).

Décomposition et recherche en plein texte utilisent des fonctions et opérateurs dédiés, ce qui nécessite donc une adaptation du code. Ce qui suit n'est qu'un premier aperçu. La recherche plein texte est un chapitre entier de la documentation officielle[3].

Adrien Nayrat a donné une excellente conférence sur le sujet au PGDay France 2017 à Toulouse[4] (slides[5]).

[3] https://docs.postgresql.fr/current/textsearch.html
[4] https://www.youtube.com/embed/9S5dBqMbw8A
[5] https://2017.pgday.fr/slides/nayrat_Le_Full_Text_Search_dans_PostgreSQL.pdf

### 6.6.1 Full Text Search : exemple

- Décomposition :

```
SELECT to_tsvector ('french',
                    'Longtemps je me suis couché de bonne heure');

               to_tsvector
-----------------------------------------
 'bon':7 'couch':5 'heur':8 'longtemp':1
```

- Recherche sur 2 mots :

```
SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('Valjean & Cosette');
```

- Recherche sur une phrase : `phrase_totsquery`

`to_tsvector` analyse un texte et le décompose en lexèmes, et non en mots. Les chiffres indiquent ici les positions et ouvrent la possibilité à des scores de proximité. Mais des indications de poids sont possibles.

Autre exemple de décomposition d'une phrase :

```
SHOW default_text_search_config ;

 default_text_search_config
----------------------------
 pg_catalog.french

SELECT to_tsvector (
'La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/') ;

                    to_tsvector
-----------------------------------------------------
 'document':2 'postgresql':4 'www.postgresql.org':7
```

Les mots courts et le verbe « être » sont repérés comme termes trop courants, la casse est ignorée, même l'URL est décomposée en protocole et hôte. On peut voir en détail comment la FTS a procédé :

```
SELECT description, token, dictionary, lexemes
FROM ts_debug('La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/') ;

   description    |       token        | dictionary  |       lexemes
------------------+--------------------+-------------+----------------------
 Word, all ASCII  | La                 | french_stem | {}
 Space symbols    |                    | ¤           | ¤
 Word, all ASCII  | documentation      | french_stem | {document}
 Space symbols    |                    | ¤           | ¤
 Word, all ASCII  | de                 | french_stem | {}
```

```
 Space symbols   |                    | ¤           | ¤
 Word, all ASCII | PostgreSQL         | french_stem | {postgresql}
 Space symbols   |                    | ¤           | ¤
 Word, all ASCII | est                | french_stem | {}
 Space symbols   |                    | ¤           | ¤
 Word, all ASCII | sur                | french_stem | {}
 Space symbols   |                    | ¤           | ¤
 Protocol head   | https://           | ¤           | ¤
 Host            | www.postgresql.org | simple      | {www.postgresql.org}
 Space symbols   | /                  | ¤           | ¤
```

Si l'on se trompe de langue, les termes courants sont mal repérés (et la recherche sera inefficace) :

```
SELECT to_tsvector ('english',
'La documentation de PostgreSQL est sur https://www.postgresql.org/');
```

```
                                  to_tsvector
-------------------------------------------------------------------------------
 'de':3 'document':2 'est':5 'la':1 'postgresql':4 'sur':6 'www.postgresql.org':7
```

Pour construire un critère de recherche, `to_tsquery` est nécessaire :

```
SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector('french',contenu) @@ to_tsquery('Valjean & Cosette');
```

Les termes à chercher peuvent être combinés par `&`, `|` (ou), `!` (négation), `<->` (mots successifs), `<N>` (séparés par N lexèmes). `@@` est l'opérateur de correspondance. Il y en a d'autres[6].

Il existe une fonction `phraseto_tsquery` pour donner une phrase entière comme critère, laquelle sera décomposée en lexèmes :

```
SELECT livre, contenu FROM textes
WHERE
      livre ILIKE 'Les Misérables Tome V%'
AND ( to_tsvector ('french',contenu)
        @@ phraseto_tsquery('c''est la fautes de Voltaire')
  OR  to_tsvector ('french',contenu)
        @@ phraseto_tsquery('nous sommes tombés à terre')
    );
```

```
                     livre                      |           contenu
------------------------------------------------+----------------------------
…
Les misérables Tome V Jean Valjean, Hugo, Victor | Je suis tombé par terre,
Les misérables Tome V Jean Valjean, Hugo, Victor | C'est la faute à Voltaire,
```

[6] https://docs.postgresql.fr/current/functions-textsearch.html

### 6.6.2 Full Text Search : dictionnaires

- Configurations liées à la langue
  - basées sur des dictionnaires (parfois fournis)
  - dictionnaires filtrants ( `unaccent` )
  - synonymes
- Extensible grâce à des sources extérieures
- Configuration par défaut : `default_text_search_config`

Les lexèmes, les termes courants, la manière de décomposer un terme… sont fortement liés à la langue.

Des configurations toutes prêtes sont fournies par PostgreSQL pour certaines langues :

```
# \dF
        Liste des configurations de la recherche de texte
   Schéma    |     Nom     |              Description
-------------+-------------+---------------------------------------
 pg_catalog | arabic      | configuration for arabic language
 pg_catalog | danish      | configuration for danish language
 pg_catalog | dutch       | configuration for dutch language
 pg_catalog | english     | configuration for english language
 pg_catalog | finnish     | configuration for finnish language
 pg_catalog | french      | configuration for french language
 pg_catalog | german      | configuration for german language
 pg_catalog | hungarian   | configuration for hungarian language
 pg_catalog | indonesian  | configuration for indonesian language
 pg_catalog | irish       | configuration for irish language
 pg_catalog | italian     | configuration for italian language
 pg_catalog | lithuanian  | configuration for lithuanian language
 pg_catalog | nepali      | configuration for nepali language
 pg_catalog | norwegian   | configuration for norwegian language
 pg_catalog | portuguese  | configuration for portuguese language
 pg_catalog | romanian    | configuration for romanian language
 pg_catalog | russian     | configuration for russian language
 pg_catalog | simple      | simple configuration
 pg_catalog | spanish     | configuration for spanish language
 pg_catalog | swedish     | configuration for swedish language
 pg_catalog | tamil       | configuration for tamil language
 pg_catalog | turkish     | configuration for turkish language
```

La recherche plein texte est donc directement utilisable pour le français ou l'anglais et beaucoup d'autres langues européennes. La configuration par défaut dépend du paramètre `default_text_search_config`, même s'il est conseillé de toujours passer explicitement la configuration aux fonctions. Ce paramètre peut être modifié globalement, par session ou par un `ALTER DATABASE SET`.

En demandant le détail de la configuration `french`, on peut voir qu'elle se base sur des « dictionnaires » pour chaque type d'élément qui peut être rencontré : mots, phrases mais aussi URL,

entiers…

```
# \dF+ french
Configuration « pg_catalog.french » de la recherche de texte
Analyseur : « pg_catalog.default »
      Jeton      | Dictionnaires
-----------------+---------------
 asciihword      | french_stem
 asciiword       | french_stem
 email           | simple
 file            | simple
 float           | simple
 host            | simple
 hword           | french_stem
 hword_asciipart | french_stem
 hword_numpart   | simple
 hword_part      | french_stem
 int             | simple
 numhword        | simple
 numword         | simple
 sfloat          | simple
 uint            | simple
 url             | simple
 url_path        | simple
 version         | simple
 word            | french_stem
```

On peut lister ces dictionnaires :

```
# \dFd
            Liste des dictionnaires de la recherche de texte
   Schéma   |       Nom       |                Description
------------+-----------------+-------------------------------------------
…
 pg_catalog | english_stem    | snowball stemmer for english language
…
 pg_catalog | french_stem     | snowball stemmer for french language
…
 pg_catalog | simple          | simple dictionary: just lower case
                              | and check for stopword
…
```

Ces dictionnaires sont de type « Snowball[7] », incluant notamment des algorithmes différents pour chaque langue. Le dictionnaire `simple` n'est pas lié à une langue et correspond à une simple décomposition après passage en minuscule et recherche de termes courants anglais : c'est suffisant pour des éléments comme les URL.

D'autres dictionnaires peuvent être combinés aux existants pour créer une nouvelle configuration. Le principe est que les dictionnaires reconnaissent certains éléments, et transmettent aux suivants ce qu'ils n'ont pas reconnu. Les dictionnaires précédents, de type Snowball, reconnaissent tout et doivent donc être placés en fin de liste.

Par exemple, la contrib `unaccent` permet de faire une configuration négligeant les accents[8].

[7] https://snowballstem.org/
[8] https://docs.postgresql.fr/current/unaccent.html

La contrib `dict_int` fournit un dictionnaire qui réduit la précision des nombres[9] pour réduire la taille de l'index. La contrib `dict_xsyn` permet de créer un dictionnaire pour gérer une liste de synonymes[10]. Mais les dictionnaires de synonymes peuvent être gérés manuellement[11]. Les fichiers adéquats sont déjà présents ou à ajouter dans `$SHAREDIR/tsearch_data/` (par exemple `/usr/pgsql-14/share/tsearch_data` sur Red Hat/CentOS ou `/usr/share/postgresql/14/tsearch_data` sur Debian).

Par exemple, en utilisant le fichier d'exemple `$SHAREDIR/tsearch_data/synonym_sample.syn`, dont le contenu est :

```
postgresql      pgsql
postgre pgsql
gogle   googl
indices index*
```

on peut définir un dictionnaire de synonymes, créer une nouvelle configuration reprenant `french`, et y insérer le nouveau dictionnaire en premier élément :

```
CREATE TEXT SEARCH DICTIONARY messynonymes (template=synonym,
 ↪  synonyms='synonym_sample');

CREATE TEXT SEARCH CONFIGURATION french2 (copy=french);

ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION french2
ALTER MAPPING FOR asciiword,hword,asciihword,word
WITH messynonymes, french_stem ;
```

À l'usage :

```
SELECT to_tsvector ('french2', 'PostgreSQL s''abrège en pgsql ou Postgres') ;

         to_tsvector
-------------------------
 'abreg':3 'pgsql':1,5,7
```

Les trois versions de « PostgreSQL » ont été reconnues.

Pour une analyse plus fine, on peut ajouter d'autres dictionnaires linguistiques depuis des sources extérieures (Ispell, OpenOffice…). Ce n'est pas intégré par défaut à PostgreSQL mais la procédure est dans la documentation[12].

Des « thesaurus » peuvent être même être créés pour remplacer des expressions par des synonymes (et identifier par exemple « le meilleur SGBD » et « PostgreSQL »).

[9] https://docs.postgresql.fr/current/dict-int.html
[10] https://docs.postgresql.fr/current/dict-xsyn.html
[11] https://docs.postgresql.fr/current/textsearch-dictionaries.html#textsearch-synonym-dictionary
[12] https://docs.postgresql.fr/current/textsearch-dictionaries.html

### 6.6.3 Full Text Search : stockage & indexation

- Stocker `to_tsvector (champtexte)`
  - colonne mise à jour par trigger
  - ou colonne générée (v12)
- Indexation GIN ou GiST

**Principe** :

Sans indexation, une recherche FTS fonctionne, mais parcourra entièrement la table. L'indexation est possible, avec GIN ou GiST. On peut stocker le vecteur résultat de `to_tsvector` dans une autre colonne de la table, et c'est elle qui sera indexée. Jusque PostgreSQL 11, il est nécessaire de le faire manuellement, ou d'écrire un trigger pour cela. À partir de PostgreSQL 12, on peut utiliser une colonne générée (il est nécessaire de préciser la configuration FTS), qui sera stockée sur le disque :

```
-- Attention, ceci réécrit la table
ALTER TABLE textes
ADD COLUMN vecteur tsvector
GENERATED ALWAYS AS (to_tsvector ('french', contenu)) STORED ;
```

Les critères de recherche porteront sur la colonne `vecteur` :

```
SELECT * FROM textes
WHERE vecteur @@ to_tsquery ('french','Roméo <2> Juliette');
```

Cette colonne sera ensuite indexée par GIN pour avoir des temps d'accès corrects :

```
CREATE INDEX on textes USING gin (vecteur) ;
```

**Alternative : index fonctionnel**

Plus simplement, il peut suffire de créer juste un index fonctionnel sur `to_tsvector ('french', contenu)`. On épargne ainsi l'espace du champ calculé dans la table.

Par contre, l'index devra porter sur le critère de recherche exact, sinon il ne sera pas utilisable. Cela n'est donc pertinent que si la majorité des recherches porte sur un nombre très restreint de critères, et il faudra un index par critère.

```
CREATE INDEX idx_fts ON public.textes
USING gin (to_tsvector('french'::regconfig, contenu))

SELECT * FROM textes
WHERE to_tsvector ('french', contenu) @@ to_tsquery ('french','Roméo <2> Juliette');
```

**Exemple complet de mise en place de FTS** :

- Création d'une configuration de dictionnaire dédiée avec dictionnaire français, sans accent, dans une table de dépêches :

```
CREATE TEXT SEARCH CONFIGURATION depeches (COPY= french);

CREATE EXTENSION unaccent ;

ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION depeches ALTER MAPPING FOR
hword, hword_part, word WITH unaccent,french_stem;
```

- Ajout d'une colonne vectorisée à la table `depeche`, avec des poids différents pour le titre et le texte, ici gérée manuellement avec un trigger.

```
CREATE TABLE depeche (id int, titre text, texte text) ;

ALTER TABLE depeche ADD vect_depeche tsvector;

UPDATE depeche
SET vect_depeche =
(setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(titre,'')), 'A') ||
setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(texte,'')), 'C'));

CREATE FUNCTION to_vectdepeche( )
 RETURNS trigger
 LANGUAGE plpgsql
 -- common options:  IMMUTABLE  STABLE  STRICT  SECURITY DEFINER
AS $function$
BEGIN
  NEW.vect_depeche :=
    setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(NEW.titre,'')), 'A') ||
    setweight(to_tsvector('depeches',coalesce(NEW.texte,'')), 'C');
  return NEW;
END
$function$;

CREATE TRIGGER trg_depeche before INSERT OR update ON depeche
FOR EACH ROW execute procedure to_vectdepeche();
```

- Création de l'index associé au vecteur :

```
 CREATE INDEX idx_gin_texte ON depeche USING gin(vect_depeche);
```

- Collecte des statistiques sur la table :

```
ANALYZE depeche ;
```

- Utilisation basique :

```
SELECT titre,texte FROM depeche WHERE vect_depeche @@
to_tsquery('depeches','varicelle');
SELECT titre,texte FROM depeche WHERE vect_depeche @@
to_tsquery('depeches','varicelle & médecin');
```

- Tri par pertinenence :

```
SELECT titre,texte
FROM depeche
WHERE vect_depeche @@ to_tsquery('depeches','varicelle & médecin')
ORDER BY ts_rank_cd(vect_depeche, to_tsquery('depeches','varicelle & médecin'));
```

- Cette requête peut s'écrire aussi ainsi :

```
SELECT titre,ts_rank_cd(vect_depeche,query) AS rank
FROM depeche, to_tsquery('depeches','varicelle & médecin') query
WHERE query@@vect_depeche
ORDER BY rank DESC ;
```

### 6.6.4 Full Text Search sur du JSON

- Vectorisation possible des JSON

```
SELECT info FROM commandes c
WHERE to_tsvector ('french', c.info) @@ to_tsquery('papier') ;

                              info
-------------------------------------------------------------------
 {"items": {"qté": 5, "produit": "Rame papier normal A4"},
            "client": "Benoît Delaporte"}
 {"items": {"qté": 5, "produit": "Pochette Papier dessin A3"},
            "client": "Lucie Dumoulin"}
```

Une recherche FTS est directement possible sur des champs JSON. Voici un exemple :

```
CREATE TABLE commandes (info jsonb);

INSERT INTO commandes (info)
VALUES
   (
      '{ "client": "Jean Dupont",
         "articles": {"produit": "Enveloppes A4","qté": 24}}'
   ),
   (
      '{ "client": "Jeanne Durand",
         "articles": {"produit": "Imprimante","qté": 1}}'
   ),
   (
      '{ "client": "Benoît Delaporte",
         "items": {"produit": "Rame papier normal A4","qté": 5}}'
   ),
   (
      '{ "client": "Lucie Dumoulin",
         "items": {"produit": "Pochette Papier dessin A3","qté": 5}}'
   );
```

La décomposition par FTS donne :

```
SELECT to_tsvector('french', info) FROM commandes ;

                  to_tsvector
-------------------------------------------------
```

```
 'a4':5 'dupont':2 'envelopp':4 'jean':1
 'durand':2 'imprim':4 'jeann':1
 'a4':4 'benoît':6 'delaport':7 'normal':3 'papi':2 'ram':1
 'a3':4 'dessin':3 'dumoulin':7 'luc':6 'papi':2 'pochet':1
```

Une recherche sur « papier » donne :

```
SELECT info FROM commandes c
WHERE to_tsvector ('french', c.info) @@ to_tsquery('papier') ;
```

```
                                          info
-------------------------------------------------------------------------------
 {"items": {"qté": 5, "produit": "Rame papier normal A4"}, "client": "Benoît
 ↪  Delaporte"}
 {"items": {"qté": 5, "produit": "Pochette Papier dessin A3"}, "client": "Lucie
 ↪  Dumoulin"}
```

Plus d'information chez Depesz : Full Text Search support for json and jsonb[13].

[13] https://www.depesz.com/2017/04/04/waiting-for-postgresql-10-full-text-search-support-for-json-and-jsonb/

## 6.7 QUIZ

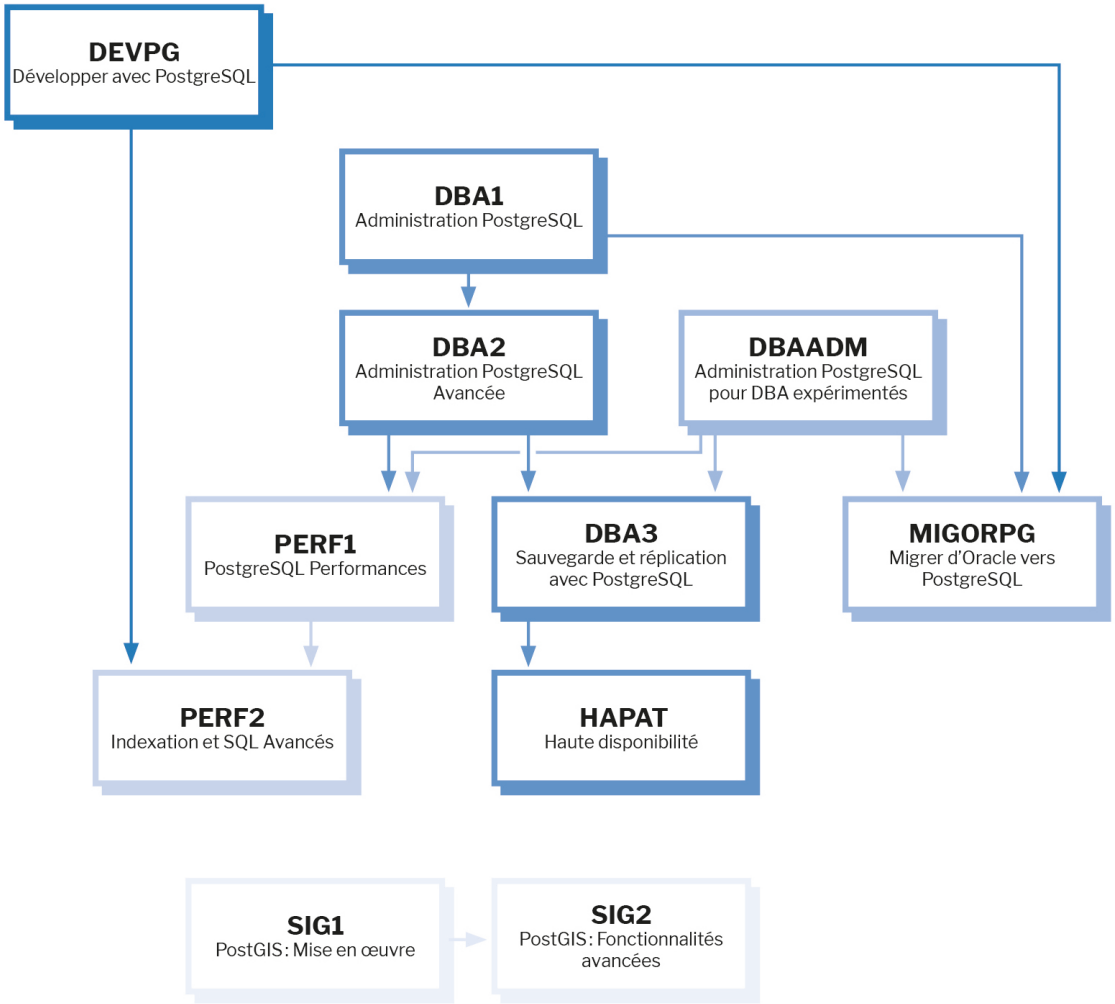
**https://dali.bo/t1_quiz**

# 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/migorpg
- 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.