Introduction aux Bases de Données NoSQL

Au début des années 2000, les principaux acteurs du Web comme Yahoo, Google, Amazon ou eBay ont commencé à manipuler des volumes de données gigantesques qui atteignaient les limites des bases de données relationnelles traditionnelles. Un peu plus tard, avec le développement du Web social, des sites comme Facebook ou Twitter ont été confrontés aux mêmes problématiques. Afin de gérer leurs données, toutes ces sociétés ont dû développer en interne des solutions adaptées à leurs besoins spécifiques (GoogleFS et BigTable pour Google, Dynamo pour Amazon, Cassandra pour Facebook, …). Ces SGBD avaient plusieurs points communs dont : ne pas être basés sur du relationnel et permettre une montée en charge horizontale (scalabilité horizontale) simplement en rajoutant des serveurs ou des datacenters.

Un certain nombre de ces SGBD sont ensuite tombés dans le domaine de l'open-source et cela a donné naissance à la mouvance NoSQL. Le NoSQL ne signifie pas 'Non SQL' mais plutôt 'Not Only SQL'. Le terme SQL n'est d'ailleurs pas très approprié (certains SGBD NoSQL comme Cassandra utilisent un dialecte SQL) car le sens du NoSQL est plutôt Not Only Relationnel. Cela signifie qu'on n'est pas obligé de stocker toutes les données dans du relationnel et que les entreprises peuvent utiliser simultanément plusieurs SGBD de types différents en fonction de leurs besoins.

Parallèlement à cela, avec le développement de l'informatique embarquée, la multiplication des capteurs et des objets connectés, le volume des données récoltées par les entreprises a commencé à croitre de façon exponentielle. Certaines entreprises ont donc décidé d'utiliser les technologies développées par les géants du Web pour stocker et traiter de façon analytique les données qu'elles accumulaient ; de la business Intelligence (BI) sur des gros volumes de données non structurées. Cela a donné naissance au Big Data. Le Big Data ne se limite donc plus aux grands acteurs du Web et devrait donc concerner de plus en plus d'entreprises à l'avenir. Il s'appuie généralement sur des bases de données NoSQL.

1 Caractéristiques des bases de données NoSQL

Les bases de données NoSQL sont toutes très diverses. Mais, elles ont un certain nombre de points communs qui sont, en plus de ne pas être basées sur une technologie relationnelle, de supporter une architecture distribuée, de ne pas gérer les transactions ACID, de ne pas avoir de schéma prédéfini (schéma-less) et d'avoir des données dénormalisées.

1.1 Une architecture distribuée

Les bases de données NoSQL doivent pouvoir stocker et traiter des volumes de données très importants. Il faut donc qu'elles puissent monter en charge en ajoutant simplement des nouveaux serveurs (on parle de scalabilité horizontale). Pour cela, elles doivent proposer des mécanismes qui permettent la distribution et le traitement des données sur plusieurs nœuds.

> Une architecture distribuée peut être avec ou sans maitre. Avec une architecture sans maitre (comme par exemple Cassandra), chaque nœud est équivalent. Lorsqu'un client émet une requête, il est mis en contact automatiquement avec le nœud qui contient les données. L'avantage d'une telle architecture est qu'il est facile de rajouter un nouveau nœud, et qu'il y a une forte résistance aux pannes (il n'y a pas de point de défaillance unique ; si un nœud tombe, le système continue à tourner). Cette architecture favorise la disponibilité des données (mais pas forcément la cohérence absolue).
>
> Dans le cas d'une architecture avec maitre (comme MongoDB), un nœud particulier joue le rôle du maitre. C'est lui qui s'occupe de gérer les écritures et de les répliquer sur les nœuds esclaves (par contre les lectures peuvent être faites directement sur les nœuds esclaves).
>
> L'architecture avec un maitre favorise la cohérence (toutes les écritures passent par le nœud maitre), mais il y a un point de défaillance unique (si le maitre tombe) et la disponibilité des données est plus difficile à respecter. Le théorème CAP tente d'ailleurs de démontrer qu'un système distribué ne peut pas être à la fois cohérent et disponible.

En plus de partitionner les données sur les nœuds, les SGBD NoSQL dupliquent également ces données (on parle de réplicas). Le but étant de garantir la disponibilité du système dans le cas où un nœud serait hors service.

Beaucoup de bases de données NoSQL gèrent la distribution des traitements (et la montée en charge horizontale) grâce au pattern MapReduce. Une fonction `map` permet d'étiqueter des données, et une fonction `reduce` de réaliser un traitement en fonction de cette étiquette. Ces fonctions peuvent être exécutées en parallèle sur plusieurs nœuds en même temps.

1.2 Pas de gestion ACID des transactions

Dans un contexte centralisé, les contraintes ACID sont faciles à gérer. Mais dans les systèmes distribués comme les bases de données NoSQL, si on souhaite garder un certain niveau de performance, cela devient quasiment impossible. Certains SGBD NoSQL peuvent quand même être paramétrés pour gérer partiellement la durabilité, l'atomicité ou la cohérence mais cela peut faire décroitre les performances. Quoi qu'il en soit, si la cohérence n'est pas gérée par le SGBD, ce sera au(x) client(s) de s'assurer du respect des contraintes d'intégrité.

1.3 Pas de schéma (schema-less)

La plupart des bases de données NoSQL sont sans schéma. Il n'y a pas une structure prédéfinie pour stocker les données. Ce type de paradigme convient assez bien aux processus de développement itératif où on ne connait pas, à priori, le schéma de la base de données. Le fait de ne pas avoir de schéma permet également de ne pas devoir traiter les `NULL` (qui sont une source de problèmes dans les bases de données relationnelles).

1.4 Pas de normalisation

Comme les données sont partitionnées sur plusieurs nœuds, les SGBD NoSQL ne permettent pas de faire de jointures dans des bonnes conditions. C'est quelque chose qu'il faut prendre en compte lorsqu'on modélise les données d'une base de données NoSQL. Ainsi, la modélisation d'une base de données NoSQL dépendra toujours des requêtes qu'on souhaite réaliser ; afin que ces requêtes s'exécutent le plus rapidement possible. On va donc très souvent être amené à introduire de la redondance d'information. La logique est ici complètement différente des bases de données relationnelles où on modélise les données indépendamment des requêtes qui seront faites.

2 Les principales familles de bases de données NoSQL

On classe généralement les SGBD NoSQL dans quatre catégories (même si certains SGBD NoSQL plus marginaux peuvent avoir du mal à entrer dans une de ces catégories) :

1. **Les bases de données clé-valeur** (Redis, Riak, …)
   Ce sont les bases de données NoSQL les plus basiques. Chaque objet est identifié par une clé unique. La structure de l'objet est libre et laissée à la charge du développeur. Cela peut être une valeur scalaire ou bien un document plus complexe (JSON ou XML) ; mais le SGBD ne fournit aucun moyen d'effectuer des requêtes sur la structure de cet objet.
2. **Les bases de données orientées documents** (MongoDB, CouchDB, …)
   Les bases de données documentaires sont constituées de collections de documents. Il s'agit d'un raffinement du modèle clé-valeur où la valeur est obligatoirement un document (généralement JSON ou XML). Ces SGBD proposent un langage de requêtes sophistiqué pour extraire les données des documents de la collection.
3. **Les bases de données orientées colonnes** (Cassandra, HBase, …)
   Ces bases de données proposent des familles de colonnes. Pour une clé d'une famille de colonnes, correspond un ensemble de colonnes (chacune ayant une valeur). En théorie, chaque objet de la même famille peut avoir des colonnes différentes (schéma-less).
4. **Les bases de données orientées graphes** (Neo4j, GraphDB, …)
   Il s'agit des bases de données NoSQL les moins connues. Elles permettent de créer des objets qui sont reliés entre eux avec des arcs orientés disposant de propriétés.

3 Les principaux SGBD NoSQL

Le site DB-engine publie tous les mois un classement des SGBD par rapport à leur popularité (à savoir le nombre de fois où le SGBD est mentionné sur des sites Web, des forums, des moteurs de recherche, des offres d'emploi de réseaux professionnels, des réseaux sociaux, etc.)

Source : https://db-engines.com/en/ranking

416 systems in ranking, November 2023

Rank Nov 2023	Rank Oct 2023	Rank Nov 2022	DBMS	Database Model	Score Nov 2023	Score Oct 2023	Score Nov 2022
1.	1.	1.	Oracle	Relational, Multi-model	1277.03	+15.61	+35.34
2.	2.	2.	MySQL	Relational, Multi-model	1115.24	-18.07	-90.30
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server	Relational, Multi-model	911.42	+14.54	-1.09
4.	4.	4.	PostgreSQL	Relational, Multi-model	636.86	-1.96	+13.70
5.	5.	5.	MongoDB	Document, Multi-model	428.55	-2.87	-49.35
6.	6.	6.	Redis	Key-value, Multi-model	160.02	-2.95	-22.03
7.	7.	7.	Elasticsearch	Search engine, Multi-model	139.62	+2.48	-10.70
8.	8.	8.	IBM Db2	Relational, Multi-model	136.00	+1.13	-13.56
9.	9.	↑ 10.	SQLite	Relational	124.58	-0.56	-10.05
10.	10.	↓ 9.	Microsoft Access	Relational	124.49	+0.18	-10.53
11.	11.	↑ 12.	Snowflake	Relational	121.00	-2.24	+10.84
12.	12.	↓ 11.	Cassandra	Wide column, Multi-model	109.17	+0.34	-8.96
13.	13.	13.	MariaDB	Relational, Multi-model	102.09	+2.43	-2.82
14.	14.	14.	Splunk	Search engine	97.32	+4.95	+3.10
15.	15.	↑ 16.	Microsoft Azure SQL Database	Relational, Multi-model	83.17	+2.24	-0.49
16.	16.	↓ 15.	Amazon DynamoDB	Multi-model	82.24	+1.32	-3.16
17.	17.	↑ 19.	Databricks	Multi-model	77.22	+1.40	+16.33
18.	18.	↓ 17.	Hive	Relational	68.64	-0.54	-13.25
19.	↑ 20.	↑ 22.	Google BigQuery	Relational	59.31	+2.74	+5.18
20.	↓ 19.	↓ 18.	Teradata	Relational, Multi-model	57.33	-1.23	-7.90
21.	21.	21.	FileMaker	Relational	52.44	-0.88	-1.87
22.	↑ 23.	↓ 20.	Neo4j	Graph	49.70	+1.26	-7.60
23.	↓ 22.	23.	SAP HANA	Relational, Multi-model	49.12	-0.32	-2.33
24.	24.	24.	Solr	Search engine, Multi-model	44.62	-0.74	-6.71
25.	25.	25.	SAP Adaptive Server	Relational, Multi-model	41.49	-0.43	-2.10
26.	26.	26.	HBase	Wide column	34.16	-0.53	-6.25
27.	27.	27.	Microsoft Azure Cosmos DB	Multi-model	34.11	-0.18	-5.64
28.	28.	↑ 29.	InfluxDB	Time Series, Multi-model	29.02	-0.72	-0.94
29.	29.	↓ 28.	PostGIS	Spatial DBMS, Multi-model	26.92	-0.39	-3.86
30.	30.	↑ 34.	Microsoft Azure Synapse Analytics	Relational	26.79	-0.34	+3.76

Si les 10 premiers SGBD restent majoritairement des SGBD Relationnels, notamment les quatre premiers (Oracle, SQL Server, PostgreSQL, MySQL) qui maintiennent leur rang depuis très longtemps, certains SGBD non-relationnels commencent à acquérir une certaine popularité, notamment MongoDB, Redis et Cassandra qui sont régulièrement classés dans les dix premières places.

Nous verrons cette année trois SGBD NoSQL :

- **Cassandra** qui est le SGBD orienté colonnes le plus populaire.
- **MongoDB** qui est un SGBD orienté documents et qui est le SGBD NoSQL le plus populaire.
- **Neo4j** qui bien qu'il soit moins populaire que les SGBD précédents reste malgré tout le SGBD orienté graphes le plus connu.

Nous ne verrons pas de SGBD clé-valeur qui sont plus rudimentaires et dont le fonctionnement ressemble un peu aux HSTORE que vous avez vu sous PostgreSQL en deuxième année. Et nous ne verrons pas non plus de Bases de Données de type moteur de recherche tel que Elasticsearch ou Solr.

Dossier 3
Cassandra

Cassandra est un SGBD orienté colonne écrit en Java. A l'origine, il a été développé par Facebook mais il est dans l'espace open-source depuis 2008. Cassandra est actuellement portée par la fondation Apache et est utilisé par des entreprises qui gèrent des grands volumes de données - comme par exemple Tweeter, eBay ou Netflix. L'entreprise DataStax propose la distribution et le support d'une version entreprise de Cassandra.

Cassandra permet de partitionner les données sur différents nœuds avec une architecture décentralisée. Chaque nœud est indépendant et il n'y a pas besoin de serveur maitre. Le client peut interroger n'importe quel nœud. Il sera dirigé vers un des nœuds qui contient les données qu'il souhaite obtenir. Afin d'assurer la disponibilité des données (même si un des nœuds est indisponible), Cassandra duplique les données. La cohérence des écritures et des lectures est alors paramétrable pour chaque instruction. Par exemple, avec le niveau par défaut `ONE`, les écritures ou lectures seront réalisées sur un nœud (il n'y a pas de cohérence absolue). Avec l'option `QUORUM`, elles seront réalisées sur la moitié des nœuds plus un. Et avec l'option `ALL`, elles devront être réalisées sur tous les nœuds. Depuis sa version 2, Cassandra dissimule le stockage interne des données (historiquement orienté colonnes) et propose un langage d'interrogation, le CQL (Cassandra Query Language), qui est très proche dans sa syntaxe du SQL ; si bien que le développeur peut avoir l'impression de manipuler une base de données relationnelle. Mais comme nous le verrons par la suite, cela n'est qu'une illusion.

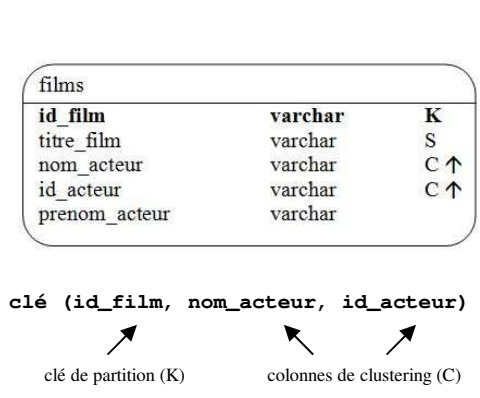
1 Concepts de base

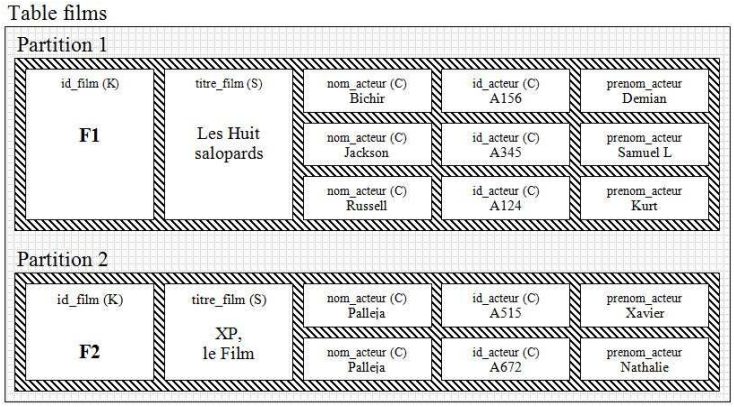
1.1 Stockage des données

Cassandra était à l'origine un SGBD orienté colonnes. Mais depuis sa version 2, il n'est plus possible de stocker des colonnes différentes pour chaque objet d'une `column family`. A présent, chaque ligne de la `column family` doit avoir une même structure, définie à l'avance. Cassandra n'est donc plus un SGBD schéma-less. D'ailleurs, dans les dernières versions, les `column family` peuvent être appelées des `table`. Et avec l'ajout du langage CQL, cela peut donner l'illusion que l'on travaille sur une base de données relationnelle. Mais, en réalité, il n'en est rien car les données d'une table sont partitionnées sur différents nœuds.

Les tables (ou `column family` dans les précédentes versions de Cassandra), possèdent une clé composée par une **clé de partition** (qui assure que toutes les données qui ont la même clé de partition sont stockées ensemble sur le même nœud – partition ou fragmentation horizontale) et éventuellement d'une ou plusieurs **colonnes de clustering** ordonnées qui permettent de classer les données d'une partition dans un ordre précis (par défaut, les données sont classées dans l'ordre ascendant de la colonne de clustering). Les colonnes d'une table peuvent être propres à une ligne ou bien à une partition. Si elles appartiennent à la partition, elles sont déclarées `static` et toutes les lignes de la même partition partagent la même valeur. Cela permet de limiter la redondance, mais il faut savoir que sous Cassandra 4, les colonnes statiques ne peuvent pas être utilisées pour faire des vues matérialisées.

Exemple d'une table films permettant de connaitre les acteurs qui jouent dans les différents films.

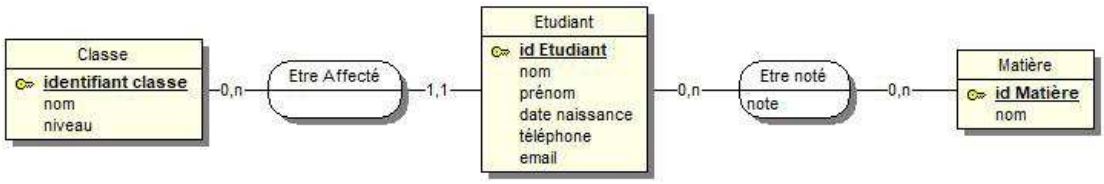




1.2 Modélisation des données

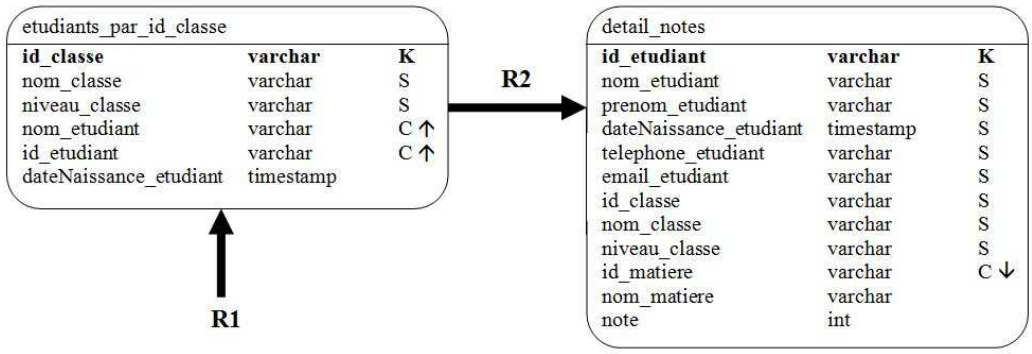
Comme nous le verrons plus tard, le CQL ne permet pas de faire des jointures ni de sous-requête. Cela ralentirait trop les requêtes, notamment parce qu'avec les partitions, les données d'une table peuvent être distribuées sur plusieurs nœuds. Le CQL ne permet pas non plus de faire des sélections sur des colonnes qui ne se trouvent pas dans la clé (à moins d'utiliser des index secondaires qui ne sont pas très efficaces) car dans les tables, les données ne sont pas triées selon cette colonne. Dans ces conditions, il est important de structurer les données en fonction des requêtes qu'on souhaite réaliser ; afin que ces requêtes puissent s'exécuter le plus rapidement possible. Même si pour cela on est amené à introduire de la redondance.
Il s'agit d'une logique de modélisation des données complètement différente de celle vue dans les bases de données relationnelles, où on structure les données indépendamment des requêtes, en ayant pour seul souci d'obtenir un schéma normalisé. Ici, on va plutôt concevoir le schéma en fonction des requêtes que l'on va devoir réaliser.

Exemple : on souhaite modéliser dans une base de données Cassandra les informations du diagramme de classes conceptuel suivant.



Les utilisateurs du système souhaitent pouvoir faire deux requêtes :

- R1 : retrouver les étudiants d'une classe à partir de l'identifiant d'une classe. Les étudiants de la classe doivent être classés par ordre alphabétique de leur nom (ordre ascendant). Si deux étudiants ont le même nom, on veut les classer par leur identifiant. On souhaite également avoir la date de naissance des étudiants ainsi que le nom et le niveau de la classe.
- R2 : à partir des identifiants d'étudiants obtenus avec la R1, retrouver toutes les informations sur les étudiants en question. Avec leur classe, ainsi que les notes qu'ils ont obtenues. Les notes doivent être classées par rapport à leur numéro de matière, dans l'ordre descendant.



Modèle Logique des Données

```
CREATE TABLE etudiants_par_id_classe (
       id_classe varchar,
       nom_classe varchar STATIC,
       niveau_classe varchar STATIC,
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       dateNaissance_etudiant timestamp,
       PRIMARY KEY (id_classe, nom_etudiant, id_etudiant)
);
```

```
CREATE TABLE detail_notes (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar STATIC,
       prenom_etudiant varchar STATIC,
       dateNaissance_etudiant timestamp STATIC,
       telephone_etudiant varchar STATIC,
       email_etudiant varchar STATIC,
       id_classe varchar STATIC,
       nom_classe varchar STATIC,
       niveau_classe varchar STATIC,
       id_matiere varchar,
       nom_matiere varchar,
       note int,
       PRIMARY KEY (id_etudiant, id_matiere)
)
WITH CLUSTERING ORDER BY (id_matiere DESC);
```

1.3 Réaliser des requêtes en CQL

Pour manipuler les données, il est possible d'utiliser le langage CQL (Cassandra Query Language). Syntaxiquement, ce langage ressemble beaucoup au SQL. Il permet de créer, de modifier ou de supprimer des tables. Il permet également d'insérer, de modifier ou de supprimer des lignes dans les tables. Enfin il permet aussi d'extraire des données (requêtes `SELECT`) mais pour ce genre de requêtes, il est beaucoup plus limité que le SQL.

1.3.1 Créer et se connecter à un keyspace

Dans une base de données Cassandra les tables et tous les autres objets (comme par exemple les types, les fonctions ou les vues matérialisées) sont stockées dans un keyspace. Un keyspace est l'équivalent d'un schéma d'une base de données relationnelle.

Pour utiliser un keyspace et pouvoir ainsi manipuler directement tous les objets qui se trouvent dans le keyspace, il faut exécuter l'instruction `USE`.

Par exemple : `USE ks_etudiants;` permettra par la suite d'écrire directement `SELECT * FROM etudiants_par_id_classe` au lieu de `SELECT * FROM ks_etudiants.etudiants_par_id_classe`

Si on possède les privilèges système suffisants, il est possible de créer un nouveau keyspace avec la commande suivante.

```
CREATE KEYSPACE ks_etudiants
WITH REPLICATION = {'class' : 'SimpleStrategy', 'replication_factor' : 1};
```

`class` : permet d'indiquer que la stratégie de placement est simple, gérée automatiquement par Cassandra (l'autre stratégie est `NetworkTopologyStrategy`)

`replication_factor` : indique le nombre de réplicas à maintenir.

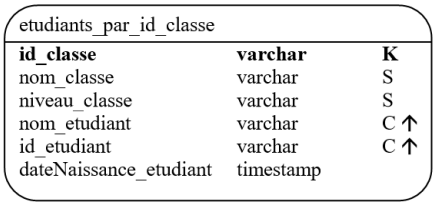
1.3.2 Créer modifier ou supprimer des tables

Comme en SQL, il est possible de créer une table avec l'instruction `CREATE TABLE` (voir exemple en bas de la page précédente). Il est également possible de modifier une table avec l'instruction `ALTER TABLE` ou de supprimer une table avec l'instruction `DROP TABLE`.

1.3.3 Les requêtes de mise à jour

Il est possible de mettre à jour les données avec les instructions `INSERT`, `UPDATE` et `DELETE`. La clause `TTL` (Time To Live) permet de faire des modifications temporaires, limitées en secondes. Cassandra vérifie quelques contraintes (clé primaire, types), mais la plupart des contrôles de la cohérence devront être réalisés par l'application cliente (ou par chacune des applications clientes) qui se connecte à la base de données.

Lors d'une insertion, la clé de partition doit obligatoirement être renseignée mais pas forcément les colonnes de clustering qui peuvent éventuellement être toutes nulles (mais si une des colonnes de clustering ou non statique est renseignée, alors toutes les colonnes de clustering doivent l'être aussi). Si on insère une ligne dont la clé (clé de partition + colonne de clustering) est déjà présente dans la table, il n'y aura pas d'erreur mais la ligne de la table sera écrasée par l'insertion (cela fonctionnera comme un `UPDATE`). Si on ne veut pas que cela soit possible, il faut rajouter `IF NOT EXISTS` à la fin de l'instruction.



etudiants_par_id_classe		
id_classe	**varchar**	**K**
nom_classe	varchar	S
niveau_classe	varchar	S
nom_etudiant	varchar	C ↑
id_etudiant	varchar	C ↑
dateNaissance_etudiant	timestamp	

a
```
➢ INSERT INTO etudiants_par_id_classe (id_classe, nom_classe, niveau_classe,
                                       id_etudiant,  dateNaissance_etudiant, nom_etudiant)
  VALUES ('C1','LP APIDAE', 'Licence Pro', 'E1', '1999-12-16', 'Zetofrais');
```

b
```
➢ INSERT INTO etudiants_par_id_classe (id_classe, nom_classe, niveau_classe,
                                       id_etudiant, nom_etudiant)
  VALUES ('C2','LP ACPI', 'Licence Pro', 'E2', 'Zeblouse');
```

c
```
➢ INSERT INTO etudiants_par_id_classe (id_classe, nom_classe, niveau_classe)
  VALUES ('C3','LP PGI', 'Licence Pro') IF NOT EXISTS;
```

d
```
➢ UPDATE etudiants_par_id_classe SET dateNaissance_etudiant = '1999-02-21'
  WHERE id_classe ='C2' AND nom_etudiant ='Zeblouse' AND id_etudiant ='E2';
```

e
```
➢ UPDATE etudiants_par_id_classe USING TTL 60 SET nom_classe = 'LP PSGI' WHERE id_classe='C3';
```

f
```
➢ DELETE FROM etudiants_par_id_classe WHERE id_classe = 'C3';
```

etudiants_par_id_classe		
id_classe	**varchar**	**K**
nom_classe	varchar	S
niveau_classe	varchar	S
nom_etudiant	varchar	C ↑
id_etudiant	varchar	C ↑
dateNaissance_etudiant	timestamp	

1.3.4 Les requêtes de base d'extraction de données

Le CQL ne permet pas de faire de jointure. Sans index secondaire, on ne peut faire des sélections que sur des colonnes définies dans la clé primaire ; et il faut que la condition de sélection de la requête respecte l'ordre dans lesquelles les colonnes ont été définies dans la clé primaire. Il n'est donc pas possible de faire une sélection (dans le `WHERE`) sur une colonne de clustering si la clé de partition n'est pas dans le `WHERE`. De même, il n'est pas possible de mettre dans le `WHERE` la seconde colonne de clustering si la première n'y est pas.
Les tris (avec `ORDER BY`) ne peuvent porter que sur des colonnes de clustering, et il faut qu'il y ait au moins la clé de partition dans le `WHERE` (un `ORDER BY` ne peut pas porter sur une clé de partition). Le `DISTINCT` ne peut porter que sur des clés de partition ou des colonnes `STATIC`.

Les requêtes suivantes **retourneront un résultat** :

g ➢
```
SELECT nom_etudiant FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C1' LIMIT 10;
```

h ➢
```
SELECT COUNT(id_etudiant) FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C2' AND nom_etudiant = 'Terrieur';
```

i ➢
```
SELECT COUNT(id_etudiant) FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C2'
AND nom_etudiant = 'Terrieur' AND id_etudiant = 'E5';
```

j ➢
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe IN ('C1', 'C2');
```

k ➢
```
SELECT DISTINCT id_classe FROM etudiants_par_id_classe;
```

l ➢
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C1' ORDER BY nom_etudiant;
```

Par contre, les requêtes suivantes **ne marcheront pas** (ou déclencheront des warnings). En fonction de la version de Cassandra, il sera tout de même possible d'exécuter certaines requêtes en ajoutant la clause `ALLOW FILTERING` mais les performances seront dégradées.

m ❖
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_etudiant = 'E1';
-- il n'y a pas la clé de partition dans le WHERE
```

n ❖
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE nom_etudiant = 'Terrieur';g
-- Même chose mais comme nom_etudiant est la première colonne de clustering, on peut tout
-- de même forcer l'exécution de cette requête avec la clause ALLOW FILTERING
```

o ❖
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C1'
AND id_etudiant = 'E1';
-- sélection sur la seconde colonne de clustering alors qu'il n'y a pas la première dans le WHERE
```

p ❖
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
ORDER BY nom_etudiant;
-- tri sur une colonne de clustering alors qu'il n'y a pas la clé de partition dans le WHERE
```

q ❖
```
SELECT * FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C1'
ORDER BY id_etudiant;
-- tri sur la seconde colonne de clustering alors qu'il n'y a pas la première dans le ORDER BY
```

r ❖
```
SELECT DISTINCT id_etudiant FROM etudiants_par_id_classe;
-- DISTINCT n'est possible que sur la colonne de clustering ou colonnes statiques
```

s ❖
```
SELECT COUNT(id_etudiant) FROM etudiants_par_id_classe;
-- COUNT sur une colonne de clustering, va fonctionner mais peut lever des warning sous
-- certaines versions de Cassandra (mais pas sur la dernière version que nous avons à l'IUT)
```

1.3.5 Solutions pour extraire des données selon des colonnes non référencées par la clé primaire

Lorsqu'on souhaite réaliser une requête sur une table mais que le CQL ne le permet pas car les critères de sélection de la requête ne correspondent pas aux clés primaires définies sur la table, ou alors lorsque on veut faire une requête qui nécessiterait de faire une jointure (ce qui est impossible en CQL), on a quatre solutions à notre disposition pour arriver à nos fins : utiliser un index secondaire, créer une nouvelle table de données, créer une table d'index ou encore utiliser une vue matérialisée.
La première solution (index secondaire) est la plus facile à mettre en œuvre mais elle dégrade les performances. La dernière (la vue matérialisée) est la solution généralement préconisée.

1. Utiliser des index secondaires. Cette solution est très simple à mettre en œuvre, mais elle est généralement déconseillée car comme l'utilisation ALLOW FILTERING les index secondaires dégradent les performances. En effet ces index sont beaucoup moins rapides que les index définis sur les clés primaires ; notamment lorsque la requête va porter sur plusieurs partitions qui peuvent être sur des nœuds différents. Il est à noter que la colonne sur laquelle on place l'index secondaire ne doit pas être statique.
2. Modifier la structure de la table existante (si cela ne nuit pas à d'autres requêtes) ou plutôt rajouter une nouvelle table de données. Cette solution, a le désavantage de générer de la redondance. Elle n'est intéressante que si les données sur lesquelles on travaille sont stables (car les données de la nouvelle table ne seront pas mises à jour quand on modifiera les données de la première table).
3. Rajouter une table d'index ; c'est-à-dire une table composée uniquement des attributs de sa clé primaire, qui permettra grâce à une première requête d'accéder ensuite à la table dans laquelle se trouvent les données cherchées (on fera donc deux requêtes). Par rapport à la solution précédente, cette solution permet de limiter la redondance ; même s'il y en a tout de même. Par contre il faudra faire deux requêtes. Cette solution est intéressante lorsqu'on souhaite faire des recherches multicritères (on fait alors une table d'index pour chaque critère de recherche).
4. Enfin, la solution conseillée, créer une vue matérialisée construite avec les données de la table sur laquelle on souhaite faire la recherche. Cette solution n'est disponible qu'à partir de Cassandra 3. Les vues matérialisées permettent de ne pas avoir à gérer les anomalies dues à la redondance ; la vue matérialisée est mise à jour automatiquement lorsqu'il y a des modifications sur la table qu'elle référence. Il est à noter que les vues matérialisées ne peuvent pas être implémentées sur des colonnes qui ont été déclarées `static` dans la table référencée par la vue. La vue matérialisée doit également comporter toutes les colonnes qui composent la clé de la table qu'elle référence.

Exemple : on souhaite pouvoir retrouver l'identifiant de tous les étudiants qui sont à un niveau de classe donné (par exemple tous les étudiants qui sont en Licence Pro).

etudiants_par_id_classe		
id_classe	**varchar**	**K**
nom_classe	varchar	
niveau_classe	varchar	
nom_etudiant	varchar	C ↑
id_etudiant	varchar	C ↑
dateNaissance_etudiant	timestamp	

Pour réaliser cette requête, il n'est pas possible d'utiliser la table `etudiants_par_id_classe` car `niveau_classe` n'est pas la clé de partition (il n'est d'ailleurs même pas une colonne de clustering). La requête suivante ne marchera donc pas.

```
SELECT id_etudiant FROM etudiants_par_id_classe WHERE niveau_classe = 'Licence Pro';
```

Pour résoudre ce problème, nous pouvons donc :

① Utilisation d'un index secondaire :

```
CREATE INDEX idx_etudiants_par_id_classe__niveau_classe
       ON etudiants_par_id_classe(niveau_classe);
```

② Ajout d'une nouvelle table de données :

```
CREATE TABLE etudiant_par_niveau_classe (
       id_classe varchar,
       nom_classe varchar,
       niveau_classe varchar,
       id_etudiant varchar,
       dateNaissance_etudiant timestamp,
       nom_etudiant varchar,
       PRIMARY KEY (niveau_classe, nom_etudiant, id_etudiant)
);
```

③ Ajout d'une table d'index

```
CREATE TABLE etudiants_par_niveau_classe (
       niveau_classe varchar,
       id_classe varchar,
       PRIMARY KEY (niveau_classe, id_classe)
);
```

④ Ajout d'une vue matérialisée :

```
CREATE MATERIALIZED VIEW etudiants_par_niveau_classe AS
       SELECT niveau_classe, id_classe, nom_etudiant, id_etudiant
       FROM etudiants_par_id_classe
       WHERE niveau_classe IS NOT NULL
       AND id_classe IS NOT NULL
       AND nom_etudiant IS NOT NULL
       AND id_etudiant IS NOT NULL
       PRIMARY KEY (niveau_classe, id_classe, nom_etudiant, id_etudiant);
SELECT * FROM etudiants_par_niveau_classe WHERE niveau_classe = 'Licence Pro';
```

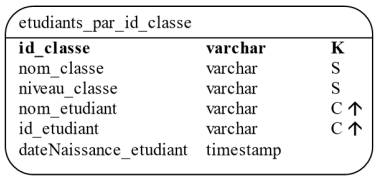
2 Concepts avancés

2.1 Les regroupements et fonctions

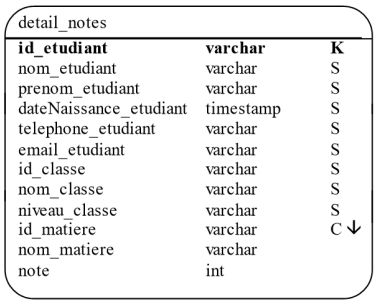
Depuis la version 3.10 de Cassandra, il est possible d'effectuer des regroupements en CQL. Ces regroupements peuvent être utilisées avec des fonctions ensemblistes.

2.1.1 Les regroupements (`GROUP BY`)

Le `GROUP BY` doit être utilisé selon l'ordre des attributs qui a été défini sur la clé de la table. Il peut donc porter sur la clé de partition. Ou bien sur une colonne de clustering si une sélection dans le `WHERE` a été faite sur la clé de partition et les précédentes colonnes de clustering.
Contrairement au SQL d'Oracle, on peut mettre dans le `SELECT` un attribut qui n'est pas dans le `GROUP BY`. Si cet attribut est statique et que le `GROUP BY` porte sur la clé de partition, le résultat restera cohérent. Par contre, si ce n'est pas un colonne statique, Cassandra retournera, dans le groupement, la première valeur trouvée pour cette colonne et le résultat ne sera pas forcément cohérent.



etudiants_par_id_classe		
id_classe	**varchar**	**K**
nom_classe	varchar	S
niveau_classe	varchar	S
nom_etudiant	varchar	C ↑
id_etudiant	varchar	C ↑
dateNaissance_etudiant	timestamp	



detail_notes		
id_etudiant	**varchar**	**K**
nom_etudiant	varchar	S
prenom_etudiant	varchar	S
dateNaissance_etudiant	timestamp	S
telephone_etudiant	varchar	S
email_etudiant	varchar	S
id_classe	varchar	S
nom_classe	varchar	S
niveau_classe	varchar	S
id_matiere	varchar	C ↓
nom_matiere	varchar	
note	int	

R01 : Pour chacune des classes, le nombre d'étudiants

```
SELECT id_classe, nom_classe, COUNT(*) AS nbEtudiants
FROM etudiants_par_id_classe
GROUP BY id_classe ;
```

R02 : Pour la classe C1, le nombre d'étudiants qui ont chaque nom

```
SELECT nom_etudiant, COUNT(*) AS nbEtudiants
FROM etudiants_par_id_classe
WHERE id_classe = 'C1'
GROUP BY nom_etudiant ;
```

2.1.2 Les fonctions ensemblistes

Comme le SQL, CQL propose les fonctions ensemblistes `COUNT()`, `MIN()`, `MAX()`, `AVG()` et `SUM()`. Ces fonctions peuvent être utilisées avec ou sans un `GROUP BY`.

R03 : Le nombre total d'étudiants

```
SELECT COUNT(*) AS nbEtudiants
FROM etudiants_par_id_classe;
```

R04 : Pour chaque étudiant, le nombre de notes, la note la plus base et la plus élevée, et la moyenne

```
SELECT id_etudiant, nom_etudiant, COUNT(*) AS nbNotes, MIN(note) AS noteMin,
       MAX(note) AS noteMax, AVG(note) AS moyenne
FROM detail_notes
GROUP BY id_etudiant;
```

2.2 Les types définis par l'utilisateur (UDT)

Cassandra propose des types primitifs classiques tels que `varchar`, `text`, `boolean`, `date`, `timestamp`, `float`, `double`, `int`, `smallint`, `blob`, `inet`, etc.
Mais l'utilisateur peut aussi créer ses propres types complexes (User-Defined Type ou UDT). Ces types permettent de regrouper plusieurs champs dans une seule colonne et parfois cela permet de stocker les données dans moins de tables.

2.2.1 Création d'un UDT et d'une table utilisant ce type

Exemple : on souhaite créer un UDT afin de stocker des adresses.

```
CREATE TYPE IF NOT EXISTS adresse_type (
  numero int,
  rue varchar,
  cp varchar,
  ville varchar
);
```

Puis on crée une table d'étudiants qui ont une adresse.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       dateNaissance_etudiant timestamp,
       adresse_etudiant adresse_type,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

2.2.2 Manipulation d'une table contenant un UDT

Les insertions des données dans la colonne UDT se font à l'aide d'une notation de type champ-valeur `{champ : valeur}`. Par contre, pour la mise à jour (`UPDATE`) ou la récupération de données (`SELECT`) on utilise une notation pointée pour accéder à un champ particulier du type (`attibut.nomDuChampDuType`).
Il est à noter qu'il n'est pas possible d'utiliser une notation pointée dans le `WHERE` d'une requête `SELECT`. En d'autres termes, on ne peut pas faire de recherche sur un champ du type.

Insertion d'un étudiant avec son adresse.

```
INSERT INTO etudiants_par_id (id_etudiant, nom_etudiant, dateNaissance_etudiant,
            adresse_etudiant)
VALUES ('E1', 'Bricot', '1999-11-11', {numero : 18, rue : 'rue de l''injection de dépendances',
        cp : '34000', ville : 'Montpellier'});
```

R05 : Modification du numéro de l'adresse de l'étudiant (possible uniquement si l'attribut n'est pas déclaré `FROZEN`).

```
UPDATE etudiants_par_id SET adresse_etudiant.numero = 19 WHERE id_etudiant = 'E1';
```

R06 : Ville de l'étudiant E1.

```
SELECT adresse_etudiant.ville
FROM etudiants_par_id
WHERE id_etudiant = 'E1'
```

2.2.3 Attribut de type UDT déclaré FROZEN dans une table

Une valeur `FROZEN` (gelée) sérialise plusieurs composants en une seule valeur. Lorsqu'un attribut UDT n'est pas gelé, il est possible de mettre à jour ses différents champs de manière individuelle (voir requête R05). Par contre, si l'attribut UDT est déclaré `FROZEN`, il est géré comme un `blob` et si on veut le modifier, sa valeur entière doit être écrasée.

Création d'une table d'étudiants avec un adresse `FROZEN`.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       dateNaissance_etudiant timestamp,
       adresse_etudiant FROZEN<adresse_type>,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

Maintenant on ne peut plus réaliser la requête 05. Si on veut modifier l'adresse de l'étudiant, il faut écraser tous les champs de l'adresse.

```
UPDATE etudiants_par_id SET adresse_etudiant = {numero : 18, rue : 'rue de l''injection
            de dépendances', cp : '34000', ville : 'Montpellier'} WHERE id_etudiant = 'E1';
```

2.3 Les collections

Cassandra permet de manipuler des collections à l'intérieur d'une table. Cela peut permettre de stocker moins de lignes dans la table. Toutefois, ces collections ne peuvent pas avoir plus de deux milliards d'éléments. Il existe trois types de collections. Les collections ordonnées (LIST), les collections non ordonnées (SET) et les collections clé-valeur de type MAP.

2.3.1 Les collections ordonnées (LIST)

Dans une collection ordonnée, chaque élément a un indice. Il est donc possible d'accéder au $i^{ème}$ élément d'une collection.

On souhaite stocker une collection de prénoms ordonnés pour chaque étudiant.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       prenoms_etudiant list<varchar>,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

On insère un étudiant qui a 3 prénoms ordonnés.

```
INSERT INTO etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes (id_etudiant, nom_etudiant,
       prenoms_etudiant) VALUES ('E2', 'Cale', ['Ana', 'Lise', 'Mehdi']);
```

On rajoute un prénom à l'étudiant E2 (en dernière place de la collection).

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes
SET prenoms_etudiant = prenoms_etudiant + ['Dominique'] WHERE id_etudiant = 'E2';
```

On modifie le $4^{ème}$ prénom de l'étudiant E2.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes SET prenoms_etudiant[3] = 'Dominik'
WHERE id_etudiant = 'E2';
```

On retire un prénom à l'étudiant E2.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes
SET prenoms_etudiant = prenoms_etudiant - ['Dominik'] WHERE id_etudiant = 'E2';
```

On retire le premier prénom de l'étudiant E2.

```
DELETE prenoms_etudiant[0] FROM etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes
WHERE id_etudiant = 'E2';
```

R07 : Etudiants qui on le prénom Lise.

```
SELECT *
FROM etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes
WHERE prenoms_etudiant CONTAINS 'Lise'
ALLOW FILTERING;
```

Pour réaliser la requête R07, il faut impérativement indiquer la clause `ALLOW FILTERING` dans la requête car `prenoms_etudiant` ne fait pas partie de la clé. Si on souhaite ne pas avoir à utiliser cette clause, il est possible de créer un index secondaire.

```
CREATE INDEX prenoms_idx ON etudiants_par_id_avec_prenoms_ordonnes (prenoms_etudiant);
```

2.3.2 Les collections non ordonnées (SET)

Dans une collection non ordonnée, il n'est pas possible de manipuler les éléments par leur indice. Et il n'est pas non plus possible d'avoir deux éléments qui ont la même valeur.

On souhaite stocker une collection de prénoms non ordonnés pour chaque étudiant.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       prenoms_etudiant set<varchar>,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

On insère un étudiant qui a 3 prénoms non ordonnés.

```
INSERT INTO etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes (id_etudiant, nom_etudiant,
            prenoms_etudiant) VALUES ('E3', 'Terrieur',  {'Alain', 'Alex'});
```

On rajoute un prénom à l'étudiant E3.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes
SET prenoms_etudiant = prenoms_etudiant + {'Hul'} WHERE id_etudiant = 'E3';
```

On retire un prénom à l'étudiant E3.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes
SET prenoms_etudiant = prenoms_etudiant - {'Hul'} WHERE id_etudiant = 'E3';
```

R08 : Etudiants qui on le prénom Alain.

```
SELECT *
FROM etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes
WHERE prenoms_etudiant CONTAINS 'Alain'
ALLOW FILTERING;
```

On peut réaliser la requête R08 sans utiliser la clause `ALLOW FILTERING` avec l'index secondaire suivant :

```
CREATE INDEX prenoms2_idx ON etudiants_par_id_avec_prenoms_non_ordonnes (prenoms_etudiant);
```

2.3.3 Les collections d'UDT

Il est possible de manipuler des collections d'UDT (ordonnées ou non ordonnées) mais à condition que la collection d'attribut UDT soit déclarée `FROZEN`.

On souhaite stocker une collection d'adresse pour chaque étudiant.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id_avec_adresses (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       adresses_etudiant list<FROZEN<adresse_type>>,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

On peut ensuite insérer un étudiant qui a plusieurs adresses.

```
INSERT INTO etudiants_par_id_avec_adresses (id_etudiant, nom_etudiant, adresses_etudiant)
VALUES ('E4', 'Zétofrais', [ {numero : 18, rue : 'rue de l''injection de
            dépendances', cp : '34000', ville : 'Montpellier'},
                          {numero : 11, rue : 'rue de l''inversion de controle',
            cp : '34500', ville : 'Bézies'}]);
```

R09 : L'identifiant des étudiants qui habitent au 11, rue de l'inversion de contrôle, 34500 Béziers.

```
SELECT id_etudiant
FROM etudiants_par_id_avec_adresses
WHERE adresses_etudiant CONTAINS { numero : 11, rue : 'rue de l''inversion de
controle', cp : '34500', ville : 'Bézies' }
ALLOW FILTERING ;
```

2.3.4 Les collections de type MAP

Les MAP sont des collections de type clé-valeur qui peuvent être utilisées comme type pour un attribut d'une table. Si un MAP utilise un UDT celui-ci doit obligatoirement être déclaré `FROZEN` dans le MAP.

Par exemple, on souhaite stocker des étudiants qui ont une collection de notes composée d'un nom de matière (texte) et d'une valeur de note (entier). Et on a aussi pour chaque étudiant une collection d'adresses composée d'un type (domicile, parents, etc.) et d'une valeur.

```
CREATE TABLE etudiants_par_id_avec_maps (
       id_etudiant varchar,
       nom_etudiant varchar,
       notes_etudiant map<text, int>,
       adresses_etudiant map<text, frozen <adresse_type>>,
       PRIMARY KEY (id_etudiant)
);
```

On insère un étudiant qui a trois notes et deux adresses.

```
INSERT INTO etudiants_par_id_avec_maps (id_etudiant, nom_etudiant, notes_etudiant,
                                        adresses_etudiant)
VALUES ('E5', 'Palleja', {'Maths' : 19, 'Prog' : 20, 'BD' : 21},
 {'domicile' : {numero : 5, rue : 'rue de la Fabrique Abstraite', cp : '34200', ville : 'Sète'},
  'parents' : {numero : 15, rue : 'rue Barbara Liskov', cp : '34000', ville : 'Montpellier'}});
```

Et un autre étudiant qui a trois notes (et pas d'adresse)

```
INSERT INTO etudiants_par_id_avec_maps (id_etudiant, nom_etudiant, notes_etudiant)
VALUES ('E6', 'Gator', {'Maths' : 2, 'Prog' : 6, 'BD' : 1});
```

On rajoute une note à l'étudiant E6.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_maps
SET notes_etudiant = notes_etudiant + {'Système' : 1} WHERE id_etudiant = 'E6';
```

On modifie la note de Système de l'étudiant E6.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_maps
SET notes_etudiant['Système'] = 2 WHERE id_etudiant = 'E6';
```

On supprime la note de Système de l'étudiant E6.

```
DELETE notes_etudiant['Système'] FROM etudiants_par_id_avec_maps WHERE id_etudiant = 'E6';
```

On supprime la note de Maths de l'étudiant E6.

```
UPDATE etudiants_par_id_avec_maps SET notes_etudiant = notes_etudiant - {'Maths'}
WHERE id_etudiant = 'E6';
```

R10 : L'identifiant des étudiants qui ont eu 1/20 en BD.

```
SELECT id_etudiant FROM etudiants_par_id_avec_maps
WHERE notes_etudiant['BD'] = 4
ALLOW FILTERING;
```

Il est possible de réaliser la requête précédente sans utiliser la clause `ALLOW FILTERING` en créant préalablement l'index secondaire suivant :

```
CREATE INDEX notes_idx ON etudiants_par_id_avec_maps (KEYS (notes_etudiant));
```

R11 : L'identifiant des étudiants qui ont une note en BD.

```
SELECT id_etudiant FROM etudiants_par_id_avec_maps
WHERE notes_etudiant CONTAINS KEY 'BD'
ALLOW FILTERING;
```

Il est possible de réaliser la requête précédente sans utiliser la clause `ALLOW FILTERING` en créant préalablement l'index secondaire suivant :

```
CREATE INDEX notes2_idx  ON etudiants_par_id_avec_maps (ENTRIES(notes_etudiant));
```

R12 : L'identifiant des étudiants qui ont eu un 20.

```
SELECT id_etudiant FROM etudiants_par_id_avec_maps
WHERE notes_etudiant CONTAINS 20
ALLOW FILTERING ;
```

Il est possible de réaliser la requête précédente sans utiliser la clause `ALLOW FILTERING` en créant préalablement l'index secondaire suivant :

```
CREATE INDEX notes3_idx ON etudiants_par_id_avec_maps (VALUES(notes_etudiant));
```

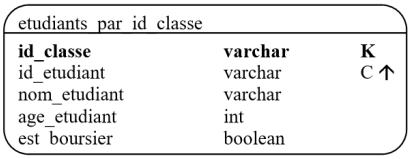
2.4 Les procédures utilisateur stockées

Cassandra permet à l'utilisateur de créer ses propres procédures stockées dans le langage de programmation de son choix (Java, Python, Ruby ou Scala). Ces procédures vont permettre de réaliser des requêtes qu'il ne serait pas possible de faire autrement. Toutefois, si la requête qui utilise une procédure stockée ne porte pas sur la clé de partition, la procédure sera exécutée sur tous les nœuds, avant que le résultat final soit calculé par le nœud coordinateur ; et cela peut ralentir la requête. Il existe deux types de procédures stockées. Les fonctions (User Defined Functions ou UDF) et les agrégats (User Defined Aggregate ou UDA).

2.4.1 Les fonctions définies par l'utilisateur (UDF)

Les fonctions définies par l'utilisateur (User Defined Functions ou UDF) étaient indispensables dans les versions précédentes de Cassandra, notamment parce qu'il n'était pas possible de faire des groupements ou d'utiliser certains fonctions d'ensemble. A présent, elles ne sont plus utilisées systématiquement, mais elles restent néanmoins utiles dans certains cas.

Exemples : Dans les exemples suivants porteront sur la table `etudiants_par_id_classe` décrite ci-dessous.



R13 : On souhaite connaitre le nombre d'étudiants boursiers par classe.

Pour cela, on peut réaliser la requête suivante avec un `GROUP BY`

```
SELECT id_classe, COUNT(*) AS nbBoursiers
FROM etudiants_par_id_classe
WHERE est_boursier = true
GROUP BY id_classe
ALLOW FILTERING;
```

Mais la requête précédente doit avoir la clause `ALLOW FILTRING` car l'attribut `est_boursier` ne fait pas partie de la clé. De plus, on ne va pas avoir dans le résultat les classes qui n'ont pas d'étudiant boursier. A la place, on peut donc réaliser la fonction suivante :

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION count_if_true (input boolean)
    RETURNS NULL ON NULL INPUT
    RETURNS int
    LANGUAGE JAVA AS $$
                      if (input)
                         return 1;
                      else return 0;
                    $$;
```

Cette fonction retourne 1 si l'attribut passé en paramètre est vrai (c'est-à-dire si l'étudiant est boursier) ; 0 sinon

```
SELECT id_etudiant, nom_etudiant, count_if_true(est_boursier) AS boursier
FROM etudiants_par_id_classe;
```

On peut donc utiliser cette fonction pour réaliser la requête 13 en utilisant la fonction `SUM` et un `GROUP BY`. Ici les classes qui n'ont pas d'étudiant boursier apparaitront.

```
SELECT id_classe, SUM(count_if_true(est_boursier)) AS nbBoursiers
FROM etudiants_par_id_classe
GROUP BY id_classe;
```

R14 : On souhaite connaitre le nombre d'étudiants sauvageons par classe. D'après le dictionnaire de l'éducation nationale, un étudiant sauvageon est un étudiant qui a moins de 20 ans.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION count_if_sauvageon (input int)
    RETURNS NULL ON NULL INPUT
    RETURNS int
    LANGUAGE JAVA AS $$
                      if (input < 20)
                         return 1;
                      else return 0;
                    $$;

SELECT id_classe, SUM(count_if_sauvageon(age_etudiant)) AS nbSauvageons
FROM etudiants_par_id_classe
GROUP BY id_classe;
```

R15 : Nombre total d'étudiants sauvageons.

```
SELECT SUM(count_if_sauvageon(age_etudiant)) AS nbTotalSauvageons
FROM etudiants_par_id_classe;
```

2.4.2 Les agrégats définis par l'utilisateur (UDA)

Les agrégats définis par l'utilisateur (User Defined Aggregate ou UDA) sont des fonctions qui permettent de faire une agrégation par rapport à un critère qui est passé en paramètre. Un UDA utilise une UDF dont le nom commence généralement par `state_`, et qui doit posséder deux paramètres. Le second qui indique l'attribut sur lequel le calcul est réalisé (le même attribut que le paramètre de l'UDA), et le premier qui va retourner le résultat du calcul qui doit être agrégé. Ces UDA permettent de simuler des fonctions d'ensemble, voire des `GROUP BY` et sont donc moins utilisés depuis que le CQL a intégré ces instructions.

Par exemple, en utilisant un UDA, on peut réaliser la requête 15 (le nombre total d'étudiants sauvageons) sans utiliser la fonction `SUM`. Pour cela, on crée une UDF dont le nom commence par `state_` et qui a deux paramètres : `total` qui est le résultat du calcul (le nombre d'étudiants) et `input` qui est l'attribut sur lequel on fait le calcul (l'âge).

Ensuite, on crée un UDA qui va appeler la UDF sur tous les éléments concernés par la requête (à la place du `SUM`).

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION state_count_if_sauvageon (total int, input int)
    RETURNS NULL ON NULL INPUT
    RETURNS int
    LANGUAGE JAVA AS $$
                        if (input < 20)
                           return total+1;
                        else return total;
                      $$;

CREATE OR REPLACE AGGREGATE total_sauvageons (int)
    SFUNC state_count_if_sauvageon
    STYPE int
    INITCOND 0;
```

R15 : Nombre total d'étudiants sauvageons.

```
SELECT total_sauvageons(age_etudiant) AS nbTotalSauvageon
FROM etudiants_par_id_classe;
```

L'exemple précédent reste néanmoins pas très convainquant car, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, il est possible de réaliser cette même requête sans utiliser d'UDA.

Mais un UDA peut aussi être utilisé pour remplacer une instruction `GROUP BY`. Et cela peut être intéressant lorsqu'on souhaite réaliser le groupement sur un attribut qui ne fait pas partie de la clé (le `GROUP BY` est alors impossible).

R16 : Nombre d'étudiant pour chaque âge.

Ici, il n'est pas possible de faire un `GROUP BY` sur `age_etudiant`. On peut à la place créer un UDA qui porte sur une UDF qui retourne une `map <age, nbEtudiant>`.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION state_count_per_group( state map<int, int>, age int )
    CALLED ON NULL INPUT
    RETURNS map<int, int>
    LANGUAGE java AS $$
                        Integer nb = (Integer) state.get(age);
                        if (nb == null)
                            nb = 1;
                        else nb++;
                        state.put(age, nb);
                        return state;
                      $$;

CREATE OR REPLACE AGGREGATE agg_count_per_group(int)
    SFUNC state_count_per_group
    STYPE map<int, int>
    INITCOND {};

SELECT agg_count_per_group(age_etudiant) AS mapNbParAge
FROM etudiants_par_id_classe;
```