

UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY POLYTECH CENTRALE SUPÉLEC

Big Data

## Emergence et principes des Bdd NoSQL

Stéphane Vialle & Gianluca Quercini

université PARIS-SACLAY Ecole doctorale Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) LISN

Grand Est Région Île de France

1

POLYTECH

## Emergence et principes des Bdd NoSQL

1. Motivations et émergence des Bdd NoSQL
2. Principes des Bdd NoSQL
3. Aperçu des différentes Bdd NoSQL
4. Le retour de SQL...
5. Format de données JSON

2

POLYTECH

## Motivation et émergence

1969-1970 : arrivée du modèle relationnel

Rappel des principes :

- Repose sur des relations entre les valeurs des données (indépendamment de leur emplacement en mémoire)
- Manipulation à travers une algèbre et un langage de haut niveau
- Dissocie représentation-et-interrogation du stockage, et sera quand même efficace! (les moteurs de SGBD finiront même par être plus efficace que les solutions *ad hoc*)

Mais des contraintes :

- Toutes les lignes d'une Relation ont les mêmes colonnes (valeur NULL si absence de données)
- Modifications par séquences atomiques pour que la Bdd soit toujours totalement cohérente
- Conception d'un schéma de base qui s'impose à toute la Bdd
- Interrogation par *jointures* de nombreuses (petites) Relations

3

POLYTECH

## Motivation et émergence

1969-1970 : arrivée du modèle relationnel

On ne peut pas mettre n'importe quoi dans une Bdd Relationnelle !

- Toutes les données doivent respecter le schéma initial...  
...difficile de faire entrer des données imprévues !
- Le langage Relationnel SQL est adapté pour extraire des informations selon des conditions sur leurs valeurs  
→ requêtes OLTP (OnLine Transaction Processing) : **OK**
- ...mais n'est pas adapté pour faire des calculs de statistiques complexes sur ces valeurs, ni sur des données volumineuses!  
→ requêtes OLAP (OnLine Analytical Processing) : **problème...**

4

POLYTECH

## Motivation et émergence

1969-1970 : arrivée du modèle relationnel

De nouvelles solutions apparaissent pour les besoins en *analytics*

- OLAP, puis In-memory OLAP (plus rapide)
- CEP (*Complex Event Processing*) pour supporter des flux de mises à jour, et réagir automatiquement aux changements des données
- ... la Bdd SQL ne servait presque plus qu'à du stockage...

Mais besoin d'outils encore plus innovants : **prémises du Big Data analytics (Data Science) et du Big Data Engineering**

5

POLYTECH

## Motivation et émergence

### Evolution des technologies de Bdd traditionnelles

Travail de CODD sur la représentation des données - 1969 → Modèle Relationnel - 1970 → Avènement des SGBD relationnels - 1980 → Le stockage devient bon marché, les historiques de data abondent

↓

Bdd OLAP en mémoire et distribuées ← Bdd OLAP ← Les besoins en Data Analytics deviennent fréquents

Approche Big data → Challenges in Big Data Analytics / Challenges in Big Data Engineering

Deux types de requêtes / d'utilisation :

**Requêtes OLTP :**  
approche transactionnelle classique des Bdd Relationnelles

**OK**

**Requêtes OLAP :**  
besoin en analyse de données, peu favorable aux Bdd Relationnelles

**PROBLEME**

6

## Motivation et émergence

**Théorème / problème « CAP »**

Base toujours perçue cohérente, même pendant les mises-à-jour

Disponibilité garantie en l'absence de pannes

**Consistency** (cohérence) ↔ **Availability** (disponibilité)

**Partition tolerance** (résistance au morcellement)  
Résistance aux pannes en distribué

**En mode distribué à large échelle :**

- on n'a jamais toutes les data à jour en même temps
- on ne peut pas différer des requêtes chaque fois qu'on fait une maj (on ne traiterait jamais de requêtes!)
- on ne peut pas arrêter de fonctionner dès que des parties de la BdD sont en pannes

7

## Motivation et émergence

**Théorème / problème « CAP »**

Base toujours perçue cohérente, même pendant les mises-à-jour

Disponibilité garantie en l'absence de pannes

**Consistency** (cohérence) ↔ **Availability** (disponibilité)

**Partition tolerance** (résistance au morcellement)  
Résistance aux pannes en distribué

**En mode distribué à large échelle :**

- on ne peut vérifier que 2 propriétés sur 3** (théorème CAP, E. Brewer 2000-2002)
- le Big Data et le NoSQL renoncent surtout à la garantie de consistency**

*Mais on repousse sans cesse la limite*

8

## Motivation et émergence

**Google** → 2004 → **BigTable** (Entrepôt de données orienté colonnes : données en tables 2D, mais les lignes peuvent avoir des colonnes différentes) / **GFS**

**Microsoft** (rachat de Powerset en 2008) → 2008+ → **HBase** (Entrepôt de données orienté colonnes nouvelle version) / **Apache (OpenSrc)**

**amazon** → 2007 → **Dynamo** (Entrepôt de paires clé-valeur, archi distribuée sans maître) / **DynamoDB** (Offre sur Cloud Amazon)

**facebook** → 2008-2009 → **Cassandra** (Entrepôt données orienté colonnes, archi distribuée sans maître) / **Apache**

*Emergence en milieu industriel avec les pb « web scale »*

9

## Emergence et principes des BdD NoSQL

- Motivations et émergence des BdD NoSQL
- Principes des BdD NoSQL**
- Aperçu des différentes BdD NoSQL
- Le retour de SQL...
- Format de données JSON

10

## Principes du NoSQL

**« NoSQL vs SQL » :**

- Grande souplesse dans le format des données stockées** (en résumé : pas de schéma! 🤪)
- Exploitation de très grosses volumétries en temps raisonnable** grâce au relâchement des contraintes d'intégrités et de cohérence
- Augmentation des performances par la distribution massive** du stockage et des traitements : s'appuie sur un mécanisme *Map-Reduce* et un système de fichiers distribué

**Mais beaucoup de critiques sur :**

- La faiblesse de performance d'Hadoop et des premières architectures BigData...
- La difficulté d'exploiter des données hétérogènes (pas de schéma → complexifie la couche applicative)

11

## Sharding et répliquion

**Distribution (sharding) et répliquion :**

- Un fichier/une table est découpé en morceaux (*chunks*) distribués pour permettre :
  - des accès parallèles plus rapides (répartir la charge)
  - des stockages plus volumineux (et extensibles)
- Les *chunks* sont répliqués sur des nœuds différents pour la tolérance aux pannes

*Concepts d'HDFS*

→ Le *sharding* est un découpage des différentes lignes d'une table par tranches dans différents *chunks* (au lieu de distribuer les colonnes)

12

## Sharding et réplication

Des services de :

- cartographie du stockage
- *monitoring & heartbeat*

Réplication des services :

- pour la tolérance aux pannes

Concepts d'HDFS

13

## Stockage de données hétérogènes

Stockage beaucoup plus libre (qu'avec une BdD relationnelle) :

- Absence de schéma de base (!)
- Possibilité d'entrer des données :
  - hétérogènes
  - opaques ou structurées
- Possibilité de **modifier dynamiquement** la structures de certaines données

Plutôt facile de remplir une BdD NoSQL...  
... beaucoup plus difficile de l'interroger !

14

## Requêtes en Map-Reduce

Reproduction de certaines requêtes en Map-Reduce :

```
SELECT g(liste d'attr1), attr2
FROM relation
WHERE f(lignes de la relation)
GROUP BY attr2;;
```

3: *reduce*(g(), liste d'attr1)

0 : Data stockée en fichier HDFS

1: *map*(f(), liste des lignes de la relation)

2: *Shuffle & Sort*, groupement des lignes retenues selon attr2 (key)

La solution « Map-Reduce » permet d'implanter facilement des requêtes « *Select-From-Where-GroupBy* » :

- sur un système distribué à grande échelle
- sur des données structurées complexes et/ou hétérogènes

Passé à l'échelle  
Plus générique...  
...plus compliqué!

15

## Principes d'architecture NoSQL

Architecture de principe d'une BdD NoSQL :

join natif, ou bien join au dessus de Map-Reduce

Certaines BdD NoSQL sont bâties :

- Au dessus d'Hadoop : HDFS et Map-Reduce d'Hadoop
- Au dessus d'HDFS mais ajoutent leur propre couche Map-Reduce
- Au dessus d'une architecture complètement propre (MongoDB)

16

## Variété des BdD NoSQL

Classification des BdD NoSQL :

- Stockage / Entrepôt de paires clé-valeur (Redis, Riak)
- BdD orientés documents (MongoDB → voir TD)
- BdD orientés colonnes (BigTable, HBase, Cassandra)
- BdD créées pour des index inversés (Elasticsearch)
- BdD orientés graphes (Neo4J)

17

## Emergence et principes des BdD NoSQL

1. Motivations et émergence des BdD NoSQL
2. Principes des BdD NoSQL
3. **Aperçu des différentes BdD NoSQL**
4. Le retour de SQL...
5. Format de données JSON

18

## Entrepôts (NoSQL) de paires clé-valeur

**Particularités des entrepôts de paires clé-valeur :**

La solution la plus **extensible** (« *scalable* »), mais **simple/pauvre** :

- Statistiquement, la plupart des applications demandent à lire des données à partir de leurs identifiants  
→ engendre le besoin de BdD stockant des **paires clé-valeur**
- Le composant clé de ces bases est leur **fonction de hachage**  
→ distribution et recherche des données dans le système distribué
- Mécanisme final très efficace mais avec **peu de fonctionnalités**  
→ développements dans la couche applicative, en *Map-Reduce*

Rmq : Initialement des **valeurs** binaires et opaques, puis des valeurs structurées hiérarchiques analysables (ex : format JSON)  
**Entrepôts clé-valeur** → **BdD orientées documents**

19

## BdD NoSQL orientées documents

**Particularités des BdD NoSQL orientées documents :**

On associe des **clés** à des **documents à structure hiérarchique**

- Les valeurs ne sont plus opaques
- On peut manipuler les champs des données
- Manipulation de doc web au format HTML/XML, ou doc JSON**

On stocke des données prêtes à être interrogées sans jointure :

- Exploitation rapide**
- Mais la jointure doit être faite lors de l'écriture** 🧐
- Si besoin de **croiser des informations : plus complexe et lent**

Rmq : L'utilisation de documents structurés non opaque permet de les analyser et de **produire des index inversés**

Rmq : BdD devenues de très grandes tailles, proches des entrepôts de paires clé-valeur  
**Entrepôts clé-valeur** ← **BdD orientées documents**

20

## BdD NoSQL orientées colonnes

**Particularités des BdD NoSQL orientées colonnes :**

Stockent des **tables 2D de clé - ensemble de valeurs**

Ressemblent à des tables relationnelles, mais bcp plus souples

- Les lignes peuvent avoir des colonnes différentes et en nombres différents
- Les colonnes d'une ligne peuvent évoluer dynamiquement en nombre et en nom
- Pas de champ « NULL » contrairement à une table relationnelle (pas de colonne inutile dans une ligne)

Des requêtes simples (minimalistes) **comparé à une BdD SQL**  
Ou bien des traitements complexes en *Map-Reduce*...

Rmq : BdD NoSQL conçues pour stocker des associations **one-to-many** comme on en trouve très fréquemment sur le web ! 💡

21

## BdD NoSQL orientées colonnes

**Particularités des BdD NoSQL orientées colonnes :**

100	vente-2010	100000	vente-2011	150000	vente-2014	180000
200	vente-2012	1000				
211	vente-2010	500000	achat-2016	10000		

↓ Mise à jour : renommage et ajout de colonnes

100	vente-2010	100000	vente-2012	150000	vente-2014	180000
200	vente-2012	1000				
211	vente-2010	500000	achat-2014	3000	achat-2016	10000

Chaque ligne peut avoir des colonnes différentes  
Les colonnes d'une lignes peuvent évoluer dynamiquement

22

## BdD NoSQL d'index inversés

**Particularités des BdD NoSQL conçues pour des index inversés :**

Un index inversé est indispensable pour traiter rapidement les requêtes de recherche de documents par mots clés

Mais l'**index inversé peut devenir TRES volumineux** (plus que les documents analysés) :

- il faut le **compresser**
- mais pas trop pour que la décompression à la volée soit rapide
- et/ou trouver un format de compression permettant de travailler dans le format compressé

Les **BdD NoSQL spécialisées en index inversés** apportent:

- des algorithmes optimisés pour construire ces index
- des algorithmes de compression/décompression adaptés

23

## BdD NoSQL de graphes

**Particularités des BdD NoSQL orientées graphes :**

**Spécialement adaptées pour fouiller le web et les réseaux sociaux**

- Apportent des stockage de graphes efficaces (par références)
- Apportent des algorithmes d'analyse de graphes optimisés et adaptés au stockage réalisé

Les autres bases NoSQL pourraient stocker des graphes mais seraient moins efficaces pour les analyser

Rmq : **Neo4j** est un cas extrême de technologie très complète et très efficace pour stocker/fouiller/analyser des graphes

- Rapide (codage par "pointeurs")
- Stockage compact
- Répliquée sur cluster, mais pas distribuée...

24

### Positionnement des annuaires LDAP

**Annuaire LDAP vs NoSQL :**

- Stockage hiérarchique des données (très utile pour décrire des SI) → non SQL, non relationnel
- Plus aboutis en sécurité/contrôle des accès que les BdD NoSQL
- Implantations anciennes, moins performantes que les BdD NoSQL
- Impose un schéma hiérarchique en arbre (avec possibilité de pontage) → contraignant comparé aux BdD NoSQL

**Les annuaires LDAP sont « à mi-chemin » et « à part »**

25

### Emergence et principes des BdD NoSQL

1. Motivations et émergence des BdD NoSQL
2. Principes des BdD NoSQL
3. Aperçu des différentes BdD NoSQL
- 4. Le retour de SQL...**
5. Format de données JSON

26

### Le besoin de retrouver SQL

**Très vite des critiques sur Map-Reduce et NoSQL**

- Faiblesse des performances d'Hadoop et des premières architectures BigData...
- Difficulté d'exploiter des données hétérogènes dans des BdD NoSQL (Le manque de schéma complexifie la couche applicative!)

Une partie des utilisateurs de BdD & Big Data veulent retrouver SQL !

Ils veulent « juste » un SQL qui travaille à plus grande échelle !  
→ repousser le théorème CAP !

27

### Principes d'architecture NoSQL

**Architecture de principe d'une BdD NoSQL :**

Au début les « entrepôts de données » (NoSQL) n'offraient pas les fonctionnalités de SQL... il fallait les interroger en Map-Reduce...

**... et rapidement il a fallu porter SQL sur ces environnements :**

**Entrepôt de données (orienté colonnes, clé-valeur, ...)**

**Join natif, ou bien join au dessus de Map-Reduce**

**Map-Reduce mechanism**

**Join mechanism**

**Distributed File System**

28

### NoSQL → SQL-like

**Principes d'une BdD SQL au dessus d'une architecture Big Data :**

**Interface SQL-like**

**Générateur de DAG de Map-Reduce / native Join**

**Ordonneur parallèle d'un DAG de Map-Reduce**

**Map-Reduce mechanism**

**Join mechanism**

**Distributed File System**

→ Traduction d'une requête SQL en graphe d'opérations Map-Reduce

→ Une BdD « SQL-like » à très large échelle sur un HDFS

29

### NoSQL → SQL-like : PIG

**En 2006 Yahoo! développe PIG** pour faire « un peu comme SQL » au dessus d'Hadoop :

- pour simplifier le travail de ses équipes de *data-analysts*
- devient OpenSource en 2007
- Langage de requêtes et de programmation : « *Pig-Latin* »
- Ex de commandes : **FILTER, GROUP BY, JOIN, SORT ... FOREACH...**

**Data Analyst**

**Pig**

- Pig Latin
- Pig Engine

**Hadoop**

- Map-Reduce
- HDFS

... et chaque commande est traduite en un graphe d'opérations Map-Reduce

30

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : PIG

Exemple 1/3 :

```
grunt> DUMP ETUDIANT;
(Dupond, Alphonse, 10, Metz)
(Dupond, Grégoire, 9, Rennes)
(Durant, Hubert, 12, Gif)
(Talon, Achille, 15, Gif)

grunt> ETUDIANT2 = FOREACH ETUDIANT GENERATE $0, $1, $2+$1 ;

grunt> DUMP ETUDIANT2;
(Dupond, Alphonse, 11)
(Dupond, Grégoire, 10)
(Durant, Hubert, 13)
(Talon, Achille, 16)
```

31

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : PIG

Exemple 2/3 :

```
grunt> DUMP VEHICULE;
(AA 123 AB, bleue, Twingo)
(AZ 451 GT, noire, C3)
(BC 634 FY, jaune, Twingo)
(DE 398 AA, blanche, DS4)

grunt> DUMP CONSTRUCTEUR;
(Twingo, Renault)
(C3, Citroen)
(DS4, Citroen)

grunt> VOITURE = JOIN VEHICULE BY $2, CONSTRUCTEUR BY $0;

grunt> DUMP VOITURE;
(AA 123 AB, bleue, Twingo, Renault)
(AZ 451 GT, noire, C3, C3, Citroen)
(BC 634 FY, jaune, Twingo, Twingo, Renault)
(DE 398 AA, blanche, DS4, DS4, Citroen)
```

32

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : PIG

Exemple 3/3 :

```
grunt> VOITURE2 = FOREACH VOITURE GENERATE $0, $1, $2, $4 ;

grunt> VOITURE3 = ORDER VOITURE2 BY $2, $0 DESC ;
(DE 398 AA, blanche, DS4, Citroen)
(BC 634 FY, jaune, Twingo, Renault)
(AZ 451 GT, noire, C3, Citroen)
(AA 123 AB, bleue, Twingo, Renault)
```

33

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : PIG

Bilan de PIG

Exécution de PIG :

- Traduit les requêtes en DAG d'opérations *Map-Reduce*
- Exprime un **maximum de parallélisme** entre les opérations du DAG (souci de performance)
- Le « PIG-engine » exécute le DAG, et **fixe le nombre de Reducers au mieux** (mais on peut le guider)

Interface PIG-Latin :

**SQL** : est un langage déclaratif → on dit ce que l'on veut obtenir  
alors que :

**Pig-Latin** : reste un langage procédural → on dit quoi faire  
(pour obtenir le résultat)

34

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : Hive

En 2005 Facebook crée Hive : « langage déclaratif proche de SQL »

- Encore plus proche de SQL que PIG
- Pour des *data-analysts* qui ne peuvent pas programmer du *Map-Reduce* (pas programmer en langage procédural)
- ... et Hive génère des graphes de *Map-Reduce* au dessus d'Hadoop.

35

PolYTECH  
NoSQL → SQL-like : Spark-SQL

Une implantation très avancée de SQL au dessus de Spark

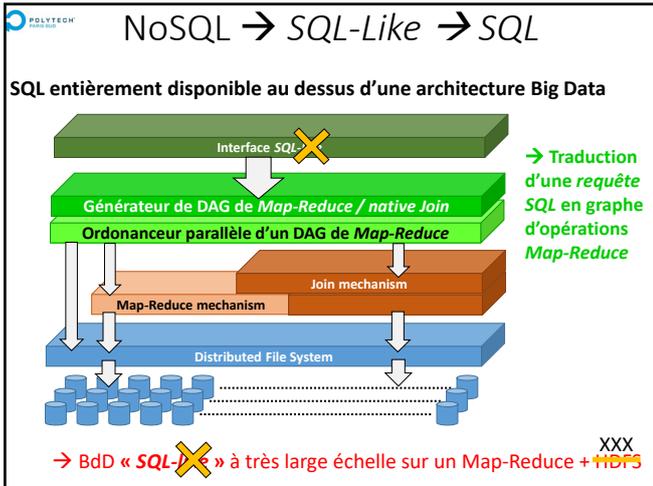
**Spark Framework**

Programming	Scala	Python	R	Java	Tools
Library	Spark SQL Dataframe	ML Lib	GraphX	Streaming	
Engine	Spark Core				
Management	YARN	Mesos	Spark Scheduler		
Storage	Local	HDFS	S3	RDBMS	NoSQL

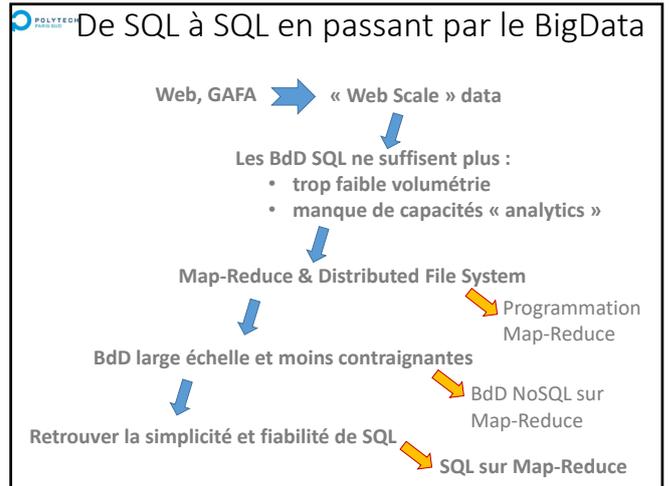
- Dans la distribution standard de Spark
- Utilise les DataFrames (au dessus des RDDs)

**Voir 2<sup>ème</sup> partie du cours sur les Bdd SQL et NoSQL**

36



37

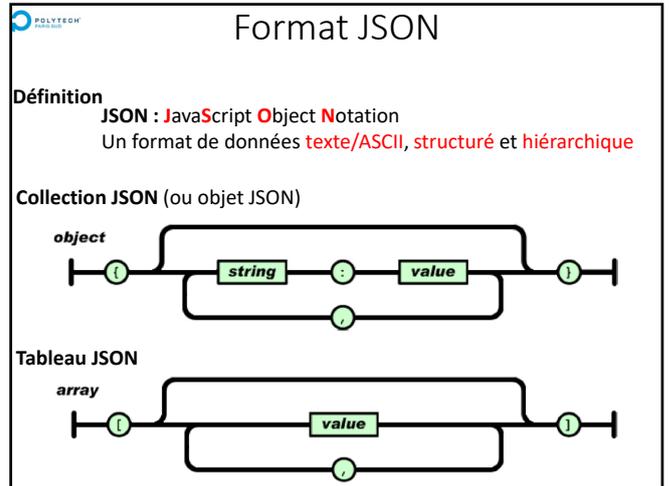


38

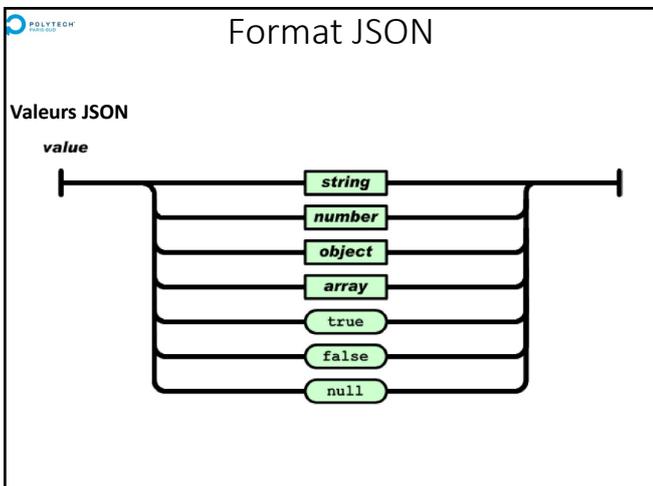
### Emergence et principes des Bdd NoSQL

1. Motivations et émergence des Bdd NoSQL
2. Principes et variété des Bdd NoSQL
3. Aperçu des différentes Bdd NoSQL
4. Le retour de SQL...
5. Format de données JSON

39



40



41

### Format JSON

Données textuelle, structurées et hiérarchique

```

{
  "livre" : {
    "Vue de l'esprit" : [ {"auteurs" : ["Hofstadter", "Denet"],
                        {"éditions" : "InterEditions",
                         {"année" : 1987}
                      }
    ],
    "Eagle" : [ {"auteurs" : ["Kidder"],
                {"éditions" : "Flammarion",
                 {"année" : 1982}
                }
              ]
    },
    "film" : {
      "2001 odysée de l'espace" : [ {"réalisateur" : ["Kubrick"],
                                    {"année" : 1968}
                                  ]
    },
    "livre" : {
      "Cosmos" : [ {"auteurs" : ["Sagan"],
                   {"éditions" : "Mazarine",
                    {"année" : 1981}
                  }
                ]
    }
  }
}
    
```

42



43