

# Fondements des bases de données

## Introduction

---



Marc Plantevit

<http://liris.cnrs.fr/~mplantev/doku/doku.php?id=lif10>

[marc.plantevit@liris.cnrs.fr](mailto:marc.plantevit@liris.cnrs.fr)





## Objectif de l'enseignement :

### **Approfondir les connaissances du modèle relationnel et les fondements de la conception de bases de données :**

- Contraintes et dépendances.
- Notions de systèmes d'inférences et de bases de règles.
- Processus de normalisation d'une base de données à partir des contraintes.
- Conception à l'aide d'un modèle conceptuel de données.
- Maîtriser les fonctionnalités de base PL/SQL.



## Pré-requis :

### Modèle relationnel

- Structure : attributs, relations, bases de données.
- Langages du relationnels : algèbre et calcul relationnel, SQL
- Modélisation Entité/Association.

Maîtriser les contenus de l'UE LIF4 *Initiation aux bases de données*  
<http://liris.cnrs.fr/~fduchate/ens/2012-2013/LIF4/>

### Bases théoriques

- éléments de théorie des ensembles (graphes, arbres, treillis)
- éléments de théorie des langages (c.f. LIF15 : mots, langages formels, notions de complexité)
- éléments logique classique (c.f. LIF11 : syntaxe et sémantique de la logique propositionnelle, système de déduction, logique du premier ordre) ;



## Références

- S. Abiteboul, R. Hull et V. Vianu. *Fondements des bases de données*. Addison-Wesley, 1995.
- J. Widom. *Introduction to Databases*. sur [www.db-class.org/db/Winter2013](http://www.db-class.org/db/Winter2013).
- R. Ramakrishnam et J. Gehrke. *Database Management Systems*. 2003 (troisième édition).
- Matériel disponible en ligne allant avec la référence précédente : [pages.cs.wisc.edu/~dbbook/](http://pages.cs.wisc.edu/~dbbook/)
- J.-L. Hainaut. *Bases de données : Concepts, utilisation et développement*. Dunod, 2012 (deuxième édition).
- Sélection d'articles de recherche.



# Organisation du cours

- Introduction, rappels (2h)
- Contraintes et dépendances du modèle relationnel (6h)
- Conception de BD relationnelles (8h)
- Structures d'indexation (4h)
- Introduction au modèle XML (2h)

## Modalités du Contrôle Continu Intégral

- 3 CCs en séance de TD, chacun d'une durée de 45 minutes et valant 15% de la note finale.
- TP noté (25% de la note finale) : TP(s) en séance + mini-projet.
- CCF : durée 1h30 pour 30% du total.



---

# Outline

- 1 **Introduction**
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Structured Query Language (SQL)



# Principes

## **Base de données**

Une grande quantité de données stockée dans un ordinateur.

## **Qu'est ce qu'un SGBD ?**

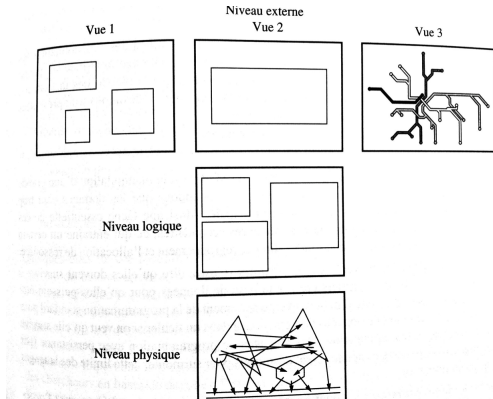
Un logiciel qui permet de stocker et de manipuler de grandes bases de données.



# Architecture 3 niveaux

Détacher l'utilisateur de l'implémentation physique.

- physique,
- logique,
- applicatif (externe).







## Séparation logique / physique : principe d'indépendance des données

- Définition de *modèles de données logiques* : permettre à l'utilisateur de se concentrer uniquement sur une représentation logique des données sans se soucier de la représentation physique des données.
  - *langage de définition des données* (LDD), pour définir les aspects structurels des données.
  - *langage de manipulation des données* (LMD) pour y accéder et les mettre-à-jour.
- plusieurs aspects de l'implémentation physique peuvent être changés sans avoir à modifier la vision abstraite de la base de données.
- la distinction la plus importante qui existe entre les systèmes de fichiers et les systèmes de bases de données.



# Séparation niveaux physique et Applicatif

- permet des points de vue différents sur les bases de données qui sont adaptés à des besoins spécifiques.
- Les vues cachent ainsi les informations sans intérêt et restructure les données qu'elles retiennent.



# Un compromis à trouver

Compromis à trouver entre le confort humain et une performance raisonnable.

- le système doit compiler les requêtes et les mises-à-jour destinées à la représentation logique dans les programmes « réels »



---

# Fonctionnalités

- Manipulation de la mémoire secondaire ;
- Persistance ;
- Contrôle de concurrence ;
- Protection des données ;
- Interface homme-machine ;
- Distribution ;
- Compilation et optimisation.



# Complexité et diversité

- Applications :** finances, personnel, inventaire, ventes, dossiers, biologie, etc.
- Utilisateurs :** programmeurs d'applications, sav, secrétaires, administrateurs de bases de données, geek, etc.
- Modes d'accès :** LMD linéaires et graphiques, interfaces graphiques, entrée des données, génération de rapports, etc.
- Modèles logiques :** les plus diffusées sont les modèles en réseau, hiérarchique, relationnel, orienté objet. Il existe des variations pour chacun de ces modèles, implémentées par divers distributeurs.



# Modèles de données

Tout SGBD est conçu autour d'un *modèle de données* bien défini.

Comme dit précédemment, il s'agit de la combinaison de 3 éléments :

- Une *structure*, qui correspond à l'organisation logique des données, la forme sous laquelle les utilisateurs vont les percevoir ou les représenter.
- Des *contraintes d'intégrité*, que l'on peut définir sur les données, afin d'en assurer l'intégrité et la cohérence avec le monde réel et les besoins des applications.
- Des langages de *manipulation des données*, pour les mises à jour et les interrogations.

- le modèle réseau
  - Structure : graphe orienté, les noeuds sont des enregistrements
  - Contraintes d'intégrité : un identifiant pour chaque noeud, un mécanisme de référence entre des noeuds
  - Manipulation : parcours de réseaux.
- le modèle hiérarchique
  - Structure : arborescente (forêts)
  - Contraintes d'intégrité : un identifiant pour chaque noeud, un mécanisme de référence entre des noeuds
  - Manipulation : navigation hiérarchique

- le modèle relationnel

- Structure : ensembles de relations, qui sont des ensembles de tuples. Graphiquement, une relation est un tableau.
- Contraintes d'intégrité : principalement les clés primaires (identifiants de tuples) et les clés étrangères (liens entre les relations)
- Manipulation : algèbre relationnel, calcul relationnel, SQL.

- le modèle déductif

- Structure : quasiment la même que le modèle relationnel
- Contraintes d'intégrité : les mêmes que le modèle relationnel
- Manipulation : langages logiques, le principal est *Datalog*. Contrairement aux langages du modèle relationnel, il admet la récursivité.



- le modèle Objet

- Structure : logique objet, soit des classes, des objets, des attributs et des méthodes. Peut être vu comme un graphe orienté.
- Contraintes d'intégrité : identifiant pour les objets, référence entre objets.
- Manipulation : extensions de SQL comme OSQL ou OQL.

- le modèle Entité/Association

- Structure : Entités (avec des attributs) et associations entre des entités.
- Contraintes d'intégrité : identifiants, cardinalités sur les associations
- Manipulation : aucun.



# Outline

- 1 Introduction
- 2 **Le modèle relationnel**  
Structure du modèle relationnel  
Langages de requêtes et de mises à jour
- 3 Structured Query Language (SQL)



## Notations

Les notations suivantes sont communément admises lorsque le contexte le permet.

- Un ensemble  $\{A_1; A_2; \dots; A_n\}$  sera noté par la concaténation de ses éléments :  $A_1A_2\dots A_n$ .
- Si  $X$  et  $Y$  sont deux ensemble, leur union  $X \cup Y$  sera notée  $XY$ .
- Une séquence d'éléments, est notée  $\langle A_1, \dots, A_n \rangle$ . Lorsque le contexte est clair, les séquences et les ensembles seront notés de la même façon.

### Exemple

- $\{A; B; C\}$  sera noté  $ABC$
- Les notations  $ABC$  et  $BCA$  sont équivalentes puisque l'ordre n'a pas d'importance.
- L'ensemble  $AABC$  n'existe pas, puisque l'élément  $A$  apparaît deux fois.
- Soit les ensemble  $X = ABC$  et  $Y = BD$ , alors leur union  $X \cup Y$  sera noté  $XY = ABCD$ .



## Intuition

<i>Étudiants</i>	<i>NUM</i>	<i>NOM</i>	<i>PRENOM</i>	<i>AGE</i>	<i>FORMATION</i>
	28	Codd	Edgar	20	3
	32	Armstrong	William	20	4
	53	Fagin	Ronald	19	3
	107	Bunneman	Peter	18	3

<i>Enseignants</i>	<i>NUM</i>	<i>NOM</i>	<i>PRENOM</i>	<i>GRADE</i>
	5050	Tarjan	Robert	Pr.
	2123	De Marchi	Fabien	MCF
	3434	Papadimitriou	Spiros	Pr.
	1470	Bagan	Guillaume	CR

TABLE : Exemple de bases de données

- Soit  $\mathcal{U}$ , un ensemble infini dénombrable de *noms d'attributs* ou simplement *attributs*,
- $\mathcal{D}$  un ensemble infini dénombrable de *valeurs*.
- Soit  $A \in \mathcal{U}$  un *attribut*, le *domaine* de  $A$  est un sous-ensemble de  $\mathcal{D}$ , noté  $DOM(A)$ .

### Hypothèse d'unicité des noms :

Soient deux valeurs  $v_1$  et  $v_2$  des éléments de  $\mathcal{D}$ . On dit que  $v_1$  et  $v_2$  sont égales si et seulement si elles sont syntaxiquement identiques, c'est à dire qu'elles ont le même nom. En d'autres termes, lorsque deux attributs ont la même valeur, ils désignent la même chose.

## schémas de relations et de bases de données

Un *schéma de relation*  $R$  est un ensemble fini d'attributs (donc  $R \subseteq \mathcal{U}$ ).

Un *schéma de base de données*  $\mathbf{R}$  est un ensemble fini de schémas de relation.

## schémas de relations et de bases de données

Un *schéma de relation*  $R$  est un ensemble fini d'attributs (donc  $R \subseteq \mathcal{U}$ ).  
Un *schéma de base de données*  $\mathbf{R}$  est un ensemble fini de schémas de relation.

### Exemple

**Une application gérant les cours dispensés au sein de l'UFR**, regroupant des informations sur les étudiants, les formations, les enseignants, les modules, les UE, les salles de cours et les ressources matérielles (projecteurs, etc...).

La modélisation des étudiants pourrait se faire à l'aide du schéma de relation

$$ETUDIANTS = \{NUM; NOM; PRENOM; AGE; FORMATION\}.$$

Si on représente les autres informations dans d'autres schémas de relations, alors l'union de tous les schémas de relation obtenus constituera le schéma de notre base de données, qu'on pourra appeler *FACULTE*.

## Première forme normale

Un schéma de relation  $R$  est en première forme normale (notée  $1FN$ ) si, pour tout attribut  $A \in R$ ,  $DOM(A)$  est composé de valeurs atomiques.

La première forme normale est une condition fondamentale du modèle relationnel, garante de sa simplicité et efficacité, et l'hypothèse de schéma de relation universelle est toujours vérifiée, permettant de désigner de façon unique un attribut, sans aucune ambiguïté.

Un schéma de relation, ou de bases de données, est donc une boîte vide, avec une structure bien particulière, destinée à contenir des ensembles d'éléments possédant la même structure et donc sémantiquement équivalents.



## tuple, Relation et Base de Données

Soit  $R = A_1 \dots A_n$  un schéma de relation. Un *tuple* sur  $R$  est un membre du produit cartésien  $DOM(A_1) \times \dots \times DOM(A_n)$ . Une relation  $r$  sur  $R$  est un ensemble fini de tuples. Une base de données  $\mathbf{d}$  sur un schéma de base de données  $\mathbf{R} = \{R_1, \dots, R_n\}$  est un ensemble de relations  $\{r_1, \dots, r_n\}$  définies sur les schéma de relation de  $\mathbf{R}$ .

De façon informelle, on peut donc voir un tuple comme une séquence de valeurs, prises par les attributs du schéma de relation. Si  $t$  est un tuple défini sur un schéma de relation  $R$ , et  $X$  un sous-ensemble de  $R$ , on peut restreindre  $t$  à  $X$  en utilisant l'opération de projection, notée  $t[X]$ .

### Exemple

Prenons la relation *Étudiants* : Si on nomme  $t_1$  le premier tuple, alors  $t_1[NOM] = Codd$ ,  $t_1[NUM, AGE] = (28, 20)$ . L'ensemble de toutes les relations "peuplées" par des tuples constitue la base de données.

Plusieurs langages ont été définis pour l'interrogation et la manipulation des données dans le modèle relationnel. *Le résultat d'une requête est toujours une relation* : les langages diffèrent sur la façon de définir la relation en sortie. Ils sont de deux sortes :

- *les langages procéduraux* : AR,
- *déclaratif* : CRT, CRD, DATALOG(admettant la récursivité).

*Le SQL correspond à l'implantation du calcul relationnel de tuple : c'est donc un langage déclaratif, possédant de nombreuses extensions pour faciliter l'usage et augmenter le pouvoir d'expression.*



# Algèbre Relationnelle

## Opérations

- Sélection ( $\sigma_C(R)$ ) retourne le sous-ensemble de tuples de la relation  $R$  vérifiant la condition  $C$ .
- Projection ( $\pi_X(R)$ ) supprime les colonnes non désirées de  $R$ .
- Jointure ( $R_1 \bowtie_{\theta} R_2$ ) combine deux relations selon  $\theta$ .
- Renommage ( $\rho_{[x/x']}(R)$ ) opération syntaxique sur de renommage des attributs.
- Produit cartésien ( $R_1 \times R_2$ ) combine librement deux relations.
- Division ( $R_1 \div R_2$ ) retourne les tuples de  $R_1$  qui apparaissent tous dans  $R_2$ .
- Différence ( $R_1 \setminus R_2$ ) sémantique ensembliste.
- Intersection ( $R_1 \cap R_2$ ) sémantique ensembliste.
- Union ( $R_1 \cup R_2$ ) sémantique ensembliste.



# Algèbre Relationnelle

Ces opérateurs sont **interdéfinissables**, en théorie, on ne garde généralement qu'un jeu d'opérations restreint à :

- sélection, projection, jointure et renommage (SPJR),
- augmentés éventuellement de l'union (SPJRU) i
- et de la différence (SPJRUD).

Exprimer  $R_1 \bowtie R_2$  et  $R_1 \cap R_2$  à partir des autres opérateurs.



# Calcul Relationnel à Variable Domaine (CRVD)

- Syntaxe :

$$\{x_1, \dots, x_n \mid F\}$$

où  $F$  est une formule dont les variables libres sont  $x_1, \dots, x_n$  et composée à partir de :

- De prédicats des relations de la base appliqués à des variables :  
 $R(A_1 : y_1, \dots, A_k : y_k)$
- de comparaisons entre variables ou variables et constantes :  $x \geq y$ ,  
 $x = 123$ , ...
- De connecteurs logiques et quantificateurs :  $\vee, \wedge, \Rightarrow, \forall, \exists, \dots$



# Calcul Relationnel à Variable Tuples (CRVT)

- Syntaxe :

$$\{x_1.A_1, \dots, x_n.A_n \mid F\}$$

où  $F$  est une formule dont les variables libres sont  $x_1, \dots, x_n$  avec la possibilité d'avoir plusieurs fois la même variable  $x_i$ , composée de la manière suivante :

- $R(x)$  où  $x$  est une variable représentant un tuple ;
- de comparaisons :  $x.A \bullet x'.A'$  ou  $x.A \bullet c$  avec  $\bullet \in \{<, >, \leq, \geq, =, \neq\}$  et  $c$  constante.
- De connecteurs logiques et quantificateurs entre formules :  $\vee, \wedge, \Rightarrow, \forall, \exists, \dots$



# Outline

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Structured Query Language (SQL)**



## Rappel SQL

à partir de Database Management Systems 3ed, R. Ramakrishnan and J. Gehrke.

- 1 Les slides (en anglais) sont disponibles.
- 2 exemple jouet : Une base de données de marins qui réservent des bateaux.
- 3 Reservation :  $R[\text{sid}, \text{bid}, \text{day}]$
- 4 Marins :  $S[\text{sid}, \text{sname}, \text{rating}, \text{age}]$
- 5 Bateau ..





## Requêtes SQL Basiques

```
SELECT [DISTINCT] target-list  
FROM relation-list  
WHERE qualification
```

- relation-list : Une liste de noms de relation (possibilité de mettre des variables).
- target-list : Une liste d'attributs de relations appartenant à relation-list
- qualification : Comparaisons ( $Attr\ op\ const$  ou  $Attr1\ op\ Attr2$  où  $op \in \{<, >, =, \leq, \geq, \neq\}$ ) combinées en utilisant AND, OR et NOT. DISTINCT est un mot-clé optionnel indiquant que le résultat ne doit pas contenir de duplications. Par défaut, les duplications ne sont pas éliminées !



## Expressions et chaînes de caractères

- Reserves [sid, bid, day]
- Sailors [sid, sname, rating, age]
- Boat [bid, color]

```
SELECT S.age, age1=S.age-5, 2*S.age AS age2
FROM Sailors S
WHERE S.sname LIKE 'B_%B'
```

### Utilisation d'expressions arithmétiques et de string matching

- Trouver des triplets (âge des marins, et 2 champs décrits par des expressions) pour les marins dont les noms commencent et finissent par B et contiennent au moins 3 caractères.
- AS et = sont deux façons de nommer les champs retournés.
- LIKE est utilisé pour les expressions régulières ( '\_' pour un caractère, '%' pour autant de caractères que l'on veut).



## Union

**Trouver les marins qui ont réservé un bateau rouge ou jaune.**

```
SELECT S.sid
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid
      AND (B.color='red ' OR B.color='green ')
```

```
SELECT S.sid
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid AND B.color='red '
```

UNION

```
SELECT S.sid
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid AND B.color='green '
```



## Intersection

### Que fait cette requête ?

```
SELECT S.sid  
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R  
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid AND B.color='red '
```

INTERSECT

```
SELECT S.sid  
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R  
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid AND B.color='green '
```



## Requêtes Imbriquées

**Trouver le nom des marins qui ont réservé le bateau #103.**

```
SELECT S.sname
FROM Sailors S
WHERE S.sid IN (SELECT R.sid
                FROM Reserves R
                WHERE R.bid=103)
```

```
SELECT S.sname
FROM Sailors S
WHERE EXISTS (SELECT *
              FROM Reserves R
              WHERE R.bid=103 AND S.sid=R.sid)
```



## Un peu plus sur la comparaison d'ensembles

- IN, EXISTS, NOT IN, NOT EXISTS.
- Aussi op ANY, op ALL, op IN <, >, ≤, ≥, =, ≠

**Les marins dont la note est supérieure à celles de marin(s) nommé(s) Horatio.**

```
SELECT *
FROM Sailors S
WHERE S.rating > ANY (SELECT S2.rating
                     FROM Sailors S2
                     WHERE S2.sname='Horatio')
```



## Opérateurs d'agrégation

- Une extension **significative** de l'AR (**en quoi?**)
- COUNT ([DISTINCT] [A|\*]), SUM ([DISTINCT] A),  
AVG ([DISTINCT] A), MAX (A), MIN (A)

### Exemples

- SELECT COUNT (\*) FROM Sailors S
- SELECT AVG (S.age) FROM Sailors S WHERE S.rating=10
- SELECT COUNT (DISTINCT S.rating) FROM Sailors S WHERE  
S.sname='Bob'
- SELECT AVG ( DISTINCT S.age) FROM Sailors S WHERE  
S.rating=10
- SELECT S.sname FROM Sailors S WHERE S.rating= (SELECT  
MAX(S2.rating) FROM Sailors S2)



## GROUP BY et HAVING

```
SELECT [DISTINCT] target-list  
FROM relation-list  
WHERE qualification  
GROUP BY grouping-list  
HAVING group-qualification
```

- La target-list contient (i) des noms d'attributs (ii) des opérateurs d'agrégation (e.g., MIN(S.age)).
- La liste d'attributs (i) **doit** être un sous-ensemble de grouping-list.



## L'âge du plus jeune marin majeur pour chaque note ayant au moins 2 marins

```
SELECT S.rating , MIN(S.age)
FROM Sailors S
WHERE S.age >= 18
GROUP BY S.rating
HAVING COUNT(*) > 1
```

## Pour chaque bateau rouge, trouver le nombre de réservations

```
SELECT B.bid , COUNT (*) AS scout
FROM Sailors S, Boats B, Reserves R
WHERE S.sid=R.sid AND R.bid=B.bid AND B.color='red'
GROUP BY B.bid
```

Fin du premier cours.