

# Systèmes de gestion de bases de données

NFP 107

<http://deptinfo.cnam.fr/new/spip.php?article685>

C. Crochepeyre, M. Ferecatu, M. Crucianu, P. Rigaux, V. Thion,  
N. Travers  
(prenom.nom) [at] cnam.fr

Équipe Vertigo  
Laboratoire Cédric  
Conservatoire national des arts & métiers, Paris, France  
<http://cedric.cnam.fr/vertigo>

## Plan du cours

- 8 Représentation physique des données dans Oracle
- 9 Optimisation - principes généraux et outils d'analyse
- 10 Concurrency et reprise après panne

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## Objectif du cours

# COMPRENDRE et MAÎTRISER la technologie des BASES DE DONNÉES RELATIONNELLES

## Bibliographie

## Ouvrages en anglais

- ① R. Ramakrishnan et J. Gehrke, *DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS*, MacGraw Hill
- ② R. Elmasri, S.B. Navathe, *Fundamentals of database systems*, 3e édition, 1007 pages, 2000, Addison Wesley
- ③ Ullman J.D. and Widom J. *A First Course in Database Systems*, Prentice Hall, 1997
- ④ H. Garcia - Molina, J.D. Ullman, J. Widom, *Database Systems : The Complete Book*, Hardcover, 2002
- ⑤ Garcia-Molina H., Ullman J. and Widom J., *Implementation of Database Systems*, Prentice Hall, 1999
- ⑥ Ullman J.D., *Principles of Database and Knowledge-Base Systems*, 2 volumes, Computer Science Press
- ⑦ Abiteboul S., Hull R., Vianu V., *Foundations of Databases*, Addison-Wesley

## Bibliographie

## Ouvrages en français

- ① Carrez C., *Des Structures aux Bases de Données*, Masson
- ② Gardarin G., *Maîtriser les Bases de Données: modèles et langages*, Eyrolles
- ③ Date C.J., *Introduction aux Bases de Données*, Vuibert, 970 Pages, Janvier 2001
- ④ Akoka J. et Comyn-Wattiau I., *Conception des Bases de Données Relationnelles*, Vuibert Informatique
- ⑤ Rigaux P., *Cours de Bases de Données*, <http://dept25.cnam.fr/BDA/DOC/cbd.pdf>

## Bibliographie

## Le standard SQL

- ① Date C.J., *A Guide to the SQL Standard*, Addison-Wesley

## Quelques systèmes

- ① BD2 (IBM),
- ② Oracle (actuellement 11g),
- ③ SQL Server (Microsoft),
- ④ PostgreSQL,
- ⑤ MySQL.

## SQL “à la maison”

- ① MySQL, <http://www.mysql.org> (MS Windows, Linux)
  - Installation et interface Web via EasyPhp, <http://www.easyphp.org/>
  - Administration via MySQL Workbench, <http://dev.mysql.com/doc/workbench/en/>
- ② PostgreSQL, <http://www.postgresql.org> (MS Windows, Linux)
  - Interface Web via PhpPgAdmin, <http://phpPgAdmin.sourceforge.net/>
  - Administration via PgAdmin, <http://www.pgadmin.org/>

## Problème central : comment stocker et manipuler les données?

Une **base de données** est

- un **grand ensemble** de **données**
- **structurées** et
- mémorisées sur un support **permanent**

Un **système de gestion de bases de données (SGBD)** est

- un **logiciel** de **haut niveau d'abstraction** qui permet de manipuler ces informations

## ① Applications “classiques” :

- Gestion de données : salaires, stocks, ...
- Transactionnel : comptes bancaires, centrales d'achat, réservations

## ② Applications “modernes” :

- Documents électroniques : bibliothèques, journaux
- Web : commerce électronique, serveurs Web
- Génie logiciel : gestion de programmes, manuels, ...
- Documentation technique : plans, dessins, ...
- Bases de données spatiales : cartes routières, systèmes de guidage GPS, ...

## Diversité → Complexité

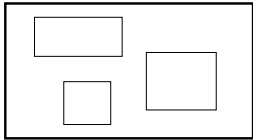
## Diversité des utilisateurs, des interfaces et des architectures :

- ① diversité des utilisateurs : administrateurs, programmeurs, non informaticiens, ...
- ② diversité des interfaces : langages BD, ETL, menus, saisies, rapports, ...
- ③ diversité des architectures : client-serveur centralisé/distribué  
*Aujourd'hui* : accès à plusieurs bases hétérogènes accessibles par réseau

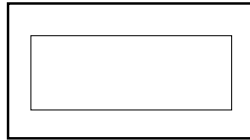
## Architecture d'un SGBD : ANSI-SPARC (1975)

## NIVEAU EXTERNE

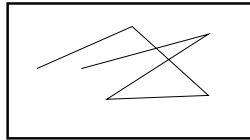
vue 1



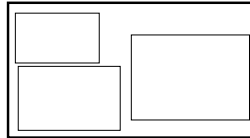
vue 2



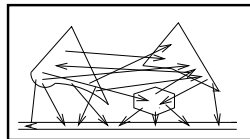
vue 3



## NIVEAU LOGIQUE



## NIVEAU PHYSIQUE



## Architecture d'un SGBD

## NIVEAU LOGIQUE

- Définition de la structure des données :  
**Langage de Description de Données (LDD)**
- Consultation et mise à jour des données :  
**Langages de Requêtes (LR) et**  
**Langage de Manipulation de Données (LMD)**

## Architecture d'un SGBD

Chaque niveau du SGBD réalise un certain nombre de fonctions :

## NIVEAU PHYSIQUE

- Accès aux données, gestion sur mémoire secondaire (fichiers) des données, des index
- Partage de données et gestion de la concurrence d'accès
- Reprise sur pannes (fiabilité)
- Distribution des données et interopérabilité (accès aux réseaux)

## Architecture d'un SGBD

## NIVEAU EXTERNE : Vues utilisateurs

Exemple : base(s) de données du CNAM :

- 1 **Vue de la planification des salles** : pour chaque cours
  - Noms des enseignants
  - Horaires et salles
- 2 **Vue de la paye** : pour chaque enseignant
  - Nom, prénom, adresse, indice, nombre d'heures
- 3 **Vue du service de scolarité** : pour chaque élève
  - Nom, prénom, adresse, no d'immatriculation, inscriptions aux cours, résultats

## Intégration de ces vues

- ① On laisse chaque usager avec sa vision du monde
- ② Passage du **niveau externe** au **niveau logique**

On “intègre” l'ensemble de ces vues en une description **unique** :

### SCHÉMA LOGIQUE

## En résumé

On veut **gérer un grand volume de données**

- **structurées** (ou semi-structurées),
- **persistantes** (stockées sur disque),
- **cohérentes**,
- **fiables** (protégées contre les pannes) et
- **partagées** entre utilisateurs et applications
- **indépendamment de leur organisation physique**

## Interfaces d'un SGBD

- Outils d'aide à la conception de schémas
- Outils de saisie et d'impression
- Outils ETL
- Interfaces d'interrogation (alphanumérique/graphique)
- Environnement de programmation : intégration des langages SGBD (LDD, LR, LMD) avec un langage de programmation (C++, Java, Php, Cobol, ...)
- API standards : ODBC, JDBC
- Importation/exportation de données (ex. documents XML)
- Débogueurs
- Passerelles (réseaux) vers d'autres SGBD

## Modèles de données

**Un modèle de données est caractérisé par :**

- Une STRUCTURATION des objets
- Des OPÉRATIONS sur ces objets

Dans un SGBD, il existe plusieurs représentations plus ou moins abstraites de la même information :

- le modèle conceptuel → description conceptuelle des données
- le modèle logique → programmation
- le modèle physique → stockage

## Modèle logique

- 1 **Langage de définition de données (LDD)** pour décrire la structure des données
- 2 **Langage de manipulation de données (LMD)** pour appliquer des opérations aux données

Ces langages font abstraction du niveau physique du SGBD :

- 1 Le LDD est indépendant de la représentation physique des données
- 2 Le LMD est indépendant de l'implantation des opérations

## Exemple d'un modèle conceptuel: Le modèle Entités-Associations (*entity-relationship model*, P. Chen, 1976)

- Modèle *très abstrait*, utilisé pour :
  - l'analyse du monde réel et
  - la communication entre les différents acteurs (utilisateurs, administrateurs, programmeurs ...) pendant
  - la conception de la base de données
- Mais n'est pas associé à un langage concret.

DONC UNE STRUCTURE  
MAIS PAS  
D'OPÉRATIONS

## Les avantages de l'abstraction

- 1 **SIMPLICITÉ**  
Les structures et les langages sont plus simples ("logiques", déclaratifs), donc plus faciles pour l'utilisateur non expert
- 2 **INDÉPENDANCE PHYSIQUE**  
On peut modifier l'implantation/la représentation physique sans modifier les programmes/l'application
- 3 **INDÉPENDANCE LOGIQUE**  
On peut modifier les programmes/l'application sans toucher à la représentation physique des données

## Historique des modèles SGBD

### À chaque génération correspond un modèle logique

< 60	S.G.F. (e.g. COBOL)	
mi-60	HIÉRARCHIQUE IMS (IBM)	navigationnel
	RÉSEAU (CODASYL)	navigationnel
73-80	RELATIONNEL	déclaratif
mi-80	RELATIONNEL	explosion sur micro
Fin 80	ORIENTÉ-OBJET	navig. + déclaratif
	RELATIONNEL ETENDU	nouvelles applications
	DATALOG (SGBD déductifs)	pas encore de marché
Fin 90	XML	navig. + déclaratif

## Quels types d'opérations ?

4 types d'opérations :

- ① **création** (ou **insertion**)
- ② **modification** (ou **mise-à-jour**)
- ③ **destruction**
- ④ **recherche** (requêtes)

Ces opérations correspondent à des commandes du LMD et du LR. La plus complexe est la **recherche** (LR) en raison de la variété des critères

## Exemples d'opérations

- *Insérer des informations concernant un employé nommé Jean*
- *Augmenter le salaire de Jean de 10%*
- *Détruire l'information concernant Jean*
- *Chercher les employés cadres*
- *Chercher les employés du département comptabilité*
- *Salaire moyen des employés comptables, avec deux enfants, nés avant 1960 et travaillant à Paris*

## Traitement d'une requête

- **Analyse syntaxique**
- **Optimisation**  
Génération (par le SGBD) d'un programme optimisé à partir de la connaissance de la structure des données, de l'existence d'index, de statistiques sur les données
- **Exécution pour obtenir le résultat**  
NB : on doit tenir compte du fait que d'autres utilisateurs sont peut-être en train de modifier les données qu'on interroge (concurrence d'accès)

## Concurrence d'accès

Plusieurs utilisateurs doivent pouvoir accéder en même temps aux mêmes données. Le SGBD doit savoir :

- Gérer les conflits si les utilisateurs font des mises-à-jour sur les mêmes données
- Donner une image cohérente des données si un utilisateur effectue des requêtes et un autre des mises-à-jour
- Offrir un mécanisme de retour en arrière si on décide d'annuler des modifications en cours

But : éviter les blocages, tout en empêchant des modifications anarchiques

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 **Le modèle relationnel**
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## La gestion du SGBD

- **Le concepteur**
  - évalue les besoins de l'application
  - conçoit le schéma logique de la base
- **L'administrateur du SGBD**
  - installe le système et crée la base
  - conçoit le schéma physique
  - fait des réglages fins (*tuning*)
  - gère avec le concepteur l'évolution de la base (nouveaux besoins, utilisateurs)
- **L'éditeur du SGBD**
  - fournit le système et les outils

## Exemple de relation

*Nom de la Relation* → **VEHICULE**

*Nom d'Attribut* → **Annee**

Propriétaire	Type	Annee
Loic	Espace	1988
Nadia	Espace	1989
Loic	R5	1978
Julien	R25	1989
Marie	ZX	1993

← *n-uplet*





Domaines,  $n$ -uplets et relations

- Un **domaine** est un *ensemble de valeurs*.  
Exemples :  $\{0, 1\}$ ,  $\mathbb{N}$ , l'ensemble des chaînes de caractères, l'ensemble des chaînes de caractères de longueur 10.
- Un  **$n$ -uplet** est une *liste de valeurs*  $[v_1, \dots, v_n]$  où chaque valeur  $v_i$  est la valeur d'un domaine  $D_i : v_i \in D_i$
- Le **produit cartésien**  $D_1 \times \dots \times D_n$  entre des domaines  $D_1, \dots, D_n$  est l'*ensemble de tous les  $n$ -uplets*  $[v_1, \dots, v_n]$  où  $v_i \in D_i$ .
- Une **relation**  $R$  est un *sous-ensemble fini* d'un produit cartésien  $D_1 \times \dots \times D_n : R$  est un ensemble de  $n$ -uplets.
- Une **base de données** est un *ensemble de relations*.

## Schéma d'une base de données

- Le **schéma d'une relation**  $R$  est défini par le nom de la relation et la liste des attributs avec pour chaque attribut son domaine :

$$R(A_1 : D_1, \dots, A_n : D_n)$$

ou, plus simplement :

$$R(A_1, \dots, A_n)$$

Exemple: VEHICULE(NOM:CHAR(20), TYPE:CHAR(10), ANNEE:ENTIER)

- Le **schéma d'une base de données** est l'ensemble des schémas de ses relations.

## Attributs

Une relation  $R \subset D_1 \times \dots \times D_n$  est représentée sous forme d'une **table** où chaque ligne correspond à un élément de l'ensemble  $R$  (un  $n$ -uplet) :

- L'ordre des lignes n'a pas d'importance (ensemble).
- Les colonnes sont distinguées par leur ordre ou par un nom d'**attribut**.  
Soit  $A_i$  le  $i$ -ème attribut de  $R$  :
  - $n$  est appelé l'**arité** de la relation  $R$ .
  - $D_i$  est appelé le domaine de  $A_i$ .
  - Tous les attributs d'une relation ont un nom différent.
  - Un même nom d'attribut peut apparaître dans différentes relations.
  - Plusieurs attributs de la même relation peuvent avoir le même domaine.

## Exemple de base de données

## SCHÉMA :

- FOURNISSEURS(FNOM:CHAR(20), FADRESSE:CHAR(30))
- FOURNITURES(FNOM:CHAR(20), PNOM:CHAR(10), PRIX:ENTIER))
- COMMANDES(NUM\_COMDE:ENTIER, NOM:CHAR(20), PNOM:CHAR(10), QUANTITE:ENTIER))
- CLIENTS(NOM: CHAR(20), CADRESSE:CHAR(30), BALANCE:RELATIF)

## Opérations sur une base de données relationnelle

- **Langage de définition des données** (définition et MAJ du schéma) :
  - création et destruction d'une relation ou d'une base
  - ajout, suppression d'un attribut
  - définition des contraintes (clés, références, ...)
- **Langage de manipulation des données**
  - saisie des  $n$ -uplets d'une relation
  - affichage d'une relation
  - modification d'une relation : insertion, suppression et maj des  $n$ -uplets
  - **requêtes** : consultation d'une ou de plusieurs relations
- **Gestion des transactions**
- **Gestion des vues**

## Langages de requêtes relationnels

**En pratique, langage SQL :**

- Langage déclaratif
- Plus naturel que logique du premier ordre
  - **facile pour tout utilisateur**
- Traduction automatique en algèbre relationnelle
- Évaluation de la requête à partir de l'algèbre
  - **évaluation facile à programmer**

## Langages de requêtes relationnels

**Pouvoir d'expression** : Qu'est-ce qu'on peut calculer ? Quelles opérations peut-on faire ?

**Fondements théoriques :**

- calcul relationnel
  - logique du premier ordre, très étudiée (théorèmes)
  - langage déclaratif : on indique les propriétés que doivent vérifier les réponses à la requête
  - **on n'indique pas comment** les trouver
  - facile pour un utilisateur (logicien ...)
- algèbre relationnelle
  - langage procédural, évaluateur facile à programmer
  - **on indique comment** trouver le résultat
  - difficile pour un utilisateur
- Théorème : ces deux langages ont le même pouvoir d'expression

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 **Algèbre relationnelle**
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## Algèbre relationnelle

Opérations “relationnelles” (ensemblistes) :

- une opération prend en entrée une ou deux relations (ensembles de  $n$ -uplets) de la base de données
- le résultat est **toujours** une relation (un ensemble)

5 opérations de base (pour exprimer toutes les requêtes) :

- opérations unaires : **sélection**, **projection**
- opérations binaires : **union**, **différence**, **produit cartésien**

Autres opérations qui s'expriment en fonction des 5 opérations de base : **jointure**, **intersection** et **division**

## Projection: Exemples

a) On élimine la colonne  $C$  dans la relation  $R$  :

$R$	A	B	C
→	a	b	c
	d	a	b
	c	b	d
→	a	b	e
	e	e	a

 $\Rightarrow$ 

$\pi_{A,B}(R)$	A	B
	a	b
	d	a
	c	b
	e	e

Le résultat est une relation (un ensemble) : le  $n$ -uplet  $(a, b)$  n'apparaît qu'**une seule** fois dans la relation  $\pi_{A,B}(R)$ , bien qu'il existe **deux**  $n$ -uplets  $(a, b, c)$  et  $(a, b, e)$  dans  $R$ .

## Projection

Projection sur une partie (un sous-ensemble) des attributs d'une relation  $R$ .  
Notation :

$$\pi_{A_1, A_2, \dots, A_k}(R)$$

$A_1, A_2, \dots, A_k$  sont des attributs (du schéma) de la relation  $R$ . La projection “élimine” tous les autres attributs (colonnes) de  $R$ .

## Projection: Exemples

b) On élimine la colonne  $B$  dans la relation  $R$  (on garde  $A$  et  $C$ ) :

$R$	A	B	C
	a	b	c
	d	a	b
	c	b	d
	a	b	e
	e	e	a

 $\Rightarrow$ 

$\pi_{A,C}(R)$	A	C
	a	c
	d	b
	c	d
	a	e
	e	a

## Sélection

Sélection avec une condition  $\mathcal{C}$  sur les attributs d'une relation  $R$ : on garde les  $n$ -uplets de  $R$  dont les attributs satisfont  $\mathcal{C}$ .

NOTATION :

$$\sigma_{\mathcal{C}}(R)$$

## Sélection : exemples

b) On sélectionne les  $n$ -uplets tels que

$$(A = "a" \vee B = "a") \wedge C \leq 3 :$$

R	A	B	C
	a	b	1
	d	a	2
	c	b	3
	a	b	4
	e	e	5

 $\Rightarrow$ 

$\sigma_{(A="a" \vee B="a") \wedge C \leq 3}(R)$	A	B	C
	a	b	1
	d	a	2

## Sélection : exemples

a) On sélectionne les  $n$ -uplets dans la relation  $R$  tels que l'attribut  $B$  vaut "b" :

R	A	B	C
	a	b	1
	d	a	2
	c	b	3
	a	b	4
	e	e	5

 $\Rightarrow$ 

$\sigma_{B="b"}(R)$	A	B	C
	a	b	1
	c	b	3
	a	b	4

## Sélection : exemples

c) On sélectionne les  $n$ -uplets tels que la 1re et la 2e colonne sont identiques :

R	A	B	C
	a	b	1
	d	a	2
	c	b	3
	a	b	4
	e	e	5

 $\Rightarrow$ 

$\sigma_{A=B}(R)$	A	B	C
	e	e	5

## Condition de sélection

La condition  $\mathcal{C}$  d'une sélection  $\sigma_{\mathcal{C}}(R)$  est une **formule logique** qui relie des termes de la forme  $A_i\theta A_j$  ou  $A_i\theta a$  avec les connecteurs logiques **et** ( $\wedge$ ) et **ou** ( $\vee$ ) où

- $A_i$  et  $A_j$  sont des attributs de la relation  $R$ ,
- $a$  est un élément (une valeur) du domaine de  $A_i$ ,
- $\theta$  est un prédicat de comparaison ( $=, <, \leq, >, \geq, \neq$ ).

## Expressions de l'algèbre relationnelle

Exemple :  $COMMANDES(NOM, PNOM, NUM, QTE)$

$$R'' = \pi_{PNOM}(\overbrace{\sigma_{NOM="Jean"}(COMMANDES)}^{R'})$$

La relation  $R'(NOM, PNOM, NUM, QTE)$  contient les  $n$ -uplets dont l'attribut  $NOM$  a la valeur "Jean". La relation  $R''(PNOM)$  contient tous les produits commandés par Jean.

## Expressions (requêtes) de l'algèbre relationnelle

Fermeture :

- Le résultat d'une opération est à nouveau une **relation**
- Sur cette relation, on peut faire une **autre opération** de l'algèbre

$\Rightarrow$  Les opérations peuvent être composées pour former des expressions plus complexes de l'algèbre relationnelle.

## Produit cartésien

- NOTATION :  $R \times S$
- ARGUMENTS : 2 relations quelconques :

$$R(A_1, A_2, \dots, A_n) \quad S(B_1, B_2, \dots, B_k)$$

- SCHÉMA DE  $T = R \times S$  :  $T(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_k)$ .  
On introduit les règles de renommage suivantes pour lever les éventuelles ambiguïtés sur le schéma de  $T$  :  
Si le produit cartésien est le produit d'une relation avec elle-même alors le nom de la relation est numéroté pour identifier les deux rôles (par 1 et 2).  
Si les relations ont des attributs en commun, les noms des attributs en commun sont prefixés par le nom de la relation d'origine.
- VALEUR DE  $T = R \times S$  : ensemble de tous les  $n+k$ -uplets ayant  $n+k$  composants (attributs)
  - dont les  $n$  premiers composants forment un  $n$ -uplet de  $R$
  - et les  $k$  derniers composants forment un  $k$ -uplet de  $S$

## Exemple de produit cartésien

<b>R</b>	<table><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td></tr></table>	A	B	1	1	1	2	3	4	<b>S</b>	<table><tr><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr><tr><td>a</td><td>b</td><td>a</td></tr><tr><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>b</td><td>a</td><td>a</td></tr></table>	C	D	E	a	b	a	a	b	c	b	a	a	$\Rightarrow$																													
A	B																																																				
1	1																																																				
1	2																																																				
3	4																																																				
C	D	E																																																			
a	b	a																																																			
a	b	c																																																			
b	a	a																																																			
$ R $		$ S $																																																			
$R \times S$																																																					
	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>a</td><td>b</td><td>a</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>b</td><td>a</td><td>a</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>a</td><td>b</td><td>a</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>b</td><td>a</td><td>a</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>a</td><td>b</td><td>a</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>b</td><td>a</td><td>a</td></tr></table>	A	B	C	D	E	1	1	a	b	a	1	1	a	b	c	1	1	b	a	a	1	2	a	b	a	1	2	a	b	c	1	2	b	a	a	3	4	a	b	a	3	4	a	b	c	3	4	b	a	a		
A	B	C	D	E																																																	
1	1	a	b	a																																																	
1	1	a	b	c																																																	
1	1	b	a	a																																																	
1	2	a	b	a																																																	
1	2	a	b	c																																																	
1	2	b	a	a																																																	
3	4	a	b	a																																																	
3	4	a	b	c																																																	
3	4	b	a	a																																																	
$ R  \times  S $																																																					

## Jointure naturelle

- NOTATION :  $R \bowtie S$
- ARGUMENTS : 2 relations quelconques :

$$R(A_1, \dots, A_m, X_1, \dots, X_k) \quad S(B_1, \dots, B_n, X_1, \dots, X_k)$$

où  $X_1, \dots, X_k$  sont les attributs en commun.

- SCHÉMA DE  $T = R \bowtie S$  :  $T(A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_n, X_1, \dots, X_k)$
- VALEUR DE  $T = R \bowtie S$  : ensemble de tous les  $n$ -uplets ayant  $m + n + k$  attributs dont les  $m$  premiers et  $k$  derniers composants forment un  $n$ -uplet de  $R$  et les  $n + k$  derniers composants forment un  $n$ -uplet de  $S$ .

## Jointure naturelle: exemple

R	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
	a	b	c
	d	b	c
	b	b	f
	c	a	d

S	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
	b	c	d
	b	c	e
	a	d	b
	a	c	c

⇒

R ⋈ S	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
	a	b	c	d
	a	b	c	e
	d	b	c	d
	d	b	c	e
	c	a	d	b

## Jointure naturelle

Soit  $U = \{A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_n, X_1, \dots, X_k\}$  l'ensemble des attributs des 2 relations et  $V = \{X_1, \dots, X_k\}$  l'ensemble des attributs en commun.

$$R \bowtie S = \pi_U(\sigma_{\forall X \in V: R.X=S.X}(R \times S))$$

NOTATION :  $R.X$  signifie "l'attribut  $X$  de la relation  $R$ ".

## Jointure naturelle : exemple

R	A	B	S	A	B	D	
	1	a		1	a	b	
	1	b		2	c	b	
	4	a		4	a	a	

 $\Rightarrow$ 

$R \times S$	R.A	R.B	S.A	S.B	D
	1	a	1	a	b
$R.A \neq S.A \wedge R.B \neq S.B \rightarrow$	1	a	2	c	b
$R.A \neq S.A \rightarrow$	1	a	4	a	a
$R.B \neq S.B \rightarrow$	1	b	1	a	b
$R.A \neq S.A \wedge R.B \neq S.B \rightarrow$	1	b	2	c	b
$R.A \neq S.A \wedge R.B \neq S.B \rightarrow$	1	b	4	a	a
$R.A \neq S.A \rightarrow$	4	a	1	a	b
$R.A \neq S.A \wedge R.B \neq S.B \rightarrow$	4	a	2	c	b
	4	a	4	a	a

 $\Downarrow$ 

## Jointure naturelle : algorithme de calcul

Pour chaque  $n$ -uplet  $a$  dans  $R$  et pour chaque  $n$ -uplet  $b$  dans  $S$  :

- 1 on concatène  $a$  et  $b$  et on obtient un  $n$ -uplet qui a pour attributs

$$\overbrace{A_1, \dots, A_m, X_1, \dots, X_k}^a, \overbrace{B_1, \dots, B_n, X_1, \dots, X_k}^b$$

- 2 on ne le garde que si chaque attribut  $X_i$  de  $a$  est égal à l'attribut  $X_i$  de  $b$  :  $\forall_{i=1..k} a.X_i = b.X_i$ .
- 3 on élimine les valeurs (colonnes) dupliquées : on obtient un  $n$ -uplet qui a pour attributs

$$\overbrace{A_1, \dots, A_m}^a, \overbrace{B_1, \dots, B_m}^b, \overbrace{X_1, \dots, X_k}^{a \text{ et } b}$$

## Jointure naturelle : exemple

$$\pi_{R.A, R.B, D}(\sigma_{R.A=S.A \wedge R.B=S.B}(R \times S))$$

 $\Rightarrow$ 

$R \bowtie S$	A	B	D
	1	a	b
	4	a	a

## $\theta$ -Jointure

- ARGUMENTS : deux relations qui ne partagent pas d'attributs :

$$R(A_1, \dots, A_m) \quad S(B_1, \dots, B_n)$$

- NOTATION :  $R \bowtie_{A_i \theta B_j} S$ ,  $\theta \in \{=, \neq, <, \leq, >, \geq\}$
- SCHÉMA DE  $T = R \bowtie_{A_i \theta B_j} S$  :  $T(A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_n)$
- VALEUR DE  $T = R \bowtie_{A_i \theta B_j} S$  :  $T = \sigma_{A_i \theta B_j}(R \times S)$
- ÉQUIJOINTURE :  $\theta$  est l'égalité.



# Exemple de $\theta$ -Jointure : $R \bowtie_{A \leq C} S$

R	A	B
1	a	
1	b	
3	a	

S	C	D	E
1	b	a	
2	b	c	
4	a	a	

$T := R \times S$

A	B	C	D	E
1	a	1	b	a
1	a	2	b	c
1	a	4	a	a
1	b	1	b	a
1	b	2	b	c
1	b	4	a	a
3	a	1	b	a
3	a	2	b	c
3	a	4	a	a

$A > C \rightarrow$

$A > C \rightarrow$

$\sigma_{A \leq C}(T)$   
 $= R \bowtie_{A \leq C} S$

$\Rightarrow$

A	B	C	D	E
1	a	1	b	a
1	a	2	b	c
1	a	4	a	a
1	b	1	b	a
1	b	2	b	c
1	b	4	a	a
3	a	4	a	a

# Exemple d'équijointure : $R \bowtie_{B=D} S$

R	A	B
1	a	
1	b	
3	a	

S	C	D	E
1	b	a	
2	b	c	
4	a	a	

$T := R \times S$

$B \neq D \rightarrow$

$B \neq D \rightarrow$

$B \neq D \rightarrow$

$B \neq D \rightarrow$

$B \neq D \rightarrow$

A	B	C	D	E
1	a	1	b	a
1	a	2	b	c
1	a	4	a	a
1	b	1	b	a
1	b	2	b	c
1	b	4	a	a
3	a	1	b	a
3	a	2	b	c
3	a	4	a	a

$\Rightarrow$

$\sigma_{B=D}(T)$   
 $= R \bowtie_{B=D} S$

A	B	C	D	E
1	a	4	a	a
1	b	1	b	a
1	b	2	b	c
3	a	4	a	a

## Utilisation de l'équijointure et jointure naturelle

$IMMEUBLE(ADI, NBETAGES, DATEC, PROP)$

$APPIM(ADI, NAP, OCCUP, ETAGE)$

- 1 Nom du propriétaire de l'immeuble où est situé l'appartement occupé par *Durand* :

$\pi_{PROP}(\overbrace{IMMEUBLE \bowtie \sigma_{OCCUP='DURAND'}(APPIM)}^{JointureNaturelle})$

- 2 Appartements occupés par des propriétaires d'immeuble :

$\pi_{ADI, NAP, ETAGE}(\overbrace{APPIM \bowtie_{OCCUP=PROP} IMMEUBLE}^{equijointure})$

Autre exemple de requête : Nom et adresse des clients qui ont commandé des parpaings.

- Schéma Relationnel :

$COMMANDES(PNOM, CNOM, NUM\_CMDE, QTE)$

$CLIENTS(CNOM, CADRESSE, BALANCE)$

- Requête Relationnelle :

$\pi_{CNOM, CADRESSE}(CLIENTS \bowtie \sigma_{PNOM='PARPAING'}(COMMANDES))$

## Union

- ARGUMENTS : 2 relations de même schéma :

$$R(A_1, \dots, A_m) \quad S(A_1, \dots, A_m)$$

- NOTATION :  $R \cup S$

- SCHÉMA DE  $T = R \cup S$  :  $T(A_1, \dots, A_m)$

- VALEUR DE  $T$  : Union ensembliste sur  $D_1 \times \dots \times D_m$  :

$$T = \{t \mid t \in R \vee t \in S\}$$

## Exemple d'union

R	A	B
	a	b
	a	c
	d	e

S	A	B
	a	b
	a	e
	d	e
	f	g

 $\Rightarrow$ 

$R \cup S$	$\rightarrow$		A	B
	$\rightarrow$		a	b
			a	c
			d	e
			a	e
			f	g

## Différence

- ARGUMENTS : 2 relations de même schéma :

$$R(A_1, \dots, A_m) \quad S(A_1, \dots, A_m)$$

- NOTATION :  $R - S$

- SCHÉMA DE  $T = R - S$  :  $T(A_1, \dots, A_m)$

- VALEUR DE  $T$  : Différence ensembliste sur  $D_1 \times \dots \times D_m$  :

$$T = \{t \mid t \in R \wedge t \notin S\}$$

## Exemple de différence

R	A	B
	a	b
	a	c
	d	e

S	A	B
	a	b
	a	e
	d	e
	f	g

R - S	A	B
	a	c

S - R	A	B
	a	e
	f	g

## Intersection

- ARGUMENTS : 2 relations de même schéma :

$$R(A_1, \dots, A_m) \quad S(A_1, \dots, A_m)$$

- NOTATION :  $R \cap S$

- SCHÉMA DE  $T = R \cap S$  :  $T(A_1, \dots, A_m)$

- VALEUR DE  $T$  : Intersection ensembliste sur  $D_1 \times \dots \times D_m$  :

$$T = \{t \mid t \in R \wedge t \in S\}$$

## Semi-jointure

- ARGUMENTS : 2 relations quelconques :

$$R(A_1, \dots, A_m, X_1, \dots, X_k)$$

$$S(B_1, \dots, B_n, X_1, \dots, X_k)$$

où  $X_1, \dots, X_k$  sont les attributs en commun.

- NOTATION :  $R \bowtie S$

- SCHÉMA DE  $T = R \bowtie S$  :  $T(A_1, \dots, A_m, X_1, \dots, X_k)$

- VALEUR DE  $T = R \bowtie S$  : Projection sur les attributs de  $R$  de la jointure naturelle entre  $R$  et  $S$ .

## Exemple d'intersection

$R$	<table><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>a</td><td>b</td></tr><tr><td>a</td><td>c</td></tr><tr><td>d</td><td>e</td></tr></table>	A	B	a	b	a	c	d	e		
A	B										
a	b										
a	c										
d	e										
$S$	<table><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>a</td><td>b</td></tr><tr><td>a</td><td>e</td></tr><tr><td>d</td><td>e</td></tr><tr><td>f</td><td>g</td></tr></table>	A	B	a	b	a	e	d	e	f	g
A	B										
a	b										
a	e										
d	e										
f	g										
$R - S$	<table><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>a</td><td>c</td></tr></table>	A	B	a	c						
A	B										
a	c										
$R \cap S = R - (R - S)$	<table><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>a</td><td>b</td></tr><tr><td>d</td><td>e</td></tr></table>	A	B	a	b	d	e				
A	B										
a	b										
d	e										

## Semi-jointure

La semi-jointure correspond à une sélection où la condition de sélection est définie par le biais d'une autre relation.  
Soit  $U$  l'ensemble des attributs de  $R$ .

$$R \bowtie S = \pi_U(R \bowtie S)$$

## Exemple de semi-jointure

<b>R</b>	<table><tr><th>A</th><th><u>B</u></th><th><u>C</u></th></tr><tr><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>d</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>b</td><td>b</td><td>f</td></tr><tr><td>c</td><td>a</td><td>d</td></tr></table>	A	<u>B</u>	<u>C</u>	a	b	c	d	b	c	b	b	f	c	a	d	<table><tr><th><u>B</u></th><th><u>C</u></th><th>D</th></tr><tr><td>b</td><td>c</td><td>d</td></tr><tr><td>b</td><td>c</td><td>e</td></tr><tr><td>a</td><td>d</td><td>b</td></tr></table>	<u>B</u>	<u>C</u>	D	b	c	d	b	c	e	a	d	b
A	<u>B</u>	<u>C</u>																											
a	b	c																											
d	b	c																											
b	b	f																											
c	a	d																											
<u>B</u>	<u>C</u>	D																											
b	c	d																											
b	c	e																											
a	d	b																											
$\Rightarrow \pi_{A,B,C}(R \bowtie S) \Rightarrow$	<table><tr><th>A</th><th><u>B</u></th><th><u>C</u></th></tr><tr><td>a</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>d</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>c</td><td>a</td><td>d</td></tr></table>		A	<u>B</u>	<u>C</u>	a	b	c	d	b	c	c	a	d															
A	<u>B</u>	<u>C</u>																											
a	b	c																											
d	b	c																											
c	a	d																											

## Exemple de division

REQUÊTE : Clients qui commandent tous les produits:

COMM	NUM	NOM	PNOM	QTE
	1	Jean	briques	100
	2	Jean	ciment	2
	3	Jean	parpaing	2
	4	Paul	briques	200
	5	Paul	parpaing	3
	6	Vincent	parpaing	3

## Exemple de division

$R = \pi_{NOM,PNOM}(COMM) :$

R	NOM	PNOM	PROD	PNOM	
	Jean	briques			briques
	Jean	ciment			ciment
	Jean	parpaing			parpaing
	Paul	briques			
	Paul	parpaing			
	Vincent	parpaing			
$R \div PROD$			NOM		
			Jean		

<b>R</b>	A	B	C	D
	a	b	x	m
	a	b	y	n
	a	b	z	o
	b	c	x	o
	b	d	x	m
	c	e	x	m
	c	e	y	n
	c	e	z	o
	d	a	z	p
	d	a	y	m

<b>S</b>	C	D
	x	m
	y	n
	z	o

<b>R:S</b>	A	B
	a	b
	c	e

## Division

- ARGUMENTS : 2 relations :

$$R(A_1, \dots, A_m, X_1, \dots, X_k) \quad S(X_1, \dots, X_k)$$

où **tous** les attributs de  $S$  sont des attributs de  $R$ .

- NOTATION :  $R \div S$
- SCHÉMA DE  $T = R \div S$  :  $T(A_1, \dots, A_m)$
- VALEUR DE  $T = R \div S$  :

$$R \div S = \{(a_1, \dots, a_m) \mid \forall (x_1, \dots, x_k) \in S : (a_1, \dots, a_m, x_1, \dots, x_k) \in R\}$$

## Renommage

- NOTATION :  $\rho$
- ARGUMENTS : 1 relation :

$$R(A_1, \dots, A_n)$$

- SCHÉMA DE  $T = \rho_{A_i \rightarrow B_i} R$  :  $T(A_1, \dots, A_{i-1}, B_i, A_{i+1}, \dots, A_n)$
- VALEUR DE  $T = \rho_{A_i \rightarrow B_i} R$  :  $T = R$ . La valeur de  $R$  est inchangée.  
Seul le nom de l'attribut  $A_i$  a été remplacé par  $B_i$

## Division

La division s'exprime en fonction du produit cartésien, de la projection et de la différence :  $R \div S = R_1 - R_2$  où

$$R_1 = \pi_{A_1, \dots, A_m}(R) \text{ et } R_2 = \pi_{A_1, \dots, A_m}((R_1 \times S) - R)$$

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 **SQL**
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## Principe

- SQL (Structured Query Language) est le Langage de Requêtes standard pour les SGBD relationnels
- Expression d'une requête par un bloc *SELECT FROM WHERE*

```
SELECT  <liste des attributs a projeter>
FROM    <liste des relations arguments>
WHERE   <conditions sur un ou plusieurs attributs>
```

- Dans les requêtes simples, la correspondance avec l'algèbre relationnelle est facile à mettre en évidence.

## Projection avec élimination de doublons

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

REQUÊTE: *Produits commandés*

ALGÈBRE :  $\pi_{PNOM}(COMMANDES)$

SQL :

```
SELECT PNOM
FROM   COMMANDES
```

**NOTE:** Contrairement à l'algèbre relationnelle, SQL n'élimine pas les doublons (sémantique multi-ensemble). Pour les éliminer on utilise **DISTINCT** :

```
SELECT DISTINCT PNOM
FROM   COMMANDES
```

Le **DISTINCT** peut être remplacé par la clause **UNIQUE**.

## Projection

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

REQUÊTE : *Toutes les commandes*

ALGÈBRE : *COMMANDES*

SQL:

```
SELECT NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE
FROM   COMMANDES
```

ou

```
SELECT *
FROM   COMMANDES
```

## Sélection

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

REQUÊTE: *Produits commandés par Jean*

ALGÈBRE:  $\pi_{PNOM}(\sigma_{CNOM="JEAN"}(COMMANDES))$

SQL:

```
SELECT PNOM
FROM   COMMANDES
WHERE  CNOM = 'JEAN'
```

REQUÊTE: *Produits commandés par Jean en quantité supérieure à 100*

ALGÈBRE:  $\pi_{PNOM}(\sigma_{CNOM="JEAN" \wedge QUANTITE > 100}(COMMANDES))$

SQL:

```
SELECT PNOM
FROM   COMMANDES
WHERE  CNOM = 'JEAN' AND QUANTITE > 100
```

## Exemple

SCHÉMA : **FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Produits dont le nom est celui du fournisseur*

SQL:

```
SELECT PNOM
FROM   FOURNITURE
WHERE  PNOM = FNOM
```

## Conditions simples

Les conditions de base sont exprimées de deux façons:

- ① *attribut comparateur valeur*
- ② *attribut comparateur attribut*

où *comparateur* est =, <, >, !=, ... ,

Soit le schéma de relation **FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

Exemple :

```
SELECT PNOM FROM FOURNITURE WHERE PRIX > 2000
```

## Appartenance à une intervalle : BETWEEN

SCHÉMA : **FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Produits avec un coût entre 1000 euros et 2000 euros*

SQL:

```
SELECT PNOM
FROM   FOURNITURE
WHERE  PRIX BETWEEN 1000 AND 2000
```

**NOTE:** La condition  $y \text{ BETWEEN } x \text{ AND } z$  est équivalente à  $y \leq z$  AND  $x \leq y$ .

## Chaînes de caractères : LIKE

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

REQUÊTE: *Clients dont le nom commence par "C"*

SQL:

```
SELECT CNOM
FROM   COMMANDES
WHERE  CNOM LIKE 'C%'
```

**NOTE:** Le littéral qui suit LIKE doit être une chaîne de caractères éventuellement avec des caractères jokers \_ (un caractère quelconque) et % (une chaîne de caractères quelconque).

*Pas exprimable avec l'algèbre relationnelle.*

## Comparaison avec valeurs nulles

SCHÉMA et INSTANCE :

FOURNISSEUR	FNOM	VILLE
	Toto	Paris
	Lulu	NULL
	Marco	Marseille

REQUÊTE: *Les Fournisseurs de Paris.*

SQL:

```
SELECT FNOM
FROM   FOURNISSEUR
WHERE  VILLE = 'Paris'
```

RÉPONSE : Toto

## Valeurs inconnues : NULL

La valeur NULL est une valeur "spéciale" qui représente une *valeur (information) inconnue*.

- ①  $A \theta B$  est inconnu (ni vrai, ni faux) si la valeur de  $A$  ou/et  $B$  est NULL ( $\theta$  est l'un de  $=, <, >, ! =, \dots$ ).
- ②  $A \text{ op } B$  est NULL si la valeur de  $A$  ou/et  $B$  est NULL ( $\text{op}$  est l'un de  $+, -, *, /$ ).

## Comparaison avec valeurs nulles

REQUÊTE: *Fournisseurs dont la ville est inconnue.*

SQL:

```
SELECT FNOM
FROM   FOURNISSEUR
WHERE  VILLE = NULL
```

La réponse est vide. Pourquoi?

SQL:

```
SELECT FNOM
FROM   FOURNISSEUR
WHERE  VILLE IS NULL
```

RÉPONSE : Lulu



## Trois valeurs de vérité

Trois valeurs de vérité: vrai, faux et **inconnu**

- ❶ vrai AND inconnu = inconnu
- ❷ faux AND inconnu = faux
- ❸ inconnu AND inconnu = inconnu
- ❹ vrai OR inconnu = vrai
- ❺ faux OR inconnu = inconnu
- ❻ inconnu OR inconnu = inconnu
- ❼ NOT inconnu = inconnu

## Jointures : exemple

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)  
**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE : *Nom, Coût, Fournisseur des Produits commandés par Jean*

ALGÈBRE :

$\pi_{PNOM, PRIX, FNOM}(\sigma_{CNOM="JEAN"}(COMMANDES) \bowtie (FOURNITURE))$

## Exemple

SCHÉMA : **EMPLOYE**(EMPNO,ENOM,DEPNO,SAL)

SQL:

```
SELECT ENOM
FROM EMPLOYE
WHERE SAL > 2000 OR SAL <= 6000
```

On ne trouve que les noms des employés avec un salaire connu. Pourquoi?

## Jointure : exemple

SCHÉMA : **COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)  
**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

SQL :

```
SELECT COMMANDES.PNOM, PRIX, FNOM
FROM COMMANDES, FOURNITURE
WHERE CNOM = 'JEAN' AND
      COMMANDES.PNOM = FOURNITURE.PNOM
```

NOTES:

- On exprime une jointure comme un produit cartésien suivi d'une sélection et d'une projection (on a déjà vu ça?)
- Algèbre : la requête contient une jointure naturelle.
- SQL : il faut expliciter les attributs de jointure.

## Auto-jointure et renommage

SCHÉMA : **FOURNISSEUR**(FNOM,STATUT,VILLE)

REQUÊTE: "Couples" de fournisseurs situés dans la même ville

SQL:

```
SELECT PREM.FNOM, SECOND.FNOM
FROM   FOURNISSEUR PREM, FOURNISSEUR SECOND
WHERE  PREM.VILLE = SECOND.VILLE AND
       PREM.FNOM < SECOND.FNOM
```

La deuxième condition permet

- ❶ l'élimination des paires (x,x)
- ❷ de garder un exemplaire parmi les couples symétriques (x,y) et (y,x)

**NOTE:** PREM représente une instance de FOURNISSEUR, SECOND une autre instance de FOURNISSEUR.

## Opérations de jointure

SQL2 introduit des opérations de jointure dans la clause FROM :

SQL2	opération	Algèbre
R1 CROSS JOIN R2	produit cartésien	$R1 \times R2$
R1 JOIN R2 ON R1.A < R2.B	théta-jointure	$R1 \bowtie_{R1.A < R2.B} R2$
R1 NATURAL JOIN R2	jointure naturelle	$R1 \bowtie R2$

## Auto-jointure

SCHÉMA : **EMPLOYE**(EMPNO,ENOM,DEPNO,SAL)

REQUÊTE: Nom et Salaire des Employés gagnant plus que l'employé de numéro 12546

SQL:

```
SELECT E1.ENOM, E1.SAL
FROM   EMPLOYE E1, EMPLOYE E2
WHERE  E2.EMPNO = 12546 AND
       E1.SAL > E2.SAL
```

- On confond souvent les auto-jointures avec des sélections simples.
- Requête en algèbre?

## Jointure naturelle : exemple

SCHEMA: **EMP**(EMPNO,ENOM,DEPNO,SAL)

**DEPT**(DEPNO,DNOM)

REQUÊTE: Numéros des départements avec les noms de leurs employés.

SQL2:

```
SELECT DEPNO, ENOM
FROM   DEPT NATURAL JOIN EMP
```

**Note :** L'expression DEPT NATURAL JOIN EMP fait la jointure naturelle (sur les attributs en commun) et l'attribut DEPNO n'apparaît qu'une seule fois dans le schéma du résultat.

$\theta$ -jointure : exemple

REQUÊTE: *Nom et salaire des employés gagnant plus que l'employé 12546*  
 SQL2:

```
SELECT E1.ENOM, E1.SAL
FROM   EMPLOYE E1 JOIN EMPLOYE E2 ON E1.SAL > E2.SAL
WHERE  E2.EMPNO = 12546
```

## Jointure externe

**Jointure externe** : les n-uplets qui ne peuvent pas être joints *ne sont pas éliminés*.

- On garde tous les n-uplets des deux relations :

**EMP NATURAL FULL OUTER JOIN DEPT**

Tom	1	10000	Comm.
Jim	2	20000	Adm.
Karin	3	15000	NULL
NULL	4	NULL	Tech.

## Jointure interne

EMP	EMPNO	DEPNO	SAL	DEPT	DEPNO	DNOM
	Tom	1	10000		1	Comm.
	Jim	2	20000		2	Adm.
	Karin	3	15000		4	Tech.

**Jointure (interne)** : les n-uplets qui ne peuvent pas être joints sont éliminés :

**EMP NATURAL JOIN DEPT**

Tom	1	10000	Comm.
Jim	2	20000	Adm.

- On garde tous les n-uplets de la première relation (gauche) :

**EMP NATURAL LEFT OUTER JOIN DEPT**

Tom	1	10000	Comm.
Jim	2	20000	Adm.
Karin	3	15000	NULL

- On peut aussi écrire (dans Oracle) :

```
select EMP.*, DEP.DNOM
from EMP, DEPT
where EMP.DEPNO = DEPT.DEPNO (+)
```

- On garde tous les n-uplets de la deuxième relation (droite) :

### EMP NATURAL RIGHT OUTER JOIN DEPT

Tom	1	10000	Comm.
Jim	2	20000	Adm.
NULL	4	NULL	Tech.

- On peut aussi écrire (dans Oracle) :

```
select EMP.*, DEP.DNOM
from EMP, DEPT
where EMP.DEPNO (+) = DEPT.DEPNO
```

## Union

COMMANDES(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

FOURNITURE(PNOM, FNOM, PRIX)

REQUÊTE: *Produits qui coûtent plus que 1000F ou ceux qui sont commandés par Jean*

ALGÈBRE:

$$\pi_{PNOM}(\sigma_{PRIX > 1000}(FOURNITURE)) \cup \pi_{PNOM}(\sigma_{CNOM = 'Jean'}(COMMANDES))$$

## Jointures externes dans SQL2

- R1 NATURAL FULL OUTER JOIN R2 : Remplir R1.\* et R2.\*
- R1 NATURAL LEFT OUTER JOIN R2 : Remplir R2.\*
- R1 NATURAL RIGHT OUTER JOIN R2 : Remplir R1.\*

avec NULL quand nécessaire.

D'une manière similaire on peut définir des théta-jointures externes :

- R1 (FULL|LEFT|RIGHT) OUTER JOIN R2 ON prédicat

SQL:

```
SELECT PNOM
FROM FOURNITURE
WHERE PRIX >= 1000
UNION
SELECT PNOM
FROM COMMANDES
WHERE CNOM = 'Jean'
```

**NOTE:** L'union élimine les doublés. Pour garder les doublés on utilise l'opération UNION ALL : le résultat contient chaque n-uplet  $a + b$  fois, où  $a$  et  $b$  est le nombre d'occurrences du n-uplet dans la première et la deuxième requête.

## Différence

La différence ne fait pas partie du standard.

**EMPLOYE**(EMPNO,ENOM,DEPTNO,SAL)

**DEPARTEMENT**(DEPTNO,DNOM,LOC)

REQUÊTE: *Départements sans employés*

ALGÈBRE:  $\pi_{DEPTNO}(DEPARTEMENT) - \pi_{DEPTNO}(EMPLOYE)$

SQL:

```
SELECT DEPTNO FROM DEPARTEMENT
EXCEPT
SELECT DEPTNO FROM EMPLOYE
```

**NOTE:** La différence élimine les doublés. Pour garder les doublés on utilise l'opération EXCEPT ALL : le résultat contient chaque n-uplet  $a - b$  fois, où  $a$  et  $b$  est le nombre d'occurrences du n-uplet dans la première et la deuxième requête.

SQL:

```
SELECT DEPTNO
FROM DEPARTEMENT
WHERE LOC = 'Paris'
INTERSECT
SELECT DEPTNO
FROM EMPLOYE
WHERE SAL > 20000
```

**NOTE:** L'intersection élimine les doublés. Pour garder les doublés on utilise l'opération INTERSECT ALL : le résultat contient chaque n-uplet  $\min(a, b)$  fois, où  $a$  et  $b$  est le nombre d'occurrences du n-uplet dans la première et la deuxième requête.

## Intersection

L'intersection ne fait pas partie du standard.

**EMPLOYE**(EMPNO,ENOM,DEPTNO,SAL)

**DEPARTEMENT**(DEPTNO,DNOM,LOC)

REQUÊTE: *Départements ayant des employés qui gagnent plus que 20000F et qui se trouvent à Paris*

ALGÈBRE:

$$\pi_{DEPTNO}(\sigma_{LOC="Paris"}(DEPARTEMENT)) \cap \pi_{DEPTNO}(\sigma_{SAL>20000}(EMPLOYE))$$

## Requêtes imbriquées simples

La Jointure s'exprime par deux blocs SFW imbriqués

Soit le schéma de relations

**COMMANDES**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Nom, prix et fournisseurs des Produits commandés par Jean*

ALGÈBRE:

$$\pi_{PNOM,PRIX,FNOM}(\sigma_{CNOM="JEAN"}(COMMANDES) \bowtie (FOURNITURE))$$

SQL:

```
SELECT PNOM, PRIX, FNOM
FROM FOURNITURE
WHERE PNOM IN (SELECT PNOM
               FROM COMMANDES
               WHERE CNOM = 'JEAN')
```

ou

```
SELECT DISTINCT FOURNITURE.PNOM, PRIX, FNOM
FROM FOURNITURE, COMMANDES
WHERE FOURNITURE.PNOM = COMMANDES.PNOM
AND CNOM = 'JEAN'
```

SQL:

```
SELECT DEPTNO
FROM DEPARTEMENT
WHERE DEPTNO NOT IN (SELECT DEPTNO FROM EMPLOYE)
```

ou

```
SELECT DEPTNO
FROM DEPARTEMENT
EXCEPT
SELECT DEPTNO
FROM EMPLOYE
```

La Différence s'exprime aussi par deux blocs SFW imbriqués

Soit le schéma de relations

**EMPLOYE**(EMPNO, ENOM, DEPNO, SAL)

**DEPARTEMENT**(DEPTNO, DNOM, LOC)

REQUÊTE: *Départements sans employés*

ALGÈBRE:

$$\pi_{DEPTNO}(DEPARTEMENT) - \pi_{DEPTNO}(EMPLOYE)$$

## Requêtes imbriquées plus complexes : ANY - ALL

SCHÉMA: **FOURNITURE**(PNOM, FNOM, PRIX)

REQUÊTE: *Fournisseurs des briques à un coût inférieur au coût maximum des ardoises*

```
SQL : SELECT FNOM
      FROM FOURNITURE
      WHERE PNOM = 'Brique'
      AND PRIX < ANY (SELECT PRIX
                     FROM FOURNITURE
                     WHERE PNOM = 'Ardoise')
```

La condition  $f \theta \text{ANY}(\text{SELECT } \dots \text{ FROM } \dots)$  est vraie ssi la comparaison  $f \theta v$  est vraie au moins pour une valeur  $v$  du résultat du bloc (SELECT F FROM ...).

## "IN" et "= ANY"

**COMMANDE**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Nom, prix et fournisseur des produits commandés par Jean*

SQL:

```
SELECT PNOM, PRIX, FNOM
FROM FOURNITURE
WHERE PNOM = ANY (SELECT PNOM
                  FROM COMMANDE
                  WHERE CNOM = 'JEAN')
```

**NOTE:** Les prédicats IN et = ANY sont utilisés de façon équivalente.

## "NOT IN" et "NOT = ALL"

**EMPLOYE**(EMPNO,ENOM,DEPTNO,SAL)

**DEPARTEMENT**(DEPTNO,DNOM,LOC)

REQUÊTE: *Départements sans employés*

SQL:

```
SELECT DEPTNO
FROM DEPARTEMENT
WHERE DEPTNO NOT = ALL (SELECT DEPTNO
                       FROM EMPLOYE)
```

**NOTE:** Les prédicats NOT IN et NOT = ALL sont utilisés de façon équivalente.

## ALL

SCHÉMA: **COMMANDE**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

REQUÊTE: *Client ayant commandé la plus petite quantité de briques*

SQL:

```
SELECT CNOM
FROM COMMANDE
WHERE PNOM = 'Brique' AND
      QUANTITE <= ALL (SELECT QUANTITE
                     FROM COMMANDE
                     WHERE PNOM = 'Brique')
```

La condition  $f \theta \text{ALL} (\text{SELECT} \dots \text{FROM} \dots)$  est vraie ssi la comparaison  $f \theta v$  est vraie pour toutes les valeurs  $v$  du résultat du bloc ( $\text{SELECT} \dots \text{FROM} \dots$ ).

## EXISTS

**FOURNISSEUR**(FNOM,STATUS,VILLE)

**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Fournisseurs qui fournissent au moins un produit*

SQL :

```
SELECT FNOM
FROM FOURNISSEUR
WHERE EXISTS (SELECT *
             FROM FOURNITURE
             WHERE FNOM = FOURNISSEUR.FNOM)
```

La condition EXISTS ( $\text{SELECT} * \text{FROM} \dots$ ) est vraie ssi le résultat du bloc ( $\text{SELECT} F \text{FROM} \dots$ ) n'est pas vide.

## NOT EXISTS

**FOURNISSEUR**(FNOM,STATUS,VILLE)

**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Fournisseurs qui ne fournissent aucun produit*

SQL:

```
SELECT FNOM
FROM FOURNISSEUR
WHERE NOT EXISTS (SELECT *
                  FROM FOURNITURE
                  WHERE FNOM = FOURNISSEUR.FNOM)
```

La condition NOT EXISTS (SELECT \* FROM ...) est vraie ssi le résultat du bloc (SELECT F FROM ...) est vide.

## Exemple : "EXISTS" et "= ANY"

**COMMANDE**(NUM,CNOM,PNOM,QUANTITE)

**FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Nom, prix et fournisseur des produits commandés par Jean*

```
SELECT PNOM, PRIX, FNOM FROM FOURNITURE
WHERE EXISTS (SELECT * FROM COMMANDE
             WHERE CNOM = 'JEAN'
             AND PNOM = FOURNITURE.PNOM)
```

ou

```
SELECT PNOM, PRIX, FNOM FROM FOURNITURE
WHERE PNOM = ANY (SELECT PNOM FROM COMMANDE
                 WHERE CNOM = 'JEAN')
```

## Formes équivalentes de quantification

Si  $\theta$  est un des opérateurs de comparaison  $<, =, >, \dots$

- La condition  $x \theta \text{ ANY } (\text{SELECT } Ri.y \text{ FROM } R1, \dots Rn \text{ WHERE } p)$  est équivalente à  $\text{EXISTS } (\text{SELECT } * \text{ FROM } R1, \dots Rn \text{ WHERE } p \text{ AND } x \theta Ri.y)$

- La condition  $x \theta \text{ ALL } (\text{SELECT } Ri.y \text{ FROM } R1, \dots Rn \text{ WHERE } p)$  est équivalente à  $\text{NOT EXISTS } (\text{SELECT } * \text{ FROM } R1, \dots Rn \text{ WHERE } (p) \text{ AND NOT } (x \theta Ri.y))$

## Encore plus compliqué...

SCHÉMA: **FOURNITURE**(PNOM,FNOM,PRIX)

REQUÊTE: *Fournisseurs qui fournissent au moins un produit avec un coût supérieur au coût de tous les produits fournis par Jean*

```
SELECT DISTINCT P1.FNOM
FROM FOURNITURE P1
WHERE NOT EXISTS (SELECT * FROM FOURNITURE P2
                 WHERE P2.FNOM = 'JEAN'
                 AND P1.PRIX <= P2.PRIX)
```

ou

```
SELECT DISTINCT FNOM FROM FOURNITURE
WHERE PRIX > ALL (SELECT PRIX FROM FOURNITURE
                 WHERE FNOM = 'JEAN')
```



## Et la division?

**FOURNITURE**(FNUM,PNUM,QUANTITE)  
**PRODUIT**(PNUM,PNOM,PRIX)  
**FOURNISSEUR**(FNUM,FNOM,STATUS,VILLE)

REQUÊTE: *Noms des fournisseurs qui fournissent tous les produits*

ALGÈBRE:

$$R1 := \pi_{FNUM,PNUM}(FOURNITURE) \div \pi_{PNUM}(PRODUIT)$$

$$R2 := \pi_{FNOM}(FOURNISSEUR \bowtie R1)$$

## COUNT, SUM, AVG, MIN, MAX

REQUÊTE: *Nombre de fournisseurs parisiens*

```
SELECT COUNT(*)
FROM   FOURNISSEUR
WHERE  VILLE = 'Paris'
```

REQUÊTE: *Nombre de fournisseurs qui fournissent des produits*

```
SELECT COUNT(DISTINCT FNUM)
FROM   FOURNITURE
```

**NOTE:** La fonction COUNT(\*) compte le nombre des  $n$ -uplets du résultat d'une requête sans élimination des doublés ni vérification des valeurs nulles. Dans le cas contraire on utilise la clause COUNT(DISTINCT ...).

SQL:

```
SELECT FNOM
FROM   FOURNISSEUR
WHERE  NOT EXISTS
      (SELECT *
       FROM PRODUIT
       WHERE NOT EXISTS
            (SELECT *
             FROM FOURNITURE
             WHERE FOURNITURE.FNUM = FOURNISSEUR.FNUM
             AND   FOURNITURE.PNUM = PRODUIT.PNUM))
```

## SUM et AVG

REQUÊTE: *Quantité totale de Briques commandées*

```
SELECT SUM (QUANTITE)
FROM   COMMANDES
WHERE  PNOM = 'Brique'
```

REQUÊTE: *Coût moyen de Briques fournies*

```
SELECT AVG (PRIX)          SELECT SUM (PRIX)/COUNT(PRIX)
FROM   FOURNITURE          ou FROM FOURNITURE
WHERE  PNOM = 'Brique'     WHERE PNOM = 'Brique'
```

## MIN et MAX

REQUÊTE: *Le prix des briques le moins chères.*

```
SELECT MIN(PRIX)
FROM FOURNITURE
WHERE PNOM = 'Briques';
```

REQUÊTE: *Le prix des briques le plus chères.*

```
SELECT MAX(PRIX)
FROM FOURNITURE
WHERE PNOM = 'Briques';
```

Comment peut-on faire sans MIN et MAX?

## GROUP BY

REQUÊTE: *Nombre de fournisseurs par ville*

VILLE	FNOM
PARIS	TOTO
PARIS	DUPOND
LYON	DURAND
LYON	LUCIEN
LYON	REMI

VILLE	COUNT(FNOM)
PARIS	2
LYON	3

```
SELECT VILLE, COUNT(FNOM) FROM FOURNISSEUR GROUP BY VILLE
```

**NOTE:** La clause GROUP BY permet de préciser les attributs de partitionnement des relations déclarées dans la clause FROM.

## Requête imbriquée avec fonction de calcul

REQUÊTE: *Fournisseurs de briques dont le prix est en dessous du prix moyen*

```
SELECT FNOM
FROM FOURNITURE
WHERE PNOM = 'Brique' AND
      PRIX < (SELECT AVG(PRIX)
              FROM FOURNITURE
              WHERE PNOM = 'Brique')
```

REQUÊTE: *Donner pour chaque produit son prix moyen*

```
SELECT PNOM, AVG (PRIX)
FROM FOURNITURE
GROUP BY PNOM
```

RÉSULTAT:

PNOM	AVG (PRIX)
BRIQUE	10.5
ARDOISE	9.8

**NOTE:** Les fonctions de calcul appliquées au résultat de regroupement sont directement indiquées dans la clause SELECT: le calcul de la moyenne se fait par produit obtenu au résultat après le regroupement.

## HAVING

REQUÊTE: *Produits fournis par deux ou plusieurs fournisseurs avec un prix supérieur à 100 Euros*

```
SELECT PNOM
FROM FOURNITURE
WHERE PRIX > 100
GROUP BY PNOM
HAVING COUNT(*) >= 2
```

REQUÊTE: *Nom et prix moyen des produits fournis par des fournisseurs Parisiens et dont le prix minimum est supérieur à 1000 Euros*

```
SELECT PNOM, AVG(PRIX)
FROM FOURNITURE, FOURNISSEUR
WHERE VILLE = 'Paris' AND
      FOURNITURE.FNOM = FOURNISSEUR.FNOM
GROUP BY PNOM
HAVING MIN(PRIX) > 1000
```

## HAVING

AVANT LA CLAUSE HAVING

PNOM	FNOM	PRIX
BRIQUE	TOTO	105
ARDOISE	LUCIEN	110
ARDOISE	DURAND	120

APRÈS LA CLAUSE HAVING

PNOM	FNOM	PRIX
ARDOISE	LUCIEN	110
ARDOISE	DURAND	120

**NOTE:** La clause HAVING permet d'éliminer des partitionnements, comme la clause WHERE élimine des  $n$ -uplets du résultat d'une requête: on garde les produits dont le nombre des fournisseurs est  $\geq 2$ .

Des conditions de sélection peuvent être appliquées avant le calcul d'agrégat (clause WHERE) mais aussi après (clause HAVING).

## ORDER BY

En général, le résultat d'une requête SQL n'est pas trié. Pour trier le résultat par rapport aux valeurs d'un ou de plusieurs attributs, on utilise la clause ORDER BY :

```
SELECT VILLE, FNOM, PNOM
FROM FOURNITURE, FOURNISSEUR
WHERE FOURNITURE.FNOM = FOURNISSEUR.FNOM
ORDER BY VILLE, FNOM DESC
```

Le résultat est trié par les villes (ASC) et le noms des fournisseur dans l'ordre inverse (DESC).

## Historique

**SQL86 - SQL89 ou SQL1** La référence de base:

- Requêtes compilées puis exécutées depuis un programme d'application.
- Types de données simples (entiers, réels, chaînes de caractères de taille fixe)
- Opérations ensemblistes restreintes (UNION).

**SQL91 ou SQL2** Standard actuel:

- Requêtes dynamiques
- Types de données plus riches (intervalles, dates, chaînes de caractères de taille variable)
- Différents types de jointures: jointure naturelle, jointure externe
- Opérations ensemblistes: différence (EXCEPT), intersection (INTERSECT)
- Renommage des attributs dans la clause SELECT

## Récursivité dans SQL

schéma **ENFANT**(NOMPARENT,NOMENFANT)

REQUÊTE: *Les enfants de Charlemagne*

SQL:

```
SELECT NOMENFANT
FROM ENFANT
WHERE NOMPARENT='Charlemagne';
```

## Historique

**SQL:1999 (SQL3)** : SQL devient un langage de programmation :

- Extensions orientées-objet (héritage, méthodes)
- Types structurés
- BLOB, CLOB
- Opérateur de fermeture transitive (recursion)

## Récursivité dans SQL

schéma **ENFANT**(NOMPARENT,NOMENFANT).

REQUÊTE: *Les enfants et petits-enfants de Charlemagne*

SQL:

```
(SELECT NOMENFANT
FROM ENFANT
WHERE NOMPARENT='Charlemagne')
```

```
UNION
```

```
(SELECT E2.NOMENFANT
FROM ENFANT E1,E2
WHERE E1.NOMPARENT='Charlemagne'
AND
E1.NOMENFANT=E2.NOMPARENT)
```

## Descendants

schéma **ENFANT**(NOMPARENT,NOMENFANT).

REQUÊTE: *Les descendants de Charlemagne*

- Nécessite un nombre a priori inconnu de jointures
- Th : impossible à exprimer en logique du premier ordre
- Th : donc, impossible en algèbre relationnel

En pratique, on étend le langage SQL avec des opérateurs récursifs

## Création de tables

Une table (relation) est créée avec la commande **CREATE TABLE** :

```
CREATE TABLE Produit (pnom VARCHAR(20),
                        prix INTEGER);
```

```
CREATE TABLE Fournisseur(fnom VARCHAR(20),
                           ville VARCHAR(16));
```

- Pour chaque attribut, on indique le domaine (type)

## Descendants

schéma **ENFANT**(NOMPARENT,NOMENFANT)

REQUÊTE: *Les descendants de Charlemagne*

SQL:

```
WITH RECURSIVE DESCENDANT(NOMANC, NOMDESC) AS
  (SELECT NOMPARENT, NOMENFANT FROM ENFANT)
  UNION
  (SELECT R1.NOMANC, R2.NOMDESC
   FROM DESCENDANT R1, DESCENDANT R2
   WHERE R1.NOMDESC=R2.NOMANC)
SELECT NOMDESC FROM DESCENDANT
WHERE NOMANC='Charlemagne';
```

## Nombreux types : exemple d'Oracle 8i

decimal(p, s)	<p digits>,<s digits>
integer	nombre entier
real	nombre réel
char (size)	chaîne de caractère de taille fixe
varchar (size)	chaîne de caractère de taille variable
date,timestamp	horodatage
boolean	booléen
blob	données binaires de grande taille
etc.	

## Contraintes d'intégrité

Pour une application donnée, pour un schéma relationnel donné, toutes les instances ne sont pas significatives

### Exemple

- Champs important non renseigné : **autorisation des NULL**
- Prix négatifs : **contrainte d'intégrité sémantique**
- Code de produit dans une commande ne correspondant à aucun produit dans le catalogue : **contrainte d'intégrité référentielle**

## Unicité des valeurs

Interdiction de deux valeurs identiques pour le même attribut :

```
CREATE TABLE Fourniture (pnom VARCHAR(20) UNIQUE,
                          fnom VARCHAR(20)
)
```

- UNIQUE et NOT NULL : l'attribut peut servir de clé primaire

## Valeurs NULL

La valeur NULL peut être interdite :

```
CREATE TABLE Fourniture (pnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          fnom VARCHAR(20) NOT NULL
)
```

## Ajout de contraintes référentielles : clés primaires

```
CREATE TABLE Produit (pnom VARCHAR(20),
                       prix INTEGER,
                       PRIMARY KEY (pnom));
```

```
CREATE TABLE Fournisseur(fnom VARCHAR(20) PRIMARY KEY,
                          ville VARCHAR(16));
```

- L'attribut pnom est une clé dans la table Produit
- L'attribut fnom est une clé dans la table Fournisseur
- Une seule clé primaire par relation
- Une clé primaire peut être référencée par une autre relation

## Ajout de contraintes référentielles : clés étrangères

La table Fourniture relie les produits à leurs fournisseurs :

```
CREATE TABLE Fourniture (pnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          fnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          FOREIGN KEY (pnom) REFERENCES Produit,
                          FOREIGN KEY (fnom) REFERENCES Fournisseur);
```

- Les attributs pnom et fnom sont des clés étrangères (pnom et fnom existent dans les tables référencées)
- Pour sélectionner un attribut de nom différent :

```
FOREIGN KEY (pnom) REFERENCES Produit(autrenom)
```

## Contraintes sémantiques

- Clause CHECK, suivie d'une condition

Exemple : prix positifs

```
prix INTEGER CHECK (prix>0)
```

- Condition générale : requête booléenne (dépend du SGBD)

## Valeurs par défaut

```
CREATE TABLE Fournisseur(fnom VARCHAR(20),
                          ville VARCHAR(16) DEFAULT 'Carcassonne');
```

- Valeur utilisée lorsque l'attribut n'est pas renseigné
- Sans précision, la valeur par défaut est NULL

## Destruction de tables

On détruit une table avec la commande **DROP TABLE** :

```
DROP TABLE Fourniture;
DROP TABLE Produit;
DROP TABLE Fournisseur;
```

La table Fourniture **doit être détruite en premier** car elle contient des clés étrangères vers les deux autres tables;

## Insertion de n-uplets

On insère dans une table avec la commande **INSERT** :

**INSERT INTO**  $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$  **VALUES**  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$

Donc on donne deux listes : celles des attributs (les  $A_i$ ) de la table et celle des valeurs respectives de chaque attribut (les  $v_i$ ).

- ❶ Bien entendu, chaque  $A_i$  doit être un attribut de  $R$
- ❷ Les attributs non-indiqués restent à **NULL** ou à leur valeur par défaut.
- ❸ On doit toujours indiquer une valeur pour un attribut déclaré **NOT NULL**

## Modification

On modifie une table avec la commande **UPDATE** :

**UPDATE**  $R$  **SET**  $A_1 = v_1, A_2 = v_2, \dots, A_n = v_n$   
**WHERE** *condition*

Contrairement à **INSERT**, **UPDATE** s'applique à un ensemble de lignes.

- ❶ On énumère les attributs que l'on veut modifier.
- ❷ On indique à chaque fois la nouvelle valeur.
- ❸ La clause **WHERE** *condition* permet de spécifier les lignes auxquelles s'applique la mise à jour. Elle est identique au **WHERE** du **SELECT**

Bien entendu, on ne peut pas violer les contraintes sur la table.

## Insertion : exemples

Insertion d'une ligne dans *Produit* :

**INSERT INTO** *Produit* (*pnom*, *prix*)  
**VALUES** ('Ojax', 15)

Insertion de deux fournisseurs :

**INSERT INTO** *Fournisseur* (*fnom*, *ville*)  
**VALUES** ('BHV', 'Paris'), ('Casto', 'Paris')

Il est possible d'insérer plusieurs lignes en utilisant **SELECT**

**INSERT INTO** *NomsProd* (*pnom*)  
**SELECT DISTINCT** *pnom* **FROM** *Produit*

## Modification : exemples

Mise à jour du prix d'Ojax :

**UPDATE** *Produit* **SET** *prix*=17  
**WHERE** *pnom* = 'Ojax'

Augmenter les prix de tous les produits fournis par BHV par 20% :

**UPDATE** *Produit* **SET** *prix* = *prix*\*1.2  
**WHERE** *pnom* in (**SELECT** *pnom*  
FROM *Fourniture*  
WHERE *fnom* = 'BHV')



## Destruction

On détruit une ou plusieurs lignes dans une table avec la commande **DELETE** :

```
DELETE FROM R
WHERE condition
```

C'est la plus simple des commandes de mise-à-jour puisque elle s'applique à des lignes et pas à des attributs. Comme précédemment, la clause **WHERE condition** est indentique au **WHERE** du **SELECT**

Déclencheurs associés aux destructions de  $n$ -uplets

- Que faire lorsque le  $n$ -uplet référence une autre table ?

```
CREATE TABLE Produit (pnom VARCHAR(20),
                      prix INTEGER,
                      PRIMARY KEY (pnom));
```

```
CREATE TABLE Fourniture (pnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          fnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          FOREIGN KEY (pnom) REFERENCES Produit
                          on delete <action>);
```

<action> à effectuer lors de la **destruction dans Produit** :

- CASCADE : destruction **si destruction dans Produit**
- RESTRICT : interdiction si existe dans Fourniture
- SET NULL : remplacer par NULL
- SET DEFAULT <valeur> : remplacement par une valeur par défaut

## Destruction : exemples

Destruction des produits fournis par le BHV :

```
DELETE FROM Produit
WHERE pnom in (SELECT pnom
               FROM Fourniture
               WHERE fnom = 'BHV')
```

Destruction du fournisseur BHV :

```
DELETE FROM Fournisseur
WHERE fnom = 'BHV'
```

Déclencheurs associés aux mise à jour de  $n$ -uplets

```
CREATE TABLE Fourniture (pnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          fnom VARCHAR(20) NOT NULL,
                          FOREIGN KEY (pnom) REFERENCES Produit
                          on update <action>);
```

<action> à effectuer lors d'un **changement de clé dans Produit** :

- CASCADE : propagation du changement de clé de Produit
- RESTRICT : interdiction si clé utilisée dans Fourniture
- SET NULL : remplace la clé dans Fourniture par NULL
- SET DEFAULT <valeur> : remplace la clé par une valeur par défaut

## Plan du cours

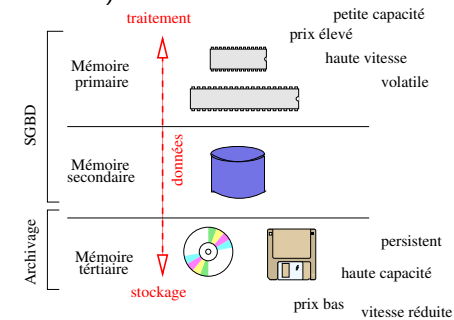
- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 Optimisation
- 7 Évaluation de requêtes

## Comparaison

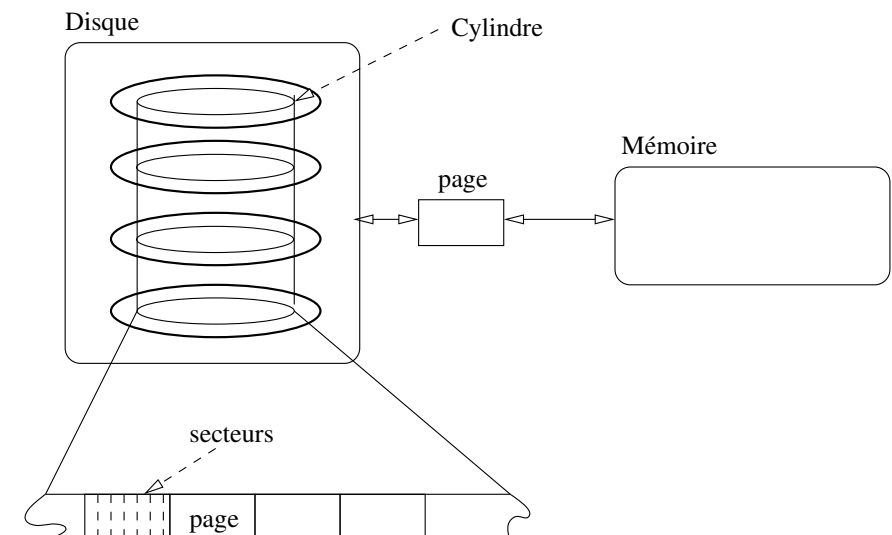
<b>Mémoire</b>	AZEN 256MB, SDRAM DIMM
taille	256MB
prix	90 euros
temps d'accès	8ns
euros/MB	$90\text{E}/256\text{MB} = 0.350 \text{ euros/MB}$
<b>Disque</b>	Western Digital 80GB 7200RPM
taille	80GB = 81920 MB
prix	160 euros
temps d'accès 9ms	9 000 000 ns
euros/MB	$160/81962 = 0.002 \text{ euros/MB}$

## Stockage de données

Hierarchie de mémoire (vitesse d'accès, prix, capacité de stockage, volume) :



## Architecture d'un disque



## Organisation d'un disque

- ① Un disque est divisé en **blocs physiques** (ou **pages**) de tailles égales (en nombre de secteurs).
- ② Accès à un bloc par son adresse (le numéro de cylindre + le numéro du premier secteur + le numéro de face).
- ③ Le bloc est *l'unité d'échange* entre la mémoire secondaire et la mémoire principale

Exemple :  $(38792 \text{ cylindres}) \times (16 \text{ blocs/cylindre}) \times (63 \text{ secteurs/bloc}) \times (512 \text{ octets/secteur}) = 20,020,396,000 \text{ octets} = 20 \text{ GO}$

## Les articles

Un fichier est un ensemble **d'articles** (enregistrements, n-uplets) et un article est une séquence de **champs** (attributs).

- ① **Articles en format fixe.**
  - ① La taille de chaque champ est fixée.
  - ② Taille et nom des champs dans le **descripteur** de fichier.
- ② **Articles en format variable.**
  - ① La taille de chaque champ est variable.
  - ② Taille du champ dans son entête.

## Les fichiers

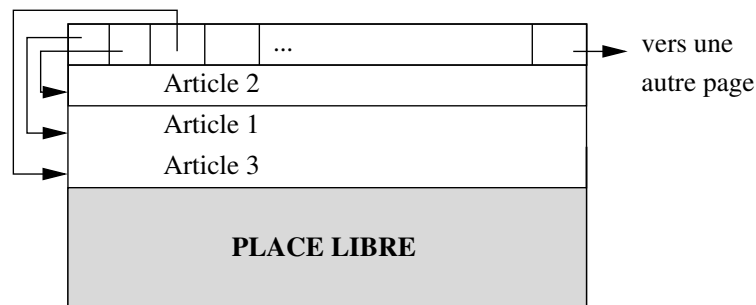
Les données sont stockées dans des **fichiers** :

- Un fichier occupe un ou plusieurs blocs (pages) sur un disque.
- L'accès aux fichiers est géré par un logiciel spécifique : le Système de Gestion de Fichiers (SGF).
- Un fichier est caractérisé par son nom.

## Articles et pages

- Les articles sont stockés dans les pages (taille article < taille de page)
- L'adresse d'un article est constituée de
  - ① L'adresse de la page dans laquelle il se trouve.
  - ② Un entier : indice d'une table placée en début de page qui contient l'adresse réelle de l'article dans la page.

## Structure interne d'une page



## Organisation de fichiers

L'organisation d'un fichier est caractérisée  
par le mode de répartition des articles dans les pages

Il existe trois sortes d'organisation principales :

- ① Fichiers séquentiels
- ② Fichiers indexés (séquentiels indexés et arbres-B)
- ③ Fichiers hachés

## Opérations sur les fichiers

- ① Insérer un article.
- ② Modifier un article
- ③ Détruire un article
- ④ Rechercher un ou plusieurs article(s)
  - Par adresse
  - Par valeur d'un ou plusieurs champs.

**Hypothèse:** Le **coût** d'une opération est surtout fonction du **nombre d'E/S** (nb de pages échangées)!

## Exemple de référence

Organisation d'un fichier contenant les articles suivants :

<i>Vertigo</i> 1958	<i>Annie Hall</i> 1977
<i>Brazil</i> 1984	<i>Jurassic Park</i> 1992
<i>Twin Peaks</i> 1990	<i>Metropolis</i> 1926
<i>Underground</i> 1995	<i>Manhattan</i> 1979
<i>Easy Rider</i> 1969	<i>Reservoir Dogs</i> 1992
<i>Psychose</i> 1960	<i>Impitoyable</i> 1992
<i>Greystoke</i> 1984	<i>Casablanca</i> 1942
<i>Shining</i> 1980	<i>Smoke</i> 1995

## Organisation séquentielle

- **Insertion** : les articles sont stockés séquentiellement dans les pages au fur et à mesure de leur création.
- **Recherche** : le fichier est parcouru séquentiellement.
- **Destruction** : recherche, puis destruction (par marquage d'un bit par exemple).
- **Modification** : recherche, puis réécriture.

## Fichiers séquentiels triés

Une première amélioration consiste à **trier** le fichier sur sa clé d'accès. On peut alors effectuer une recherche par **dichotomie** :

- 1 On lit la page qui est "au milieu" du fichier.
- 2 Selon la valeur de la clé du premier enregistrement de cette page, on sait si l'article cherché est "avant" ou "après".
- 3 On recommence avec le demi-fichier où se trouve l'article recherché.

Coût de l'opération :  $\log_2(n)$ .

## Coût des opérations

Nombre moyen de lectures/écritures sur disque d'un fichier de  $n$  pages :

- **Recherche** :  $\frac{n}{2}$ . On parcourt en moyenne la moitié du fichier.
- **Insertion** :  $n + 1$ . On vérifie que l'article n'existe pas avant d' écrire.
- **Destruction et mises-à-jour** :  $\frac{n}{2} + 1$ .

⇒ organisation utilisée pour les fichiers de petite taille.

## Ajout d'un index

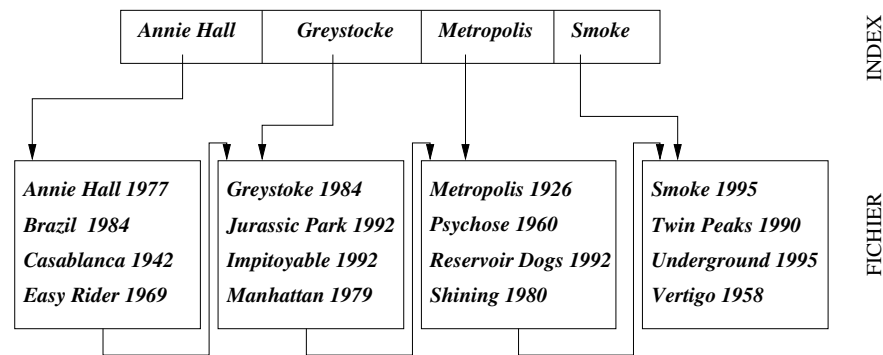
L'opération de recherche peut encore être améliorée en utilisant un **index** sur un fichier **trié**. Le(s) champ(s) sur le(s)quel(s) le fichier est trié est appelé **clé**.

Un index est un *second fichier* possédant les caractéristiques suivantes :

- 1 Les articles sont des couples (*valeurdecl*, *adressedepage*)
- 2 Une occurrence ( $v, b$ ) dans un index signifie que le premier article dans la page  $b$  du fichier trié a pour valeur de clé  $v$ .

L'index est lui-même **trié** sur la valeur de clé.

## Exemple



## Coût d'une recherche avec ou sans index

Soit un fichier  $F$  contenant 1000 pages. On suppose qu'une page d'index contient 100 entrées, et que l'index occupe donc 10 pages.

- $F$  non trié et non indexé. Recherche séquentielle: **500 pages**.
- $F$  trié et non indexé. Recherche dichotomique:  $\log_2(1000)=10$  **pages**
- $F$  trié et indexé. Recherche dichotomique sur l'index, puis lecture d'une page:  $\log_2(10) + 1 = 5$  **pages**

## Recherche avec un index

Un index permet d'accélérer les recherches: chercher l'article dont la valeur de clé est  $v_1$ .

- 1 On recherche dans l'index (séquentiellement ou - mieux - par dichotomie) la plus grande valeur  $v_2$  telle que  $v_2 < v_1$ .
- 2 On lit la page désignée par l'adresse associée à  $v_2$  dans l'index.
- 3 On cherche séquentiellement les articles de clé  $v_1$  dans cette page.

## Autres opérations: insertion

Etant donné un article  $A$  de clé  $v_1$ , on effectue d'abord une recherche pour savoir dans quelle page  $p$  il doit être placé. Deux cas de figure:

- 1 Il y a une place libre dans  $p$ . Dans ce cas on réorganise le contenu de  $p$  pour placer  $A$  à la bonne place.
- 2 Il n'y a plus de place dans  $p$ . Plusieurs solutions, notamment: créer une **page de débordement**.

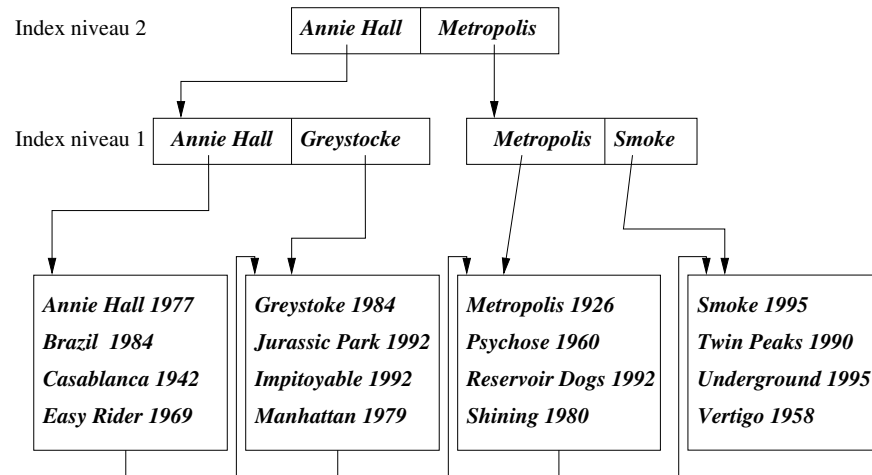
NB: il faut éventuellement réorganiser l'index.

## Autres opérations : destructions et mises-à-jour

Relativement facile en général :

- ① On recherche l'article.
- ② On applique l'opération.

⇒ on peut avoir à réorganiser le fichier et/ou l'index, ce qui peut être coûteux.



## Séquentiel indexé : définition

Un index est un fichier qu'on peut à nouveau indexer :

- ① On trie le fichier sur la clé.
- ② On répartit les articles triés dans  $n$  pages, en laissant de la place libre dans chaque page.
- ③ On constitue un index à plusieurs niveaux sur la clé.

⇒ on obtient un **arbre** dont les feuilles constituent le fichier et les noeuds internes l'index.

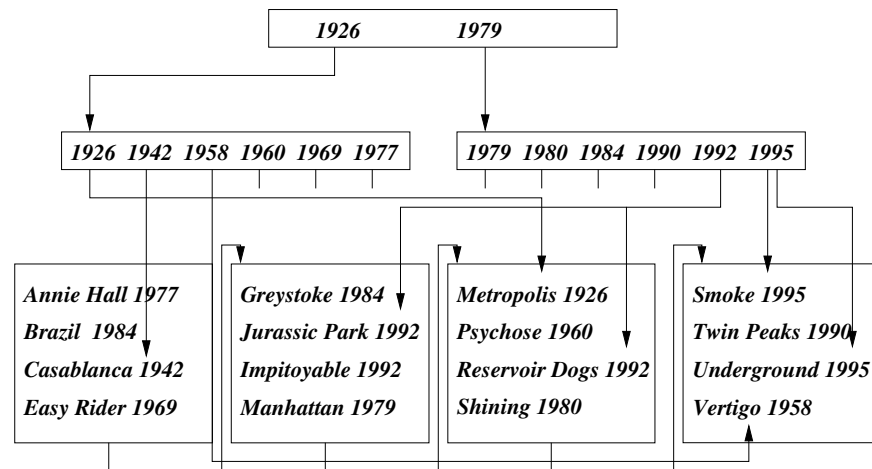
## Index dense et index non dense

L'index ci-dessus est **non dense** : une seule valeur de clé dans l'index pour l'ensemble des articles du fichier indexé  $F$  situés dans une même page. Un index est **dense** ssi il existe une valeur de clé dans l'index pour chaque article dans le fichier  $F$ .

Remarques :

- ① On ne peut créer un index non-dense que sur un fichier trié (et un seul index non-dense par fichier).
- ② Un index non-dense est beaucoup moins volumineux qu'un index dense.

## Exemple d'index dense



## Arbres-B

Un arbre-B (pour *balanced tree* ou **arbre équilibré**) est une structure arborescente dans laquelle tous les chemins de la racine aux feuilles ont même longueur.

Si le fichier grossit : la hiérarchie grossit **par le haut**.

L'arbre-B est utilisé dans **tous** les SGBD relationnels (avec des variantes).

## Inconvénients du séquentiel indexé

Organisation bien adaptée aux fichiers qui évoluent peu. En cas de grossissement :

- ❶ Une page est trop pleine → on crée une page de débordement.
- ❷ On peut aboutir à des chaînes de débordement importantes pour certaines pages.
- ❸ Le temps de réponse peut se dégrader et dépend de l'article recherché

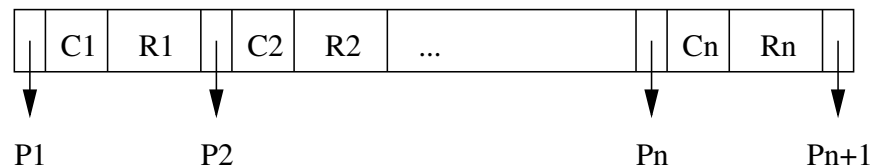
⇒ on a besoin d'une structure permettant une réorganisation dynamique sans dégradation de performances.

## Arbre-B : définition

Un arbre-B d'ordre  $k$  est un arbre équilibré tel que :

- ❶ Chaque noeud est une page contenant au moins  $k$  et au plus  $2k$  articles,  $k \in \mathbb{N}$ .
- ❷ Les articles dans un noeud sont triés sur la clé.
- ❸ Chaque "père" est un index pour l'ensemble de ses fils/descendants.
- ❹ Chaque noeud (sauf la racine) contient  $n$  articles à  $n + 1$  fils.
- ❺ La racine a 0 ou au moins deux fils.



Structure d'un noeud dans un arbre-B d'ordre  $k$ 

Les  $C_i$  sont les clés des articles, les  $R_i$  représentent le reste des attributs d'un article de clé  $C_i$ . Les  $P_i$  sont les pointeurs vers les noeuds fils dans l'index. NB :  $k \leq n \leq 2k$ .

Tous les articles référencés par  $P_i$  ont une valeur de clé  $x$  entre  $C_{i-1}$  et  $C_i$  (pour  $i = 1 : x \leq C_1$  et  $i = n + 1 : x \geq C_n$ )

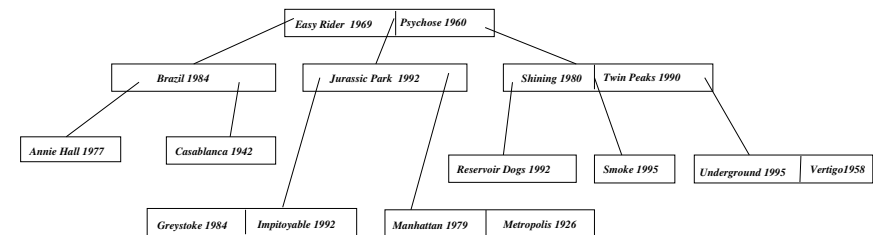
## Recherche dans un arbre-B

Rechercher les articles de clé  $C$ . A partir de la racine, appliquer récursivement l'algorithme suivant :

Soit  $C_1, \dots, C_n$  les valeurs de clés de la page courante.

- ① Chercher  $C$  dans la page courante. Si  $C$  y est, accéder aux valeurs des autres champs, Fin.
- ② Sinon, Si  $C < C_1$  (ou  $C > C_n$ ), on continue la recherche avec le noeud référencé par  $P_1$  (ou  $P_{n+1}$ ).
- ③ Sinon, il existe  $i \in [1, k]$  tel que  $C_i < C < C_{i+1}$ , on continue avec la page référencée par le pointeur  $P_{i+1}$ .

## Exemple d'un arbre-B

Insertion dans un arbre-B d'ordre  $k$ 

On recherche la feuille de l'arbre où l'article doit prendre place et on l'y insère. Si la page  $p$  déborde (elle contient  $2k + 1$  éléments) :

- ① On alloue une nouvelle page  $p'$ .
- ② On place les  $k$  premiers articles (ordonnés selon la clé) dans  $p$  et les  $k$  derniers dans  $p'$ .
- ③ On insère le  $k + 1^{\text{e}}$  article dans le père de  $p$ . Son pointeur gauche référence  $p$ , et son pointeur droit référence  $p'$ .
- ④ Si le père déborde à son tour, on continue comme en 1.

Destruction dans un arbre-B d'ordre  $k$ 

Chercher la page  $p$  contenant l'article. Si c'est une feuille :

- ① On détruit l'article.
- ② S'il reste au moins  $k$  articles dans  $p$ , c'est fini.
- ③ Sinon :
  - ① Si une feuille "soeur" contient plus de  $k$  articles, on effectue une permutation pour rééquilibrer les feuilles. Ex : destruction de *Smoke*.
  - ② Sinon on "descend" un article du père dans  $p$ , et on réorganise le père. Ex : destruction de *ReservoirDogs*

## Quelques mesures pour l'arbre-B

Hauteur  $h$  d'un arbre-B d'ordre  $k$  contenant  $n$  articles :

$$\log_{2k+1}(n+1) \leq h \leq \log_{k+1}\left(\frac{n+1}{2}\right)$$

- ①  $\log_{2k+1}(n+1)$  : meilleure des cas (arbre balancé)
- ②  $\log_{k+1}\left(\frac{n+1}{2}\right)$  : pire des cas (insertion dans la même branche)

Exemple pour  $k = 100$  :

- ① si  $h = 2$ ,  $n \leq 8 \times 10^6$
- ② si  $h = 3$ ,  $n \leq 1,6 \times 10^9$

Les opérations d'accès coûtent au maximum  $h$  E/S (en moyenne  $\geq h - 1$ ).

## Réorganisation de l'arbre

Supposons maintenant qu'on détruise un article dans un noeud interne. Il faut réorganiser :

- ① On détruit l'article
- ② On le remplace par l'article qui a la plus grande valeur de clé dans le sous-arbre gauche. Ex : destruction de *Psychose*, remplacé par *Metropolis*
- ③ On vient de retirer un article dans une feuille : si elle contient moins de  $k$  éléments, on procède comme indiqué précédemment.

⇒ toute destruction a un effet seulement **local**.

## Variante de l'arbre-B

- ① L'arbre B contient à la fois l'index et le fichier indexé.
- ② Si la taille d'un article est grande, chaque noeud en contient peu, ce qui augmente la hauteur de l'arbre
- ③ On peut alors séparer l'index (arbre B) du fichier : stocker les articles dans un fichier  $F$ , remplacer l'article  $R_i$  dans les pages de l'arbre par un pointeur vers l'article dans  $F$ .

## L'arbre B+

Inconvénient de l'arbre B (et de ses variantes):

- Les recherches sur des intervalles de valeurs sont complexes.

D'où l'arbre-B+ :

- Seules les feuilles de l'arbre pointent sur les articles du fichier.
- Toutes les clés sont dans les feuilles
- De plus ces feuilles sont chaînées entre elles.
- Variante: les feuilles contiennent les articles (MySQL - moteur InnoDB)

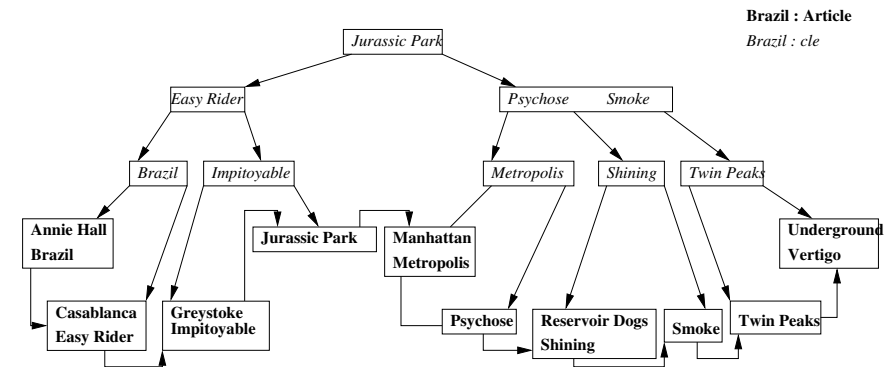
## Hachage

Accès direct à la page contenant l'article recherché :

- 1 On estime le nombre  $N$  de pages qu'il faut allouer au fichier.
- 2 **fonction de hachage**  $H$ : à toute valeur de la clé de domaine  $V$  associe un nombre entre 0 et  $N - 1$ .  

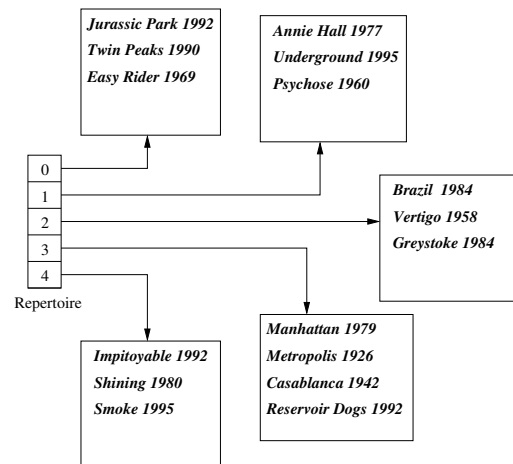
$$H : V \rightarrow \{0, 1, \dots, N - 1\}$$
- 3 On range dans la page de numéro  $i$  tous les articles dont la clé  $c$  est telle que  $H(c) = i$ .

## Exemple d'un arbre-B+

Exemple: hachage sur le fichier *Films*

On suppose qu'une page contient 4 articles :

- 1 On alloue 5 pages au fichier.
- 2 On utilise une fonction de hachage  $H$  définie comme suit :
  - 1 Clé : nom d'un film, on ne s'intéresse qu'à l'initiale de ce nom.
  - 2 On numérote les lettres de l'alphabet de 1 à 26 :  
 $No('a') = 1, No('m') = 13$ , etc.
  - 3 Si  $l$  est une lettre de l'alphabet,  $H(l) = MODULO(No(l), 5)$ .



## Hachage : recherche

Etant donné une valeur de clé  $v$  :

- ① On calcule  $i = H(v)$ .
- ② On consulte dans la case  $i$  du répertoire l'adresse de la page  $p$ .
- ③ On lit la page  $p$  et on y recherche l'article.

⇒ **donc une recherche ne coûte qu'une seule lecture.**

## Remarques

- ① Le nombre  $H(c) = i$  n'est pas une adresse de page, mais l'indice d'une table ou "répertoire"  $R$ .  $R(i)$  contient l'adresse de la page associée à  $i$
- ② Si ce répertoire ne tient pas en mémoire centrale, la recherche coûte plus cher.
- ③ Une propriété essentielle de  $H$  est que la distribution des valeurs obtenues soit uniforme dans  $\{0, \dots, N-1\}$
- ④ Quand on alloue un nombre  $N$  de pages, il est préférable de prévoir un remplissage partiel (non uniformité, grossissement du fichier). On a choisi 5 pages alors que 4 (16 articles / 4) auraient suffi.

## Hachage : insertion

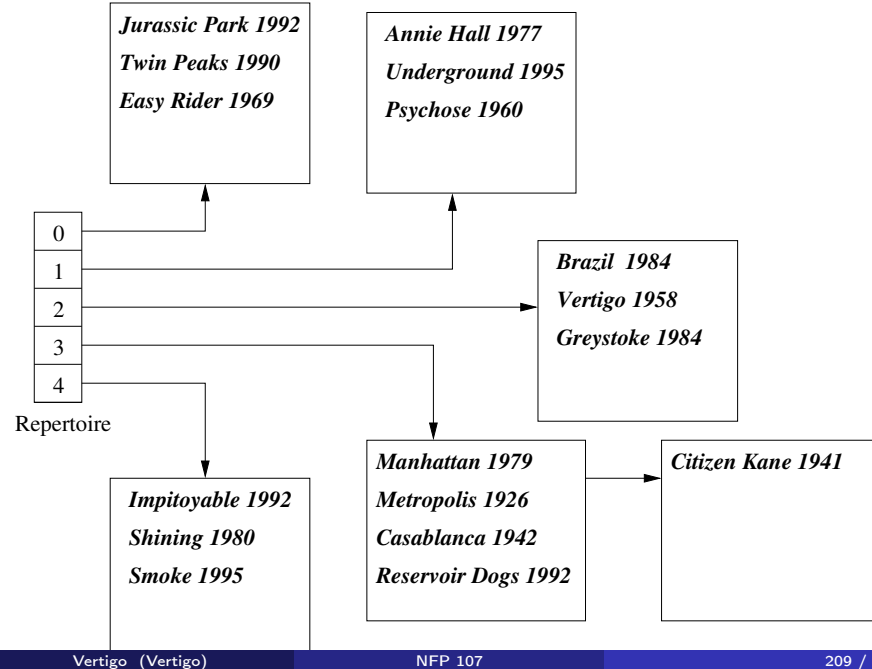
Recherche par  $H(c)$  la page  $p$  où placer  $A$  et l'y insérer.

Si la page  $p$  est pleine, il faut :

- ① Allouer une nouvelle page  $p'$  (de débordement).
- ② Chaîner  $p'$  à  $p$ .
- ③ Insérer  $A$  dans  $p'$ .

⇒ lors d'une recherche, il faut donc en fait parcourir la liste des pages chaînées correspondant à une valeur de  $H(v)$ .

Moins la répartition est uniforme, plus il y aura de débordements



## Comparatif

Organisation	Coût	Avantages	Inconvénients
Sequentiel	$\frac{n}{2}$	Simple	Très coûteux !
Indexé	$\log_2(n)$	Efficace Intervalles	Peu évolutive
Arbre-B	$\log_k(n)$	Efficace Intervalles	Traversée
Hachage	1+	Le plus efficace	Intervalles impossibles

## Hachage : avantages et inconvénients

Intérêt du hachage :

- 1 **Très rapide.** Une seule E/S dans le meilleur des cas pour une recherche.
- 2 Le hachage, contrairement à un index, **n'occupe aucune place disque.**

En revanche :

- 1 Il faut penser à réorganiser les fichiers qui évoluent beaucoup.
- 2 **Les recherches par intervalle sont impossibles.**

## Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Le modèle relationnel
- 3 Algèbre relationnelle
- 4 SQL
- 5 Organisation physique des données
- 6 **Optimisation**
- 7 Évaluation de requêtes

## Pourquoi l'optimisation ?

Les langages de requêtes de haut niveau comme SQL sont **déclaratifs**.

L'utilisateur :

- ❶ indique ce qu'il veut obtenir.
- ❷ n'indique pas **comment** l'obtenir.

Donc le système doit faire le reste :

- ❶ Déterminer le (ou les) chemin(s) d'accès aux données, les stratégies d'évaluation de la requête
- ❷ **Choisir la meilleure stratégie** (ou une des meilleures ...)

## Expression d'une requête

On considère la requête : *Cinémas ayant des salles de plus de 150 places*

En SQL, cette requête s'exprime de la manière suivante :

```
SELECT CINEMA.*
FROM   CINEMA, SALLE
WHERE  capacité > 150
AND    CINEMA.cinéma = SALLE.cinéma
```

## L'optimisation sur un exemple

Considérons le schéma :

*CINEMA*(*Cinéma*, *Adresse*, *Gérant*)

*SALLE*(*Cinéma*, *NoSalle*, *Capacité*)

*SEANCE*(*NoSalle*, *jour*, *heure – debut*, *film*)

avec les hypothèses :

- ❶ Il y a 300 n-uplets dans CINEMA, occupant 30 pages (10 cinémas/page).
- ❷ Il y a 1200 n-uplets dans SALLE, occupant 120 pages(10 salles/page).
- ❸ La mémoire centrale (buffer) ne contient qu'une seule page par relation.

## En algèbre relationnelle

Traduit en algèbre, on a plusieurs possibilités. En voici deux :

- ❶  $\pi_{CINEMA.*}(\sigma_{Capacité > 150}(CINEMA \bowtie SALLE))$
- ❷  $\pi_{CINEMA.*}(CINEMA \bowtie \sigma_{Capacité > 150}(SALLE))$

Soit une jointure suivie d'une sélection, ou l'inverse.

## Evaluation des coûts

On suppose qu'il n'y a que 5 % de salles de plus de 150 places (haute sélectivité) et que les résultats intermédiaires d'une opération et le résultat final sont écrits sur disque (10 n-uplets par page).

- ① Jointure d'abord : Jointure : on lit 3 600 pages (120x30); on écrit le résultat intermédiaire (120 pages); Sélection : on relit le résultat et comme on projette sur tous les attributs de CINEMA, on obtient 5 % de 120 pages, soit 6 pages.  
Nombre d'E/S :  $3\,600E + 120 \times 2E/S + 6S = 3\,846$ .
- ② Sélection d'abord : Sélection : on lit 120 pages (salles) et on obtient (écrit) 6 pages. Jointure : on lit 180 pages (6x30) et on obtient 6 pages.  
Nombre d'E/S :  $120E + 6S + 180E + 6S = 312$ .

⇒ la deuxième stratégie est de loin la meilleure !

## Les paramètres de l'optimisation

Comme on l'a vu sur l'exemple, l'optimisation s'appuie sur :

- ① Des **règles de réécriture** des expressions de l'algèbre.
- ② Des connaissances sur l'**organisation physique** de la base (index)
- ③ Des **statistiques** sur les caractéristiques de la base (taille des relations par exemple).

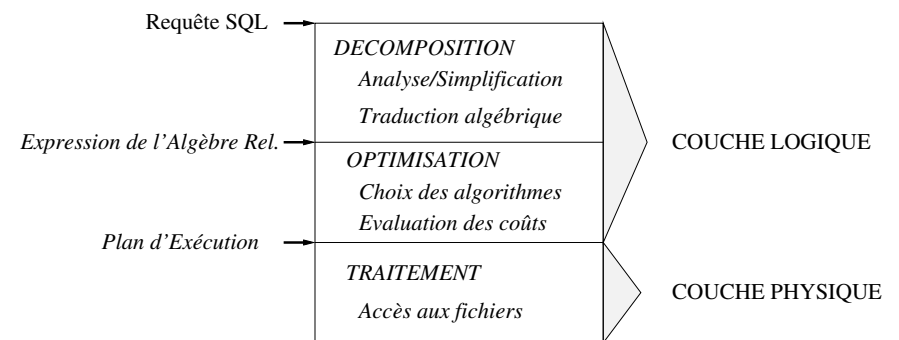
Un **modèle de coût** permet de classer les différentes stratégies envisagées

## Optimisation de requêtes : premières conclusions

- ① Il faut **traduire** une requête exprimée avec un langage déclaratif en une suite d'opérations (similaires aux opérateurs de l'algèbre relationnelle).
- ② En fonction (i) des coûts de chaque opération (ii) des caractéristiques de la base, (iii) des algorithmes utilisés, on cherche à estimer la meilleure stratégie.
- ③ On obtient le **plan d'exécution** de la requête. Il n'y a plus qu'à le traiter au niveau physique.

## Architecture d'un SGBD et optimisation

### LES ETAPES DU TRAITEMENT D'UNE REQUÊTE



## Analyse syntaxique

On vérifie la validité (syntaxique) de la requête.

- ① Contrôle de la structure grammaticale.
- ② Vérification de l'existence des relations et des noms d'attributs.

⇒ On utilise le “dictionnaire” de la base qui contient le schéma.

## Traduction algébrique

Déterminer l'expression algébrique équivalente à la requête :

- ① arguments du SELECT : projections.
- ② arguments du WHERE :  $NomAttr1 = NomAttr2$  correspond en général à une jointure,  $NomAttr = constante$  à une sélection.

On obtient une expression algébrique qui peut être représentée par un **arbre de requête**.

## Analyse, simplification et normalisation

D'autres types de transformations avant optimisation :

- ① **Analyse sémantique** pour la détection d'incohérences.  
Exemple: “ $NoSalle = 11 \text{ AND } NoSalle = 12$ ”
- ② **Simplification** de clauses inutilement complexes. Exemple :  
 $(A \text{ OR } NOT B) \text{ AND } B$  est équivalent à  $A \text{ AND } B$ .
- ③ **Normalisation** de la requête.  
Exemple: transformation des conditions en forme normale conjonctive) et décomposition en *bloques SELECT-FROM-WHERE* pour faciliter la traduction algébrique.

## Traduction algébrique : exemple

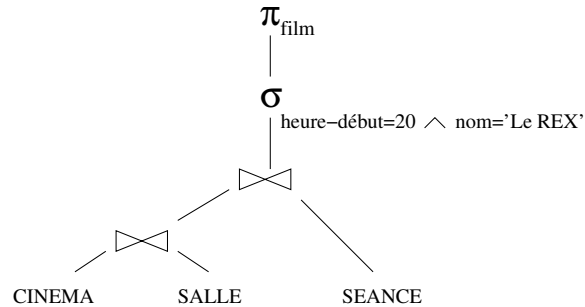
Considérons l'exemple suivant :

*Quels films passent au REX à 20 heures ?*

```
SELECT film
FROM  CINÉMA, SALLE, SÉANCE
WHERE CINÉMA.nom-cinéma = 'Le Rex'
AND   SÉANCE.heure-début = 20
AND   CINÉMA.nom-cinéma = SALLE.nom-cinéma
AND   SALLE.salle = SÉANCE.salle
```



## Expression algébrique et arbre de requête

$$\pi_{\text{film}}(\sigma_{\text{Nom}='Le\ Rex' \wedge \text{heure-début}=20}((\text{CINEMA} \bowtie \text{SALLE}) \bowtie \text{SEANCE}))$$


## Règles de réécriture

Il en existe beaucoup. En voici huit parmi les plus importantes :

- **Commutativité des jointures :**

$$R \bowtie S \equiv S \bowtie R$$

- **Associativité des jointures :**

$$(R \bowtie S) \bowtie T \equiv R \bowtie (S \bowtie T)$$

- **Regroupement des sélections :**

$$\sigma_{A='a' \wedge B='b'}(R) \equiv \sigma_{A='a'}(\sigma_{B='b'}(R))$$

- **Commutativité de la sélection et de la projection**

$$\pi_{A_1, A_2, \dots, A_p}(\sigma_{A_i='a'}(R)) \equiv \sigma_{A_i='a'}(\pi_{A_1, A_2, \dots, A_p}(R)), \quad i \in \{1, \dots, p\}$$

## Restructuration

Il y a plusieurs expressions **équivalentes** pour une même requête.

### ROLE DE L'OPTIMISEUR

- 1 Trouver les expressions équivalentes à une requête.
- 2 Les évaluer et choisir la "meilleure".

On convertit une expression en une expression équivalente en employant des **règles de réécriture**.

## Règles de réécriture

- **Commutativité de la sélection et de la jointure.**

$$\sigma_{A='a'}(R(\dots A \dots) \bowtie S) \equiv \sigma_{A='a'}(R) \bowtie S$$

- **Distributivité de la sélection sur l'union.**

$$\sigma_{A='a'}(R \cup S) \equiv \sigma_{A='a'}(R) \cup \sigma_{A='a'}(S)$$

NB : valable aussi pour la différence.

- **Commutativité de la projection et de la jointure**

$$\pi_{A_1 \dots A_p B_1 \dots B_q}(R \bowtie_{A_i=B_j} S) \equiv$$

$$\pi_{A_1 \dots A_p}(R) \bowtie_{A_i=B_j} \pi_{B_1 \dots B_q}(S),$$

$$(i \in \{1, \dots, p\}, j \in \{1, \dots, q\})$$

- **Distributivité de la projection sur l'union**

$$\pi_{A_1 A_2 \dots A_p}(R \cup S) \equiv \pi_{A_1 A_2 \dots A_p}(R) \cup \pi_{A_1 A_2 \dots A_p}(S)$$

## Exemple d'un algorithme de restructuration

Voici un algorithme basé sur les propriétés précédentes.

- ❶ Séparer les sélections avec plusieurs prédicats en plusieurs sélections à un prédicat (règle 3).
- ❷ Descendre les sélections le plus bas possible dans l'arbre (règles 4, 5, 6).
- ❸ Regrouper les sélections sur une même relation (règle 3).
- ❹ Descendre les projections le plus bas possible (règles 7 et 8).
- ❺ Regrouper les projections sur une même relation.

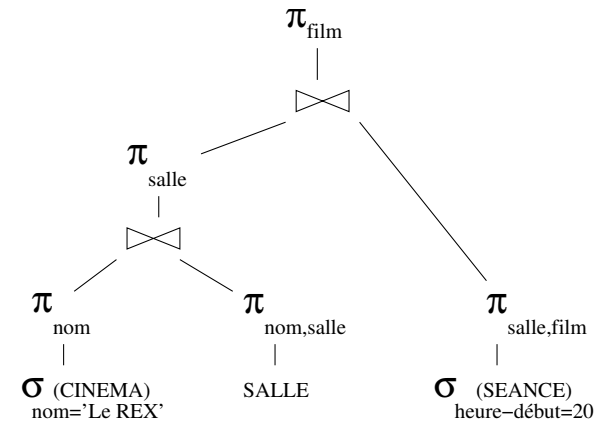
## Quelques remarques sur l'algorithme précédent

L'idée de base est de réduire le plus tôt possible (en bas de l'arbre) la taille des relations manipulées. Donc :

- ❶ On effectue les sélections d'abord car on considère que c'est l'opérateur le plus "réducteur".
- ❷ On élimine dès que possible les attributs inutiles par projection.
- ❸ Enfin on effectue les jointures.

Le plan obtenu est-il TOUJOURS optimal (pour toutes les bases de données) ? ' La réponse est NON!

## Arbre de requête après restructuration



## Un contre-exemple

## Quels sont les films visibles entre 14h et 22h?

Voici deux expressions de l'algèbre, dont l'une "optimisée" :

- ❶  $\pi_{film}(\sigma_{h-début>14 \wedge h-début<22}(FILM \bowtie SEANCE))$
- ❷  $\pi_{film}(FILM \bowtie \sigma_{h-début>14 \wedge h-début<22}(SEANCE))$

La relation FILM occupe 8 pages, la relation SEANCE 50.

## Contre-exemple : évaluation des coûts

Hypothèses : (i) 90 % des séances ont lieu entre 14 et 22 heures, (ii) seulement 20 % des films de la table FILM existent dans la table SEANCE.

- ❶ Jointure : on lit 400 pages et on aboutit à 10 pages (20% de 50 pages).  
Sélection : on se ramène à 9 pages (90%).  
Nombre d'E/S :  $400E + 10 \times 2E/S + 9S = 429E/S$ .
- ❷ Sélection : on lit 50 pages et on aboutit à 45 pages (90%).  
Jointure : on lit 360 (45x8) pages et on aboutit à 9 pages (20% de 45).  
Nombre d'E/S :  $50E + 45S + 360E + 9S = 464E/S$ .

⇒ la première stratégie est la meilleure ! Ici la jointure est plus sélective que la sélection (cas rare).

## Les chemins d'accès

Ils dépendent des organisations de fichiers existantes :

- ❶ Balayage séquentiel
- ❷ Parcours d'index
- ❸ Accès par hachage

Attention ! Dans certains cas un balayage peut être préférable à un parcours d'index.

## Traduction algébrique : conclusion

La réécriture algébrique est nécessaire mais pas suffisante. L'optimiseur tient également compte :

- ❶ Des chemins d'accès aux données (index).
- ❷ Des différents algorithmes implantant une même opération algébrique (jointures).
- ❸ De propriétés statistiques de la base.

## Algorithmes pour les opérations algébriques

On a généralement le choix entre plusieurs algorithmes pour effectuer une opération.

L'opération la plus étudiée est la JOINTURE (pourquoi?) :

- ❶ Boucle imbriquée sans index,
- ❷ Tri-fusion,
- ❸ Jointure par hachage,
- ❹ Boucles imbriquées avec accès à une des relations par index.

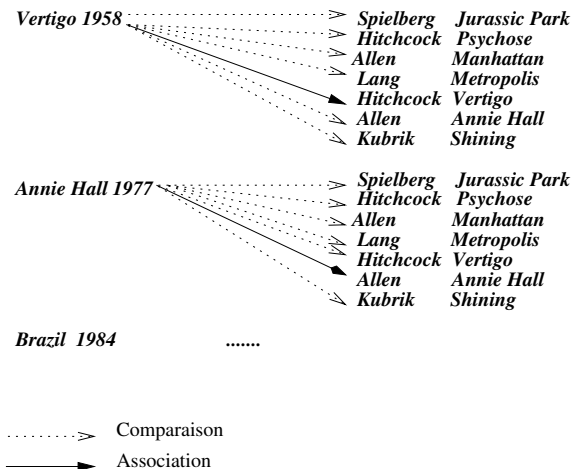
Le choix dépend essentiellement - mais pas uniquement - du chemin d'accès disponible.

## Algorithmes de jointure sans index

En l'absence d'index, les principaux algorithmes sont :

- ① Boucles imbriquées.
- ② Tri-fusion.
- ③ Jointure par hachage.

## Jointure par boucles imbriquées : Exemple



## Jointure par boucles imbriquées

A utiliser quand les tailles des relations sont petites.  
 Soit les deux relations  $R$  et  $S$  :

ALGORITHME **boucles-imbriquées**

**begin**

$J := \emptyset$

**for each**  $r$  **in**  $R$

**for each**  $s$  **in**  $S$

**if**  $r$  **et**  $s$  **sont joignables** **then**  $J := J + \{r \bowtie s\}$

**end**

## Jointure par boucles imbriquées : Analyse

La boucle s'effectue à deux niveaux :

- ① Au niveau des **pages** pour les charger en mémoire.
- ② Au niveau des **articles** des pages chargées en mémoire.

Du point de vue E/S, c'est la première phase qui compte. Si  $T_R$  et  $T_S$  représentent le nombre de pages de  $R$  et  $S$  respectivement, le coût de la jointure est :

$$T_R + T_R \times T_S$$

On ne tient pas compte dans l'évaluation du coût des algorithmes de jointure, du coût d'écriture du résultat sur disque, lequel dépend de la taille du résultat.

## Jointure par tri-fusion

Soit l'expression  $\pi_{R.A_p, S.B_q}(R \bowtie_{A_i=B_j} S)$ .

Algorithme: **Projeter**  $R$  sur  $\{A_p, A_i\}$

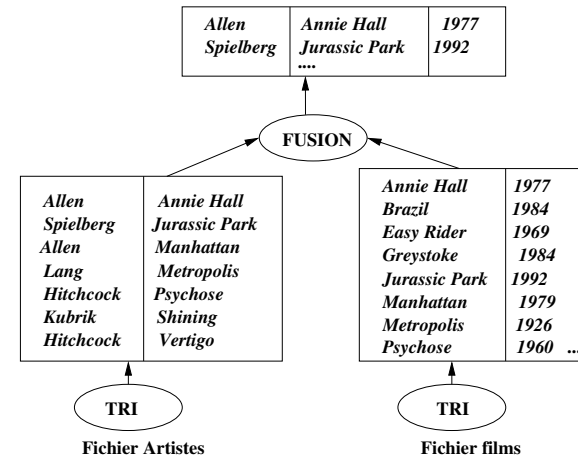
**Trier**  $R$  sur  $A_i$

**Projeter**  $S$  sur  $\{B_q, B_j\}$

**Trier**  $S$  sur  $B_j$

**Fusionner** les deux listes triées.

On les parcourt en parallèle en joignant les n-uplets ayant même valeur pour  $A_i$  et  $B_j$ .



## Jointure par tri-fusion : Performance

Le coût est dominé par la phase de tri :

$$O(|R| + |R| \times \log(|R|) + |S| + |S| \times \log(|S|)).$$

Dans la seconde phase, un simple parcours en parallèle suffit.

Cet algorithme est bien sûr particulièrement intéressant quand les données sont déjà triées en entrée.

## Jointure par tri-fusion : Discussion

Pour de grandes relations et en l'absence d'index, la jointure par tri-fusion présente les avantages suivants :

- 1 **Efficacité** : bien meilleure que les boucles imbriquées.
- 2 **Manipulation de données triées** : facilite l'élimination de doublés ou l'affichage ordonné.
- 3 **Très général** : permet de traiter tous les types de  $\theta$ -jointure

## Jointure par hachage

Comme la jointure par tri-fusion, la jointure par hachage permet de limiter le nombre de comparaisons entre n-uplets.

- ① Une des relations,  $R$ , est hachée sur l'attribut de jointure avec une fonction  $H$ .
- ② La deuxième relation  $S$  est parcourue séquentiellement. Pour chaque n-uplet, on consulte la page indiquée par application de la fonction  $H$  et on regarde si elle contient des n-uplets de  $R$ . Si oui on fait la jointure limitée à ces n-uplets.

## Jointure par hachage : Performance

Coût (en E/S), en supposant  $k$  articles par page et un tampon de 2 pages en memoire centrale (simplification):

- ① Phase 1: Coût du hachage de  $R$ :  $T_R + k \times T_R = \mathcal{O}(2 \times |R|)$  (pour chaque n-uplet il faut lire et écrire une page).
- ② Phase 2: Lecture de  $S$ :  $T_S + k \times T_R = \mathcal{O}(|S|)$  (pour chaque page, on lit  $k$  pages de la relation hachée  $R$ ).
- ③ Coût total =  $((1 + 2k) \times T_R) + T_S = \mathcal{O}(3 \times |R| + |S|)$

## Jointure par hachage : Algorithme

Pour une jointure  $R \bowtie_{A=B} S$ .

- Pour chaque** n-uplet  $r$  de  $R$  **faire**  
     placer  $r$  dans la page indiquée par  $H(r.A)$
- Pour chaque** n-uplet  $s$  de  $S$  **faire**  
     calculer  $H(s.B)$   
     lire la page  $p$  de  $R$  indiquée par  $H(s.B)$   
     effectuer la jointure entre  $\{s\}$  et les n-uplets de  $p$

## Jointure par hachage : Discussion

Il est préférable d'effectuer le hachage (phase 1) sur la plus petite des deux relations.

Si  $R$  tient en mémoire centrale, le coût se réduit à  $T_R + T_S$ .

Contrairement à la jointure par tri-fusion, la jointure par hachage n'est pas adaptée aux jointures avec inégalités.

## Jointure avec une table indexée

- ① On parcourt séquentiellement la table sans index (table directrice).
- ② Pour chaque n-uplet, on recherche par l'index les n-uplets de la seconde relation qui satisfont la condition de jointure (traversée de l'index et accès aux nuplets de la seconde relation par adresse)

## Jointure avec deux tables indexées

Si les deux tables sont indexées sur les deux attributs de jointure, on peut utiliser une variante de l'algorithme de tri-fusion :

- ① On fusionne les deux index (déjà triés) pour constituer une liste  $(Rid, Sid)$  de couples d'adresses pour les articles satisfaisant la condition de jointure.
- ② On parcourt la liste en accédant aux tables pour constituer le résultat.

Inconvénient : on risque de lire plusieurs fois la même page. En pratique, on préfère utiliser une boucle imbriquée en prenant la plus petite table comme table directrice.

## Boucles imbriquées avec une table indexée

## ALGORITHME boucles-imbriquées-index

**begin**

$J := \emptyset$

**for each**  $r$  **in**  $R$

**for each**  $s$  **in**  $Index_{S_B}(r.A)$

$J := J + \{r \bowtie s\}$

**end**

La fonction  $Index_{S_B}(r.A)$  donne les nuplets de  $S$  dont l'attribut  $B$  a pour valeur  $r.A$  en traversant l'index de  $S$  sur  $B$ . Le nombre de nuplets retournés par l'index  $Index_{S_B}$  dépend de la sélectivité  $sel$  sur l'attribut  $B$ .  
Coût :  $\mathcal{O}(|R| + ||R|| \times (|Index_{S_B}| + sel \times ||S||))$ .

## Statistiques

Permettent d'ajuster le choix de l'algorithme. Par exemple :

- ① Boucles imbriquées simples si les relations sont petites.
- ② Balayage séquentiel au lieu de parcours d'index si la sélectivité est faible.

On suppose :

- ① Soit l'existence d'un module récoltant périodiquement des statistiques sur la base
- ② Soit l'estimation en temps réel des statistiques par échantillonnage.

## Plans d'exécution

Le résultat de l'optimisation est un **plan d'exécution**: c'est un ensemble d'opérations de niveau intermédiaire, dit **algèbre "physique"** constituée :

- ① De chemins d'accès aux données
- ② D'opérations manipulant les données, (correspondant aux noeuds internes de l'arbre de requête).

## Exemple

*Quels films passent au REX à 20 heures ?*

```
select Titre
  from Cinema, Salle, Seance
 where Cinema.nom = 'Le Rex'
    and Cinema.ID_cinema = Salle.ID_cinema
    and Salle.ID_salle=Seance.ID_salle
    and Seance.horaire='20'
```

La requête contient deux selections et deux jointures.

## Algèbre physique

## CHEMINS D'ACCES

Sequentiel

TABLE

*Parcours sequentiel*

Adresse

TABLE

*Acces par adresse*

Attribut(s)

INDEX

*Parcours d'index*

## OPERATIONS PHYSIQUES

Critere

Selection

*Selection selon un critere*

Attribut(s)

Tri

*Tri sur un attribut*

Critere

Fusion

*Fusion de deux ensembles tries*

Critere

Filtre

*Filtre d'un ensemble en fonction d'un autre*

Critere

Jointure

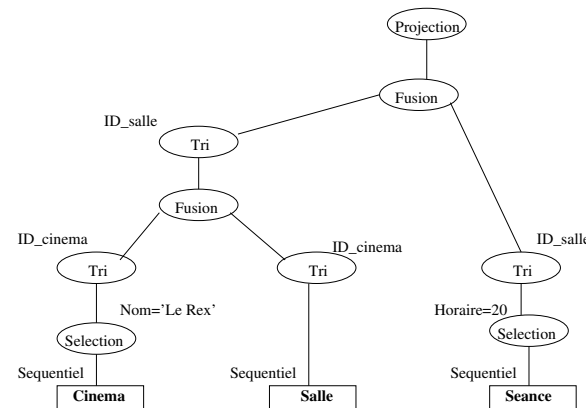
*Jointure selon un critere*

Attribut(s)

Projection

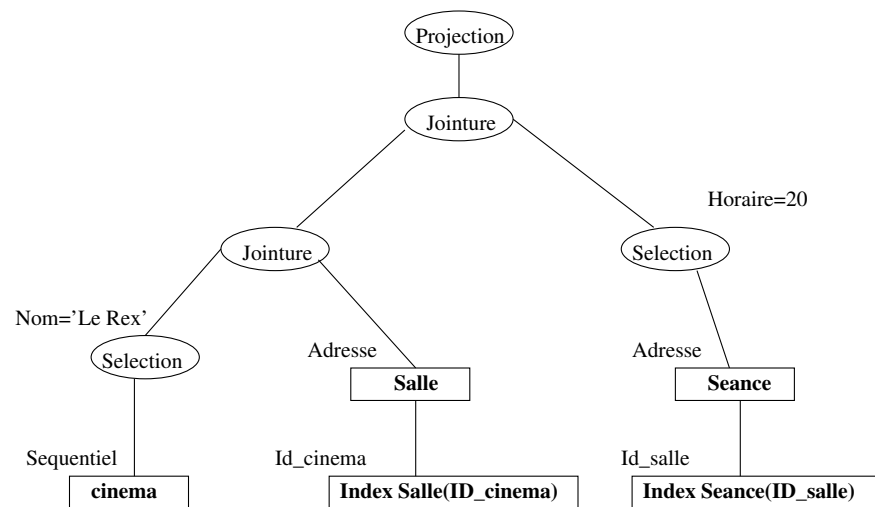
*Projection sur des attributs*

## Sans index ni hachage





## Avec un index sur les attributs de jointure



## En quoi consiste l'évaluation d'une requête

Le résultat de l'optimisation est un plan d'exécution, i.e. une séquence d'opérations à exécuter. On doit maintenant :

- ① Appliquer les *techniques d'accès* appropriées pour chaque opération du plan d'exécution.
- ② Gérer les *flots de données* entre chaque opération.

Les algorithmes, techniques d'accès et heuristiques mise en oeuvre relèvent de **l'évaluation de requêtes**.

## Plan du cours

- ① Introduction
- ② Le modèle relationnel
- ③ Algèbre relationnelle
- ④ SQL
- ⑤ Organisation physique des données
- ⑥ Optimisation
- ⑦ **Évaluation de requêtes**

## Objectifs de l'évaluation de requêtes

Dans l'hypothèse d'une base centralisée, on cherche essentiellement à limiter le nombre d'entrées/sorties. La stratégie employée dépend cependant fortement du point de vue adopté :

- ① Soit on cherche à obtenir le premier enregistrement le plus vite possible (exemple d'une application interactive).
- ② Soit on cherche à minimiser le temps global d'exécution (exemple d'une application batch).

Selon le cas, le choix des algorithmes peut varier.

## Exemple de référence

<i>Vertigo</i>	1958	<i>Metropolis</i>	1926
<i>Annie Hall</i>	1977	<i>Psychose</i>	1960
<i>Brazil</i>	1984	<i>Greystoke</i>	1984
<i>Twin Peaks</i>	1990	<i>Shining</i>	1980
<i>Jurassic Park</i>	1992	<i>Manhattan</i>	1979
<i>Underground</i>	1995	<i>Easy Rider</i>	1969

Les films

<i>Spielberg</i>	<i>Jurassic Park</i>
<i>Hitchcock</i>	<i>Psychose</i>
<i>Allen</i>	<i>Manhattan</i>
<i>Lang</i>	<i>Metropolis</i>
<i>Hitchcock</i>	<i>Vertigo</i>
<i>Allen</i>	<i>Annie Hall</i>
<i>Kubrik</i>	<i>Shining</i>

Les metteurs en scène

## Techniques d'accès pour un parcours d'index

La plupart des SGBD utilisent une des variantes de l'arbre B. Outre les recherches par clés et par intervalle, ils permettent :

- ① D'éviter l'accès aux données quand la valeur recherchée est dans l'index.
- ② De faire directement des comptages ou des tests d'existence.
- ③ Enfin on peut optimiser le nombre d'accès disques en ne manipulant que les adresses produites par les index (intersection d'adresses)

On a toujours le même objectif : on veut éviter des échanges inutiles de pages.

## Techniques d'accès pour un parcours séquentiel

Systématiquement optimisé dans les SGBD en utilisant les techniques suivantes :

- ① **Regroupement** des pages disques sur des espaces contigus (nommés **segments** ou **extensions**).
- ② **Lecture à l'avance** : quand on lit une page, on prend également les  $n$  (typiquement  $n = 7$  ou  $n = 15$ ) suivantes dans le segment.

⇒ la taille de l'unité d'E/S dans un SGBD (buffer) est donc souvent un multiple de celle du gestionnaire de fichier sous-jacent (page).

## Parcours d'index : éviter les lectures multiples

Soit la requête suivante, en supposant un index sur Année :

```
SELECT titre
FROM Film
WHERE année IN (1956, 1934, 1992, 1997)
```

- Implantation simple : on recherche dans l'index les adresses pour chaque valeur du **IN** et on lit l'enregistrement.
- Implantation optimisée :
  - ① On recherche dans l'index **toutes** les adresses pour **toutes** les valeurs du **IN**.
  - ② On regroupe l'ensemble d'adresses par numéro de page.
  - ③ On lit les pages et on extrait les enregistrements

## Parcours d'index : regroupement d'adresses avec zone tampon

L'optimisation précédente a permis de ne pas lire deux fois la même page. **Mais** elle impose d'attendre qu'on ait lu toutes les adresses avant d'afficher le résultat.

On peut appliquer une technique intermédiaire utilisant une zone tampon  $T$  :

- ① On lit les adresses et on les place (triées) dans  $T$ .
- ② Dès qu'il faut fournir une donnée, ou que  $T$  est plein, on lit la page la plus référencée.

Cette technique peut être utilisée pour des jointures.

## Évaluation d'un tri

Le tri est une opération fréquente. On l'utilise par exemple :

- ① Pour afficher des données ordonnées (clause ORDER BY).
- ② Pour éliminer des doublons ou faire des agrégats.
- ③ Pour certains algorithmes de jointure (tri-fusion).

L'algorithme utilisé dans les SGBD est le **tri par fusion** (*MERGE SORT*).

## Techniques d'accès : gestion d'un buffer

Problème très complexe : essayer de conserver en mémoire une page susceptible d'être réutilisée "prochainement".

Le programme exécutant la requête ne demande pas lui-même la lecture, mais s'adresse au *buffer manager* du SGBD. Les concepts essentiels sont :

- ① **Page statique** : la page reste en mémoire jusqu'à ce qu'on demande au *buffer manager* de la libérer.
- ② **Page volatile** : la page est à la disposition du *buffer manager*.

## Rappels sur l'algorithme de tri-fusion

On applique la stratégie dite "diviser pour régner". Elle consiste à :

- ① **Diviser** récursivement de problème jusqu'à obtenir des sous-problèmes trivialement résolubles.
- ② **Fusionner** récursivement les solutions des sous-problèmes.

NB : quand on peut faire le tri en mémoire centrale, on utilise plutôt le **tri rapide** (*Quicksort*).

## Fusion de deux tables triées

Soit deux tables  $R$  et  $S$  triées sur les attributs  $A$  et  $B$  respectivement. On les fusionne en effectuant un parcours parallèle (comme dans la jointure par tri-fusion).

Algorithme Fusionner( $R,S$ )

```

begin
  x := premier n-uplet de R; y := premier n-uplet de S
  while il reste un n-uplet dans R ou dans S
    if x.A < x.B then
      Ecrire x; x := n-uplet suivant de R
    else
      Ecrire y; y := n-uplet suivant de S
  end

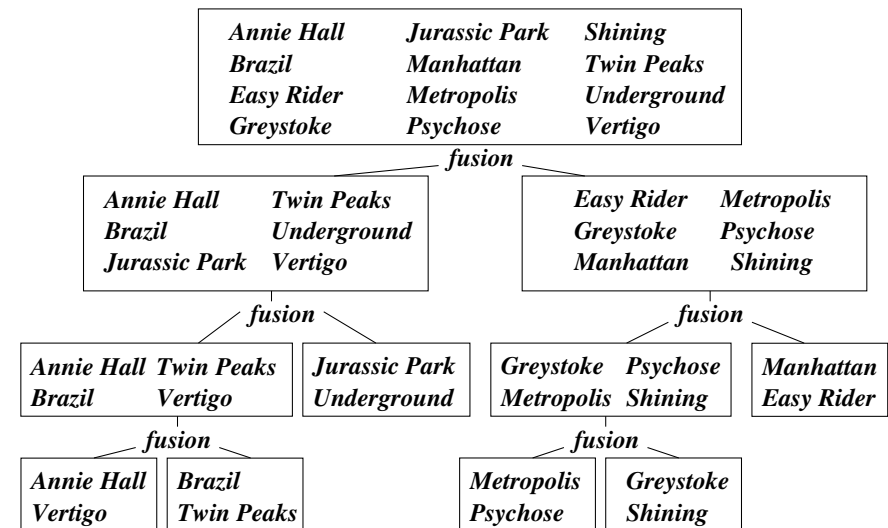
```

## Tri-fusion dans un contexte SGBD

Dans un contexte SGBD, on fixe les paramètres du tri-fusion de la manière suivante :

- ① On s'arrête de diviser quand on peut trier en mémoire centrale. Donc la taille  $M$  de la mémoire disponible détermine la taille des sous-problème triviaux.
- ② Dans la phase de fusion, le facteur de division est  $F = (M/B) - 1$  où  $B$  est la taille d'un buffer (page) de lecture/écriture. On a  $F$  buffers en lecture et 1 en écriture.

## Exemple de tri-fusion sur le fichier des films



## Algorithme de tri-fusion (externe) dans un SGBD

Soit  $M$  la mémoire disponible,  $B$  la taille d'un buffer de lecture/écriture et  $E$  la taille du fichier d'entrée.

Etape 0:

- Lire récursivement le fichier d'entrée en segments de taille  $T \leq M$ .
- Trier chaque segment en mémoire central avec *Quicksort*.
- Ecrire chaque segment trié sur disque après.

On obtient  $S_0 = \lceil E/M \rceil$  segments triés.

## Algorithme de tri-fusion (externe) dans un SGBD

Etape  $i > 0$ :

- On fusionne  $F = \lfloor (M/B) - 1 \rfloor$  ségments triés simultanément ( $M/B$  = nombre de buffers).
- On obtient  $S_i = S_{i-1}/F$  ségments triés sur disque.

Il y a  $L = \log_F(S_0)$  étapes de fusion.

## Coût d'une opération de tri

L'analyse donne :

- 1 L'étape 0 consiste en une lecture **et** une écriture de tous les n-uplets du fichier.
- 2 Chaque étape de fusion consiste en une lecture **et** une écriture de tous les n-uplets du fichier.

D'où un coût global de  $2 \times E \times L$ .

Avec : E la taille du fichier, M la mémoire centrale, B le buffer et

$$L = \log_{\lfloor (M/B) - 1 \rfloor}(\lceil E/M \rceil)$$

NB : ce type de formule est utilisé dans un modèle de coût.

## Exemple

Supposons qu'un article de *Films* occupe  $8KO$ . Le fichier de 12 films occupe  $E = 96KO$ . On dispose de  $M = 16KO$  en mémoire et un buffer est de taille  $B = 4KO$ . Donc il y a au maximum 4 buffers :

- 1 L'étape 0 génère 6 ségments triés de taille  $T = 16KO$ .
- 2 Pour les étapes suivantes on dispose de  $F = (16/4) - 1 = 3$  buffers en lecture. Donc on obtient le résultat final après deux étapes de fusion et l'étape 0.

## Plan du cours

- 8 Représentation physique des données dans Oracle
- 9 Optimisation - principes généraux et outils d'analyse
- 10 Concurrence et reprise après panne

## Représentation physique des données dans ORACLE depuis V7

Les principales structures physiques utilisées dans ORACLE sont :

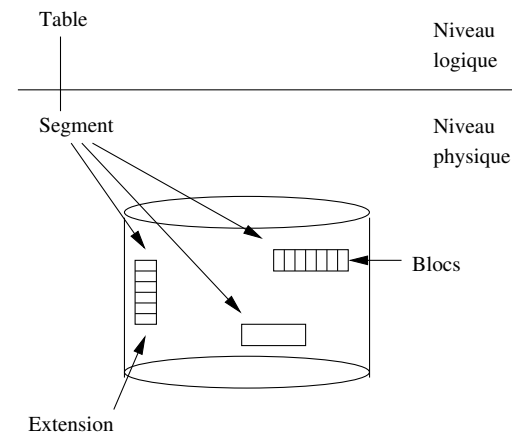
- ① Le **bloc** est l'unité physique d'E/S (entre 1KO et 8KO). La taille d'un bloc ORACLE est un multiple de la taille des blocs (pages) du système sous-jacent.
- ② L'**extension** est un ensemble de blocs *contigus* contenant un même type d'information.
- ③ Le **segment** est un ensemble d'extensions stockant un objet logique (une table, un index ...).

## Le segment ORACLE

Le segment est la zone physique contenant un objet logique. Il existe quatre types de segments :

- ① Le segment de données (pour une table ou un *cluster*).
- ② Le segment d'index.
- ③ Le *rollback segment* utilisé pour les transactions.
- ④ Le segment temporaire (utilisé pour les tris par exemple).

## Tables, segments, extensions et blocs

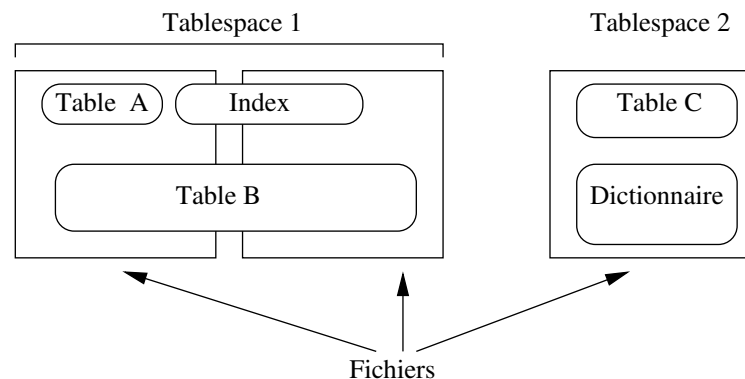


## Base ORACLE, fichiers et *TABLESPACE*

- ① **Physiquement**, une base ORACLE est un ensemble de fichiers.
- ② **Logiquement**, une base est divisée par l'administrateur en *tablespace*. Chaque *tablespace* consiste en un ou plusieurs fichiers.

La notion de *tablespace* permet :

- ① De contrôler l'emplacement physique des données. (par ex. : le dictionnaire sur un disque, les données utilisateur sur un autre).
- ② de faciliter la gestion (sauvegarde, protection, etc).



## TABLESPACE : définition

Exemple : Création d'un "tablespace" *tablespace\_2* dans le fichier *diskspace\_file2.dat* de taille 20MO :

```
CREATE TABLESPACE tablespace_2
  DATAFILE 'diskspace_file2.dat' SIZE 20M
  DEFAULT STORAGE (INITIAL 10K NEXT 50K
    MINEXTENTS 1 MAXEXTENTS 999
    PCTINCREASE 20)
  ONLINE
```

La taille de la première extension est 10KO, de la deuxième extension 50KO avec un taux de croissance de 20% pour les extensions suivantes : 60KO, 72KO, 86.4KO, ... (défaut: 50%)

## Stockage des données

Il existe deux manières de stocker une table :

- ❶ **Placement indépendant** : Les segments sont automatiquement alloués à la table. Il est possible de spécifier des paramètres pour la création d'un nouveau segment :
  - ❶ Sa taille initiale.
  - ❷ Le pourcentage d'espace libre dans chaque bloc.
  - ❸ La taille des extensions.
- ❷ **Dans un cluster**.

## CREATE TABLE

Exemple : Création d'une table *salgrade* dans le tablespace *tablespace\_2* :

```
CREATE TABLE salgrade (
  grade NUMBER PRIMARY KEY USING INDEX TABLESPACE users_a
  losal NUMBER,
  hisal NUMBER )
  TABLESPACE tablespace_2
  PCTFREE 10 PCTUSED 75
```

L'index est stocké dans le "tablespace" *users\_a*. Pour les données, 10% dans chaque bloc sont réservés pour les mise-à-jours. On insère des n-uplets dans un bloc si l'espace occupé descend en dessous de 75%.

## Stockage des n-uplets

En règle générale un n-uplet est stocké dans un seul bloc. L'adresse physique d'un n-uplet est le *ROWID* qui se décompose en trois parties :

- ① Le numéro du n-uplet dans la page disque.
- ② Le numéro de la page, relatif au **fichier** dans lequel se trouve le n-uplet.
- ③ Le numéro du fichier.

Exemple :  $\overbrace{00000DD5}^{bloc} . \overbrace{000}^{row} . \overbrace{001}^{file}$  est l'adresse du premier n-uplet de la page DD5 dans le premier fichier.

## Les index ORACLE

On peut créer des index sur tout attribut (ou tout ensemble d'attributs) d'une table. ORACLE utilise l'arbre B+.

- ① Les noeuds contiennent les valeurs de l'attribut (ou des attributs) clé(s).
- ② Les feuilles contiennent chaque valeur indexée et le *ROWID* correspondant.

Un index est stocké dans un segment qui lui est propre. On peut le placer par exemple sur un autre disque que celui contenant la table.

## Structures de données pour l'optimisation

ORACLE propose trois structures pour l'optimisation de requêtes :

- ① Les index.
- ② Les "regroupements" de tables (ou *cluster*).
- ③ Le hachage.

## Les *clusters*

Le *cluster* (regroupement) est une structure permettant d'optimiser les jointures. Par exemple, pour les tables *CINEMA* et *SALLE* qui sont fréquemment jointes sur l'attribut *ID – Cinema* :

- ① On groupe les n-uplets de *CINEMA* et de *SALLE* ayant même valeur pour l'attribut *ID – cinema*.
- ② On stocke ces groupes de n-uplets dans les pages d'un segment spécial de type *cluster*.
- ③ On crée un index sur *ID – cinema*.



**Clé de regroupement  
(ID-cinéma)**

1209	<b>Nom-cinéma</b> Le Rex	<b>Adresse</b> 2 Bd Italiens	
	<b>ID-salle</b>	<b>Nom-salle</b>	<b>Capacité</b>
	1098	Grande Salle	450
	298	Salle 2	200
	198	Salle 3	120
1210	<b>Nom-cinéma</b> Kino	<b>Adresse</b> 243 Bd Raspail	
	<b>ID-salle</b>	<b>Nom-salle</b>	<b>Capacité</b>
	980	Salle 1	340
	...	...	...

## CREATE TABLE

On fait référence au *cluster* pendant la création des tables :

```
CREATE TABLE Cinema (
  id-cinema NUMBER(10) PRIMARY KEY,
  nom-cinema VARCHAR(32), adresse VARCHAR(64))
CLUSTER cluster-cinéma(id-cinema);
```

```
CREATE TABLE Salle (
  id-cinema NUMBER(10),
  id-salle NUMBER(3),
  nom-salle VARCHAR(32), capacite NUMBER)
CLUSTER cluster-cinéma(id-cinema);
```

## CREATE CLUSTER (index cluster)

On définit un *index cluster* décrivant les caractéristiques physiques de la table :

```
CREATE CLUSTER cluster-cinema (ID-cinéma NUMBER(10))
  SIZE 2K
  INDEX
  STORAGE (INITIAL 100K NEXT 50K)
```

*SIZE* est la taille de toutes les données pour une clé donnée.  
Il faut explicitement créer un index pour le cluster :

```
CREATE INDEX ind_cin ON CLUSTER cluster-cinema
```

## Le hachage (hash cluster)

On définit un *hash cluster* décrivant les caractéristiques physiques de la table :

```
CREATE CLUSTER hash-cinéma (ID-cinéma NUMBER(10))
  HASH IS ID-cinéma HASHKEYS 1000 SIZE 2K
```

*HASH IS* (optionnel) spécifie la clé à hacher.  
*HASHKEYS* est le nombre de valeurs de la clé de hachage.  
*SIZE* est la taille des données pour une clé donnée (taille d'un n-uplet si la clé de hachage est la clé de la table). ORACLE détermine le nombre de pages allouées, ainsi que la fonction de hachage. On fait référence au *hash cluster* en créant une table.

## Plan du cours

- 8 Representation physique des données dans Oracle
- 9 Optimisation - principes généraux et outils d'analyse
- 10 Concurrency et reprise après panne

## Estimation du coût d'un plan d'exécution

Beaucoup de paramètres entrent dans l'estimation du coût :

- 1 Les chemins d'accès disponibles.
- 2 Les opérations physiques de traitement des résultats intermédiaires.
- 3 Des statistiques sur les tables concernées (taille, sélectivité). Les statistiques sont calculées par appel explicite à l'outil ANALYSE.
- 4 Les ressources disponibles.

## L'optimiseur

L'optimiseur ORACLE suit une approche classique :

- 1 Génération de plusieurs plans d'exécution.
- 2 Estimation du coût de chaque plan généré.
- 3 Choix du meilleur et exécution.

## Les chemins d'accès

- 1 **Parcours séquentiel** (*FULL TABLE SCAN*).
- 2 **Par adresse** (*ACCESS BY ROWID*).
- 3 **Parcours de regroupement** (*CLUSTER SCAN*). On récupère alors dans une même lecture les n-uplets des 2 tables du *cluster*.
- 4 **Recherche par hachage** (*HASH SCAN*).
- 5 **Parcours d'index** (*INDEX SCAN*).

## Opérations physiques

Voici les principales :

- ① **INTERSECTION** : intersection de deux ensembles de n-uplets.
- ② **CONCATENATION** : union de deux ensembles.
- ③ **ACCESS** : élimination de n-uplets (Sélection/Restriction en algèbre relationnelle).
- ④ **SELECT STATEMENT** : opération de Projection de l'algèbre relationnelle.

D'autres opérations sont liées aux algorithmes de jointure.

## L'outil EXPLAIN

L'outil EXPLAIN donne le plan d'exécution d'une requête. La description comprend :

- ① Le chemin d'accès utilisé.
- ② Les opérations physiques (tri, fusion, intersection, ...).
- ③ L'ordre des opérations. Il est représentable par un arbre.

## Algorithmes de jointure sous ORACLE

ORACLE utilise cinq algorithmes de jointure :

- ① **boucles imbriquées** quand il y a au moins un index ou peu de mémoire.  
Opération *NESTED LOOP*.
- ② **Tri/fusion** quand il n'y a pas d'index et une mémoire convenable.  
Opération *SORT* et *MERGE*.
- ③ **hachage** quand il y a des partitionnements.  
Opération *HASH JOIN*.
- ④ **Cluster de jointure**, on fait *CLUSTER JOIN* une recherche avec l'index du *cluster*, puis un accès au *cluster* lui-même.
- ⑤ **bitmap** quand il y a un index bitmap ou beaucoup de mémoire centrale.  
Opération *BITMAP CONVERSION* et *BITMAP JOIN* (cf UE NFE106)

## EXPLAIN par l'exemple : schéma de la base

CINEMA	SALLE	FILM
(ID-cinéma*, Nom, Adresse);	(ID-salle*, Nom, Capacité+, ID-cinéma+);	(ID-film, Titre, Année, ID-réalisateur+)
SEANCE (ID-séance*, Heure-début, Heure-fin, ID-salle+,ID-film	ARTISTE (ID-artiste*, Nom, Date-naissance)	

Attributs avec une \* : index unique.

Attributs avec une + : index non unique.

## Interprétation d'une requête par EXPLAIN

Reprenons l'exemple : Quels films passent aux Rex à 20 heures ?

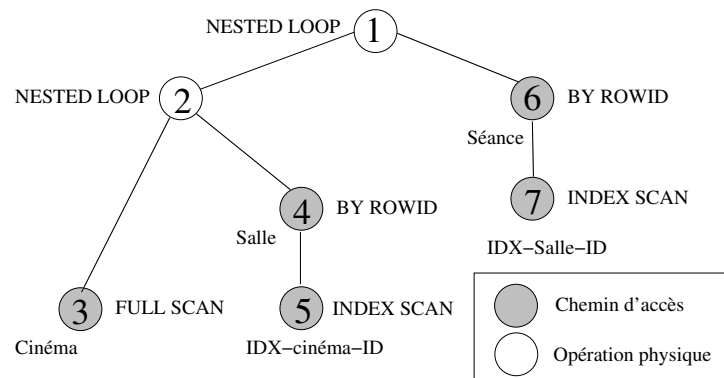
```
EXPLAIN PLAN SET statement-id = 'cin'
FOR   SELECT ID-film
      FROM   Cinéma, Salle, Séance
      WHERE  Cinéma.ID-cinéma = Salle.ID-cinéma
      AND    Salle.ID-salle = Séance.ID-salle
      AND    Cinéma.nom = 'Le Rex'
      AND    Séance.heure-début = '20H'
```

## Plan d'exécution donné par EXPLAIN

```
0 SELECT STATEMENT
  1 NESTED LOOP
    2 NESTED LOOPS
      * 3 TABLE ACCESS FULL          CINEMA
        4 TABLE ACCESS BY ROWID     SALLE
          5 INDEX RANGE SCAN          IDX-SALLE_IDCINEMA
      * 6 TABLE ACCESS BY ROWID     SEANCE
        7 INDEX RANGE SCAN          IDX-SEANCE_IDSALLE

3 - access("nom"='Le Rex')
6 - access("heure-début"='20H')
```

## Représentation arborescente du plan d'exécution



## Quelques remarques sur EXPLAIN

EXPLAIN utilise un ensemble de primitives que nous avons appelé "algèbre physique" : des opérations comme le tri n'existent pas au niveau relationnel. D'autres opérations de l'algèbre relationnelle sont regroupées en une seule opération physique.

- Par exemple, la sélection sur l'horaire des séances est effectuée en même temps que la recherche par ROWID (étape 6).

## Exemple : sélection sans index

```
SELECT * FROM cinéma WHERE nom = 'Le Rex'
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
* 1 TABLE ACCESS FULL      CINEMA

1 - access("nom"='Le Rex')
```

## Sélection conjonctive avec un index

```
SELECT capacité FROM Salle
WHERE ID-cinéma =187 AND nom = 'Salle 1'
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
* 1 TABLE ACCESS BY ROWID    SALLE
* 2 INDEX RANGE SCAN          IDX-SALLE_IDCINEMA

1 - access("nom"='Salle 1')
2 - access("ID-cinéma"=187)
```

## Sélection avec index

```
SELECT * FROM cinéma WHERE ID-cinéma = 1908
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 TABLE ACCESS BY ROWID    CINEMA
* 2 INDEX UNIQUE SCAN         IDX-CINEMA_IDCINEMA

2 - access("ID-cinéma"=1908)
```

## Sélection conjonctive avec deux index

```
SELECT nom FROM Salle
WHERE ID-cinéma = 1908 AND capacité = 150
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 TABLE ACCESS BY ROWID    SALLE
  2 AND-EQUAL
* 3 INDEX RANGE SCAN          IDX-SALLE_IDCINEMA
* 4 INDEX RANGE SCAN          IDX-SALLE_CAPACITE

3 - access("ID-cinéma"=1908)
4 - access("capacité"=150)
```

## Sélection disjonctive avec index

```
SELECT nom FROM Salle
WHERE ID-cinéma = 1098 OR capacité > 150
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 CONCATENATION
    2 TABLE ACCESS BY ROWID  SALLE
    *   3 INDEX RANGE SCAN    IDX-SALLE_CAPACITE
    *   4 TABLE ACCESS BY ROWID  SALLE
    *   5 INDEX RANGE SCAN    IDX-SALLE_IDCINEMA

3 - access("capacité">150)
4 - filter(LNNVL("annee">2000))      (LNNVL : correspond à la
5 - access("ID-cinéma"=1908)
```

## Jointure avec index

```
SELECT Cinéma.nom,capacité FROM cinéma, salle
WHERE Cinéma.ID-cinéma = salle.ID-cinéma
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 NESTED LOOPS
    2 TABLE ACCESS FULL      SALLE
    3 TABLE ACCESS BY ROWID  CINEMA
      4 INDEX UNIQUE SCAN    IDX-CINEMA_IDCINEMA
```

## Sélection disjonctive avec et sans index

```
SELECT nom FROM Salle
WHERE ID-cinema = 1098 OR nom = 'Salle 1'
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
* 1 TABLE ACCESS FULL      SALLE

1 - access("ID-cinéma"=1908 OR "nom"='Salle 1')
```

## Jointure et sélection avec index

```
SELECT Cinéma.nom,capacité FROM Cinéma, Salle
WHERE Cinema.ID-cinéma = salle.ID-cinéma
AND capacité > 150
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 NESTED LOOPS
    2 TABLE ACCESS BY ROWID  SALLE
    *   3 INDEX RANGE SCAN    IDX-SALLE_CAPACITE
    4 TABLE ACCESS BY ROWID  CINEMA
      5 INDEX UNIQUE SCAN    IDX-CINEMA_IDCINEMA

3 - access("Capacité">150)
```

## Jointure sans index

```
SELECT titre
FROM Film, Séance
WHERE Film.ID-film = Séance.ID-film
AND heure-début = '14H00'
```

Plan d'exécution :

```
0 SELECT STATEMENT
  1 MERGE JOIN
    2 SORT JOIN
      * 3 TABLE ACCESS FULL SEANCE
        4 SORT JOIN
          5 TABLE ACCESS FULL FILM

3 - access("heure-début"='14H00')
```

## Plan d'exécution donné par EXPLAIN

```
0 SELECT STATEMENT
  * 1 FILTER
    2 TABLE ACCESS FULL CINEMA
    3 NESTED LOOPS
      4 TABLE ACCESS BY ROWID SALLE
        5 INDEX RANGE SCAN IDX-SALLE_IDCINEMA
      * 6 TABLE ACCESS BY ROWID SEANCE
        7 INDEX RANGE SCAN IDX-SEANCE_IDSALLE

1 - filter(LNNVL(SALLE.IDCINEMA))
6 - access("heure-fin">'23H00')
```

## Différence

Dans quel cinéma ne peut-on voir de film après 23H ?

```
SELECT Cinéma.nom
FROM Cinéma
WHERE NOT EXISTS (SELECT * FROM séance, Salle
                  WHERE Cinéma.ID-cinéma = Salle.ID-cinéma
                  AND Salle.ID-salle = Séance.ID-salle
                  AND heure-fin > '23H00')
```

## Plan du cours

- 8 Representation physique des données dans Oracle
- 9 Optimisation - principes généraux et outils d'analyse
- 10 Concurrence et reprise après panne

# 1. La notion de transaction

## Modèle de base de données

- BD centralisée, accès concurrent de plusieurs programmes
- modèle simplifié
  - BD = ensemble d'*enregistrements* nommés  
Ex.    **x**: 3 ;    **y**: "Toto" ;    **z**: 3.14 ...
  - *opérations* sur les enregistrements: lecture, écriture, création

Exemple: programme de crédit d'un compte bancaire

**Crédit** (*Enreg* compte; *Val* montant)

*Val* temp;

begin *Start*;

    temp = *Read*(compte);

*Write*(compte, temp+montant);

*Commit*;

end;

- les entrées du programme: le compte (enregistrement) et le montant du crédit (valeur)
- l'exécution du programme → transaction
- plusieurs exécutions concurrentes du même programme possibles

## Programmes et transactions

- exécution d'un programme accédant à la BD → séquence d'opérations sur les enregistrements
- opérations : lecture (*val=Read(x)*), écriture (*Write(x, val)*)
- découpage en *transactions*

## Transaction

- opérations de contrôle de transaction : *Start* (démarrage), *Commit* (validation), *Abort* (annulation)
- transaction = séquence d'opérations qui démarre par *Start* et se termine par *Commit* ou par *Abort*
- cohérence logique (maxi-opération), unité d'annulation

Exemple: transfert entre deux comptes

**Transfert** (*Enreg* source, dest; *Val* montant)

*Val* temp;

begin *Start*;

    temp = *Read*(source);

    if temp < montant then *Abort*;

    else *Write*(source, temp-montant);

        temp = *Read*(dest);

*Write*(dest, temp+montant); *Commit*;

    end if;

end;

- l'exécution peut produire des transactions différentes:
  1. *Start*, *Read*(source), *Abort*
  2. *Start*, *Read*(source), *Write*(source), *Read*(dest), *Write*(dest), *Commit*



## Mise-à-jour de la BD

Deux variantes:

- *immédiate*: modification immédiate de la BD, visible par les autres transactions
- *différée*: chaque transaction travaille sur des copies, avec mise-à-jour de la BD à la fin de la transaction

Hypothèse: mise-à-jour immédiate

Isolation: une transaction ne voit pas les effets des autres transactions en cours d'exécution

- la transaction s'exécute comme si elle était seule
- objectif: exécution concurrente des transactions équivalente à une exécution en série (non-concurrente)

Durabilité: les effets d'une transaction validée par Commit sont permanents

- on ne doit pas annuler une transaction validée

## Propriétés des transactions (ACID)

Atomicité: une transaction doit s'exécuter en totalité, une exécution partielle est inacceptable

- une transaction interrompue doit être annulée (Abort)

Cohérence: respect des contraintes d'intégrité sur les données

- $\text{solde}(\text{compte}) \geq 0$ ;  $\text{solde}(\text{source}) + \text{solde}(\text{dest}) = \text{const}$
- une transaction modifie la BD d'un état initial cohérent à un état final cohérent
- pendant la transaction, l'état peut être incohérent!

## Concurrence

- plusieurs transactions s'exécutent en même temps
- le système exécute les opérations en séquence!
- concurrence = entrelacement des opérations de plusieurs transactions

### Notation

- transaction  $T_i$  = séquence d'opérations
- opérations  $r_i[x]$ ,  $w_i[x]$ ,  $a_i$ ,  $c_i$
- remarque: les valeurs lues ou écrites ne comptent pas ici!
- la séquence se termine par  $a_i$  ou  $c_i$ , qui n'apparaissent jamais ensemble

Exemple :

$T_1$ :  $r_1[x]$   $w_1[x]$   $c_1$  (crédit)

$T_2$ :  $r_2[x]$   $w_2[x]$   $r_2[y]$   $w_2[y]$   $c_2$  (transfert)

$T_3$ :  $r_3[x]$   $a_3$  (transfert impossible)

### Exécution concurrente (histoire)

- séquence d'opérations de plusieurs transactions
- entrelacement des opérations des transactions
- histoire complète: les transactions sont entières

Exemple :

$H_1$ :  $r_1[x]$   $r_2[x]$   $w_2[x]$   $r_2[y]$   $w_1[x]$   $w_2[y]$   $c_2$   $c_1$  (crédit + transfert, histoire complète)

$H_2$ :  $r_1[x]$   $r_2[x]$   $w_2[x]$   $r_2[y]$  (histoire incomplète)

## 2. Contrôle de concurrence

### Objectifs

- concurrence = entrelacement des opérations des transactions
- concurrence parfaite: toute opération est exécutée dès son arrivée dans le système
- problème: tout entrelacement n'est pas acceptable
- objectif: exécution correcte en respectant les propriétés ACID

### Problèmes de concurrence

#### 1. Perte d'une mise à jour

Ex.  $T_1$ :  $Crédit(x, 100) = r_1[x]$   $w_1[x]$   $c_1$   $T_2$ :  $Crédit(x, 50) = r_2[x]$   $w_2[x]$   $c_2$   
au début,  $x=200$

- $H = \underline{r_1[x]_{x:200}}$   $\underline{r_2[x]_{x:200}}$   $\underline{w_1[x]_{x:300}}$   $\underline{w_2[x]_{x:250}}$   $\underline{c_1}$   $c_2$
- Résultat:  $x=250$  au lieu de  $x=350$  ( $w_1[x]$  est perdu car la lecture dans  $T_2$  n'en tient pas compte)
- Problème de cohérence à cause d'une **lecture non-répétable**
- Une fois une donnée lue, une transaction devrait retrouver la même valeur plus tard
- Ici  $T_2$  lit  $x=200$ , mais après  $w_1[x]$ ,  $x$  devient 300

## 2. Dépendances non-validées

Ex. Les mêmes transactions, mais  $T_1$  est annulée

- $H = \underline{r_1[x]_{x:200}} \underline{w_1[x]_{x:300}} r_2[x]_{x:300} w_2[x]_{x:350} c_2 \underline{a_1}$
- $r_2[x]$  utilise la valeur non-validée de  $x$  écrite par  $w_1[x]$
- L'annulation de  $T_1$  impose l'annulation de  $T_2$ , qui est validée!
- Problème de durabilité à cause de la **lecture d'une valeur non-validée** ("lecture sale")

## 4. Objets fantômes

- similaire à l'analyse incohérente, mais produit par la création/suppression d'enregistrements (**objets fantômes**)
- traité plus loin dans le cours

## 5. Ecritures incohérentes

Ex. Ecriture d'un même solde dans deux comptes

$T_1$  = écriture de 100 dans  $x$  et  $y$ ;  $T_2$  = écriture de 200 dans  $x$  et  $y$

- $T_1 = w_1[x] w_1[y] c_1$ ;  $T_2 = w_2[x] w_2[y] c_2$
- $H = \underline{w_1[x]_{x:100}} w_2[x]_{x:200} w_2[y]_{y:200} \underline{w_1[y]_{y:100}} \underline{c_1} c_2$
- Résultat:  $x \neq y$  ! ( $x = 200, y = 100$ )
- Problème de cohérence à cause de l'**écriture sur des données non-validées**

## 3. Analyse incohérente

Ex.  $T_1$  = transfert  $x \rightarrow y$  de 50;  $T_2$  = calcul dans  $z$  de la somme  $x + y$  au début,  $x=200, y=100$

- $T_1 = r_1[x] w_1[x] r_1[y] w_1[y] c_1$ ;  $T_2 = r_2[z] r_2[y] w_2[z] c_2$
- $H = \underline{r_1[x]_{x:200}} \underline{w_1[x]_{x:150}} r_2[x]_{x:150} r_2[y]_{y:100} w_2[z]_{z:250} c_2 \underline{r_1[y]_{y:100}} \underline{w_1[y]_{y:150}} \underline{c_1}$
- Résultat:  $z=250$  au lieu de  $z=300$  ( $r_2[x]$  est influencé par  $T_1$ , mais  $r_2[y]$  non)
- Problème de cohérence à cause de la **lecture d'une valeur non-validée** ("lecture sale")

## Contrôle de concurrence

- *solution*: algorithmes de réordonnancement des opérations
- critère de correction utilisé: *exécution sérialisable* (équivalente à une exécution en série *quelconque* des transactions)

### Remarques

- réordonner  $\Rightarrow$  retarder certaines opérations
- objectif : un maximum de concurrence, donc un minimum de retards
- *l'ordre des opérations dans chaque transaction doit être respecté !*

### 3. Le problème des annulations

Annuler dans la BD les effets d'une transaction  $T \iff$

- annuler les effets de  $T$  (les écritures)
- annuler les transactions qui utilisent les écritures de  $T$  (dépendances non-validées)

*Conclusion:* une transaction validée risque encore d'être annulée

Types d'exécutions concurrentes par rapport à l'annulation

- exécution recouvrable
- exécution qui évite les annulations en cascade
- exécution stricte

#### Éviter les annulations en cascade

- exemple précédent: même si  $c_2$  est retardé,  $T_2$  sera quand même annulée à cause de  $T_1 \rightarrow$  annulation en cascade

Ex.  $w_1[x] \ r_2[x] \ w_2[y] \ a_1$  ( $a_1$  oblige  $a_2$ )

- l'annulation d'une transaction, même non validée, est gênante
- *solution:*  $T_2$  ne doit lire qu'à partir de transactions validées

$\Rightarrow$  *retardement des lectures*

(dans l'exemple, retardement de  $r_2[x]$  après la fin de  $T_1$ )

**Exécution recouvrable** = permet de ne pas avoir à annuler une transaction validée

Ex.  $w_1[x] \ r_2[x] \ w_2[y] \ c_2 \ a_1$  ( $a_1$  oblige l'annulation de  $T_2$ , qui est validée)

Définitions:

- $T_2$  lit  $x$  de  $T_1$ :  $T_2$  lit la valeur écrite par  $T_1$  dans  $x$
- $T_2$  lit de  $T_1$ :  $T_2$  lit au moins un enregistrement de  $T_1$

*Solution:* si  $T_2$  lit de  $T_1$ , alors  $T_2$  doit valider après  $T_1$

$\Rightarrow$  *retardement des Commit*

(dans l'exemple, retardement de  $c_2$  après la fin de  $T_1$ )

#### Exécution stricte

= évite les annulations en cascade + annulation simple des écritures

- l'annulation des écritures: par restauration des images avant
- image avant de  $x$  par rapport à  $w[x]$  = valeur de  $x$  avant l'écriture

*Problèmes de restauration des images avant*

Ex.  $w_1[x, 2] \ w_2[x, 3] \ a_1 \ a_2$  (au début  $x=1$ )

image avant( $w_1[x]$ )=1, image avant( $w_2[x]$ )=2

$a_1$  restaure  $x=1$  : erreur, ne tient pas compte de  $w_2[x, 3]$

$a_2$  restaure  $x=2$  : erreur, cette valeur est déjà annulée

- *solution:*  $w_2[x]$  attend la fin de tout  $T_i$  qui a écrit  $x$

$\Rightarrow$  *retardement lectures + écritures*

(dans l'exemple, retardement de  $w_2[x]$  après la fin de  $T_1$ )

## 4. Tolérance aux pannes

Mémoire SGBD = Mémoire stable (disque) + Mémoire volatile

### Catégories de pannes

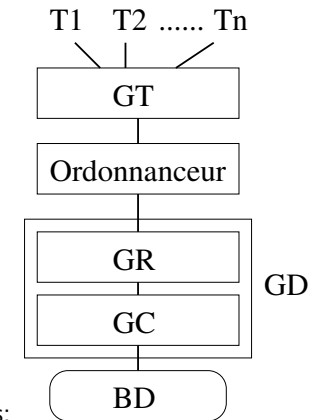
- **de transaction:** annulation de la transaction
- **de système:** perte du contenu de la mémoire volatile
  - opération *Restart*: restaurer l'état cohérent de la BD avant la panne
  - journalisation
- **de support physique:** perte contenu mémoire stable
  - duplication par mirroring, archivage

### Composantes

- **Gestionnaire de transactions (GT):** reçoit les transactions et les prépare pour exécution
- **Ordonnanceur (Scheduler):** contrôle l'ordre d'exécution des opérations (séquences sérialisables et recouvrables)
- **Gestionnaire de reprise (GR):** Commit + Abort
- **Gestionnaire du Cache (GC):** gestion de la mémoire volatile et de la mémoire stable

GR + GC = GD (**Gestionnaire de données**): assure la tolérance aux pannes

## 5. Modèle abstrait de la BD



BD centralisée, transactions concurrentes:

## 1. Théorie de la sérialisabilité

### Objectif du contrôle de concurrence

= produire une exécution *sérialisable* des transactions

Exécution sérialisable : équivalente à une exécution en série *quelconque* des transactions

### Exécution en série

- transactions exécutées l'une après l'autre (aucun entrelacement)

Ex. au début  $x=200$ ;  $T_1 = \text{crédit } x \text{ de } 100$ ;  $T_2 = \text{crédit } x \text{ de } 50$

$H_1 = T_1 T_2 = r_1[x]_{x:200} w_1[x]_{x:300} c_1 r_2[x]_{x:300} w_2[x]_{x:350} c_2$

$H_2 = T_2 T_1 = r_2[x]_{x:200} w_2[x]_{x:250} c_2 r_1[x]_{x:250} w_1[x]_{x:350} c_1$

### Équivalence de deux exécutions (histoires)

1. Avoir les mêmes transactions et les mêmes opérations
2. Produire le même effet sur la BD (écritures)
3. Produire le même effet dans les transactions (lectures)

Ex.  $H_1 \not\equiv H_2$  (conditions 1 et 2 respectées, mais pas 3)

### Conflit

Def.  $p_i[x]$  et  $q_j[y]$  sont en conflit  $\iff$

- $i \neq j$ ,  $x=y$  (transactions différentes, même enregistrement)
- $p_i[x] q_j[x]$  n'a pas le même effet que  $q_j[x] p_i[x]$

### Remarques

- conflit = l'inverse de la commutativité
- commutativité = même effet sur la BD et sur les transactions
- conflits:  $w_i[x]-w_j[x]$ ,  $r_i[x]-w_j[x]$ ,  $w_i[x]-r_j[x]$
- seul le couple  $r_i[x]-r_j[x]$  n'est pas en conflit

### Critère d'équivalence basé sur les conflits

- Avoir les mêmes transactions et les mêmes opérations
- Avoir le même ordre des opérations conflictuelles dans les transactions non-annulées

Ce dernier critère:

- couvre les conditions 2 et 3 de la définition
- est plus strict, mais plus facile à vérifier que 2 et 3

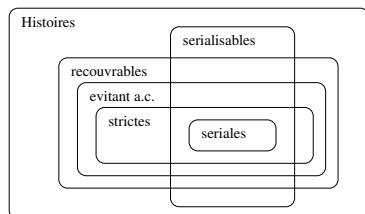
Ex.  $H_1 \not\equiv H_2$  ( $H_1: r_1[x] - w_2[x]$ ;  $H_2: w_2[x] - r_1[x]$ )

**Exemple**
 $T_1: r_1[x] \ w_1[y] \ w_1[x] \ c_1 \quad T_2: w_2[x] \ r_2[y] \ w_2[y] \ c_2$ 
 $H_1: \underline{r_1[x]} \ \underline{w_2[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{r_2[y]} \ \underline{w_1[x]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{c_1} \ \underline{c_2}$   
*conflicts:*  $r_1[x] - w_2[x], w_2[x] - w_1[x], w_1[y] - r_2[y], w_1[y] - w_2[y]$ 
 $H_2: \underline{r_1[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{w_2[x]} \ \underline{w_1[x]} \ \underline{c_1} \ \underline{r_2[y]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{c_2}$   
*conflicts:*  $r_1[x] - w_2[x], w_2[x] - w_1[x], w_1[y] - r_2[y], w_1[y] - w_2[y]$   
 $\Rightarrow H_2 \equiv H_1$ 
 $H_3: w_2[x] \ r_2[y] \ \underline{r_1[x]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{c_2} \ \underline{w_1[x]} \ \underline{c_1}$   
*conflicts:*  $w_2[x] - r_1[x], w_2[x] - w_1[x], r_2[y] - w_1[y], w_2[y] - w_1[y]$   
 $\Rightarrow H_3 \neq H_1$ 
 $H_4: w_2[x] \ r_2[y] \ w_2[y] \ c_2 \ \underline{r_1[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{w_1[x]} \ \underline{c_1}$  (histoire sériale)  
*conflicts:*  $w_2[x] - r_1[x], w_2[x] - w_1[x], r_2[y] - w_1[y], w_2[y] - w_1[y]$   
 $\Rightarrow H_4 \equiv H_3 \Rightarrow H_3$  sérialisable
**Théorème de sérialisabilité****Graphes de sérialisation** d'une exécution H: SG(H)

- *noeuds*: transactions  $T_i$  validées dans H
- *arcs*: si  $p$  et  $q$  conflictuelles,  $p \in T_i, q \in T_j, p$  avant  $q$   
 $\Rightarrow$  arc  $T_i \rightarrow T_j$

**Théorème:** H sérialisable  $\iff$  SG(H) acyclique $H_1, H_2: T_1 \xrightarrow{\quad} T_2$  $H_3, H_4: T_1 \longleftarrow T_2$ **Propriétés de recouvrabilité**

- à tout moment une transaction peut être annulée (panne)
- propriétés: stricte  $\Rightarrow$  pas d'annulation en cascade  $\Rightarrow$  recouvrable
- la *sérialisabilité* dépend de l'ordre des opérations  
la *recouvrabilité* dépend de l'ordre des Commit/Abort  
 $\Rightarrow$  les deux propriétés sont orthogonales

**Exemple**
 $T_1: r_1[x] \ w_1[y] \ r_1[z] \ w_1[z] \ c_1 \quad T_2: r_2[x] \ w_2[y] \ r_2[z] \ w_2[z] \ c_2$ 
 $H: \underline{r_1[x]} \ \underline{r_2[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{r_1[z]} \ \underline{w_1[z]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{r_2[z]} \ \underline{w_2[z]}$   
*conflicts:*  $w_1[y] - w_2[y], r_1[z] - w_2[z], w_1[z] - r_2[z], w_1[z] - w_2[z]$   
 $\Rightarrow$  H est sérialisable pour n'importe quelle position de  $c_1$  et de  $c_2$ 
 $H_1: \underline{r_1[x]} \ \underline{r_2[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{r_1[z]} \ \underline{w_1[z]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{r_2[z]} \ \underline{w_2[z]} \ \underline{c_2} \ \underline{c_1}$   
 $H_1$  n'est pas recouvrable ( $T_2$  lit z de  $T_1$  et  $c_2$  après  $c_1$ )

 $H_2: \underline{r_1[x]} \ \underline{r_2[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{r_1[z]} \ \underline{w_1[z]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{r_2[z]} \ \underline{c_1} \ \underline{w_2[z]} \ \underline{c_2}$   
 $H_2$  n'évite pas les annulations en cascade ( $T_2$  lit z de  $T_1$  avant  $c_1$ )

 $H_3: \underline{r_1[x]} \ \underline{r_2[x]} \ \underline{w_1[y]} \ \underline{r_1[z]} \ \underline{w_1[z]} \ \underline{w_2[y]} \ \underline{c_1} \ \underline{r_2[z]} \ \underline{w_2[z]} \ \underline{c_2}$   
 $H_3$  n'est pas stricte ( $T_1$  écrit y et ensuite  $T_2$  écrit y avant  $c_1$ )

## 2. Contrôle par verrouillage à deux phases

### Remarques

- *Équivalence*: la définition basée sur les conflits est suffisante et facile à utiliser, mais pas nécessaire

Ex.  $H_1: w_1[x] w_2[x] w_3[x]$        $H_2: w_2[x] w_1[x] w_3[x]$   
 $H_1 \not\equiv H_2$  dans le sens des conflits       $H_1 \equiv H_2$  dans le sens général

- *Conflit* = l'inverse de la commutativité  
 $\Rightarrow$  extensible à d'autres opérations que Read et Write

	Read	Write	Incr	Decr
Read	oui	non	non	non
Write	non	non	non	non
Incr	non	non	oui	oui
Decr	non	non	oui	oui

### Algorithme de base

- 1) L'ordonnanceur reçoit  $p_i[x]$  et teste les sous-verrous de  $x$ 
  - si l'un des sous-verrous de  $x$  est détenu par une opération en conflit avec  $p_i[x]$ , alors  $p_i[x]$  est retardée
  - sinon, verrou accordé à  $p_i[x]$  et envoi  $p_i[x]$  au GD
- 2) Un verrou pour  $p_i[x]$  n'est jamais relâché avant la confirmation de l'exécution par le GD
- 3) Une fois un verrou pour  $T_i$  relâché,  $T_i$  n'obtiendra plus aucun verrou

### Principe

- stratégie pessimiste : retardement des opérations qui peuvent produire des problèmes de concurrence
- blocage des opérations en attente de verrous
  - verrou pour chaque enregistrement
  - chaque verrou est donné à une seule transaction à la fois
- en pratique: **verrou composé** = sous-verrou de lecture (partageable) + sous-verrou d'écriture (exclusif)

### Remarques

- règle 3  $\Rightarrow$  2 phases: accumulation et relâchement de verrous



- règle 3  $\Rightarrow$  les paires d'opérations conflictuelles de  $T_i$  et  $T_j$  s'exécutent toujours dans le même ordre
- règle 2  $\Rightarrow$  l'ordre du GD pour les opérations conflictuelles sur un enregistrement  $x$  est le même que celui de l'ordonnanceur
- la variante la plus utilisée: relâchement de tous les verrous d'une transaction juste après *Commit*
  - assure le respect des règles 2 et 3
  - on peut démontrer que cela produit *des exécutions strictes*



## Exemples

a) Non-respect de la règle de relâchement des verrous

$T_1: r_1[x] \ w_1[y] \ c_1$        $T_2: r_2[y] \ w_2[y] \ c_2$

ordre de réception:  $r_1[x] \ r_2[y] \ w_1[y] \ c_1 \ w_2[y] \ c_2$

$H_1: r_1[x] \ r_2[y] \ (ru_2[y]) \ w_1[y] \ c_1 \ (ru_1[x] \ wu_1[y]) \ w_2[y] \ c_2 \ (wu_2[y])$

- notation:  $ru_i[x]/wu_i[x]$  relâchement du verrou de lecture/écriture pour  $x$  par  $T_i$
- violation règle:  $ru_2[y]$  suivi de demande de verrou pour  $w_2[y]$
- $r_2[y] - w_1[y], w_1[y] - w_2[y] \Rightarrow H_1$  non-sérialisable

b) Exécution correcte

$H_2: r_1[x] \ r_2[y] \ w_2[y] \ c_2 \ (ru_2[y] \ wu_2[y]) \ w_1[y] \ c_1 \ (ru_1[x] \ wu_1[y])$

- $w_1[y]$  retardée en attente du verrou sur  $y$
- $r_2[y] - w_1[y], w_2[y] - w_1[y] \Rightarrow H_2$  sérialisable

c) Exécution sérialisable modifiée par le verrouillage

$H: r_2[y] \ r_1[x] \ w_2[x] \ c_2 \ w_1[z] \ c_1$

- conflits:  $r_1[x] - w_2[x] \Rightarrow H$  sérialisable, équivalente à  $T_1 T_2$
- $w_2[x]$  est bloquée,  $T_1$  ne peut pas relâcher le verrou de lecture sur  $x$ , car elle aura besoin d'un autre pour  $w_1[z]$
- Conclusion: certaines exécutions sérialisables ne sont pas acceptées telles quelles par le verrouillage à deux phases
  - le verrouillage ne profite pas de la sérialisabilité préalable des exécutions
  - cause: algorithme pessimiste

## Interblocage

### Exemple

$T_1: r_1[x] \ w_1[y] \ c_1$

$T_2: w_2[y] \ w_2[x] \ c_2$

ordre de réception:  $r_1[x] \ w_2[y] \ w_2[x] \ w_1[y]$

- $T_1$  obtient verrou pour  $r_1[x]$ ,  $T_2$  pour  $w_2[y]$
- $w_2[x]$  attend  $r_1[x]$ ,  $w_1[y]$  attend  $w_2[y]$   
 $\Rightarrow$  interblocage de  $T_1$  et de  $T_2$

### 3. Verrouillage hiérarchique

#### Stratégies pour éviter l'interblocage

- durée limite ("timeout")
  - rejet transaction non-terminée après une durée limite
  - problème: risque de rejet des transactions non-bloquées
  - paramétrage fin nécessaire pour la durée limite
- graphe d'attente
  - noeuds=transactions, arcs=attente de verrou
  - détection des cycles
  - annulation de la transaction la moins coûteuse
- risque: victime relancée et bloquée à nouveau; problème d'équité à l'annulation

#### Principes du verrouillage hiérarchique

- **verrouillage descendant**: implicite (par inclusion)
  - Ex. un verrou sur la relation est valable aussi pour chaque enregistrement, attribut, ... de la relation
- **verrouillage ascendant**: pour réaliser une opération à un niveau, on demande un *verrou d'intention* à tous les niveaux supérieurs
  - Ex. pour réaliser une écriture sur un enregistrement, on demande un verrou d'intention d'écriture sur la relation et la BD
    - obtention des verrous d'intention: descendante
    - relâchement des verrous d'intention: ascendant
- **verrouillage en escalade**: technique de choix du niveau de granularité
  - on commence par verrouiller au niveau fin (ex. enregistrement)
  - à partir d'un seuil, on passe au niveau de granularité supérieur (ex. relation)

#### Données à plusieurs niveaux de granularité

- attribut < enregistrement < relation < base de données
- chaque opération se fait au niveau approprié
- verrouillage classique: un seul niveau de granularité
  - niveau élevé: gestion allégée, car moins de verrous
  - niveau bas: moins de conflits, plus de concurrence

#### Types de verrous

- **S** (partagé, lecture), **X** (exclusif, écriture)
- **IS** (intention lecture), **IX** (intention écriture)
- **SIX** (lecture et intention d'écriture)
  - cas très fréquent: lecture relation pour modifier quelques enregistrements
  - un seul verrou qui combine les verrous **S** et **IX**

## Matrice de conflits entre verrous hiérarchiques

	X	SIX	IX	S	IS
X	o	o	o	o	o
SIX	o	o	o	o	n
IX	o	o	n	o	n
S	o	o	o	n	n
IS	o	n	n	n	n

## 4. Création/destruction d'objets

## Problème des objets fantômes

- contrôle de concurrence dans les BD dynamiques
- cas typique:  $T_1$  consulte tous les objets d'un certain type,  $T_2$  crée un objet de ce type

## Exemple

- données: relation **Compte**(*Numéro*, *Titulaire*, *Solde*)
- niveaux: relation, enregistrement
- $T_1$ : crédit du compte numéro 7 (lecture-écriture enregistrement x)  
 $T_2$ : lecture de tous les comptes (lecture relation R)  
 $T_3$ : initialisation compte 3 (écriture enregistrement y)

## Exécution par verrouillage hiérarchique

- ordre de réception:  $r_1[x]$   $r_2[R]$   $w_3[y]$   $w_1[x]$   $c_1$   $c_2$   $c_3$   
 $r_1[x]$ : obtention IS(R) et ensuite S(x)  
 $r_2[R]$ : obtention S(R) - pas de conflit avec IS(R)  
 $w_3[y]$ : ne peut pas obtenir IX(R) à cause de S(R) → bloquée  
 $w_1[x]$ : ne peut pas obtenir IX(R) à cause de S(R) → bloquée  
 $c_1$  bloquée car  $T_1(w_1[x])$  bloquée  
 $c_2$  s'exécute, S(R) relâché → opérations débloquées:  
 $w_3[y]$  obtient IX(R) (pas de conflit avec IS(R)), puis X(y)  
 $w_1[x]$  obtient IX(R) (pas de conflit avec IS(R), IX(R)), puis X(x)  
 $c_1$  s'exécute  
 $c_3$  s'exécute

## Exemple

- Relations **Compte**(*Numéro*, *Titulaire*, *Solde*) de comptes et **Total**(*Titulaire*, *Cumul*) de totaux par titulaire
- $T_1$ : compare la somme des comptes de "Dupont" avec le total pour "Dupont"  
 $T_2$ : ajoute un compte pour "Dupont" et met à jour le total

$Read_1(Compte[5],Compte[8],Compte[14])$	100,300,600
$Insert_2(Compte[10,"Dupont", 500])$	
$Read_2(Total["Dupont"])$	1000
$Write_2(Total["Dupont"])$	1500
$Read_1(Total["Dupont"])$	1500

Compatible avec le verrouillage à 2 phases, mais non-sérialisable!

## Solution

- pour consulter tous les objets d'un type: *info de contrôle* pour cet ensemble d'objets
- *verrouillage au niveau de l'info de contrôle*
- on traite l'ensemble comme un objet à part
  - parcours = lecture ensemble
  - insertion/suppression = écriture ensemble

## 1. Problématique

### Hypothèses

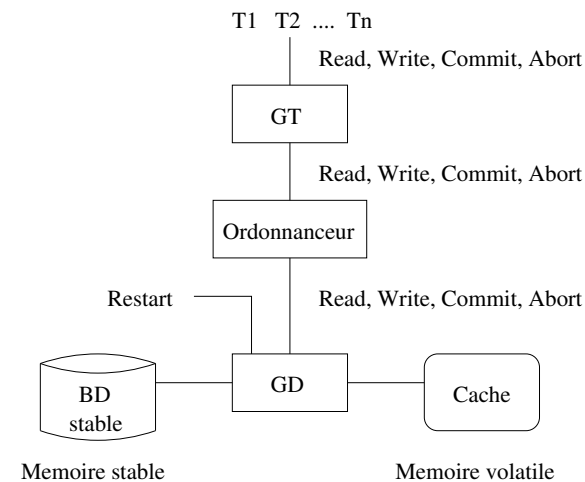
- pannes de système: contenu de la mémoire volatile perdu
  - opération *Restart* qui reconstitue un état cohérent de la BD
- ordonnanceur avec exécutions sérialisables et *strictes*
  - stricte: écritures validées dans l'ordre de Commit
- même granularité pour l'ordonnanceur et le GD
  - enregistrement = page disque

### Verrouillage d'index

- ensemble d'objets qui respectent *attribut = valeur* regroupés dans une entrée d'index
- entrée d'index sur *attribut: valeur* + liste pointeurs vers les objets
- verrouillage entrée d'index
  - parcourir les objets → lecture index
  - insérer un objet → écriture index

### Verrouillage hiérarchique

- ensemble = niveau de granularité supérieur
- verrous sur la donnée de niveau supérieur
  - parcourir les objets → lecture niveau supérieur
  - insérer un objet → écriture niveau supérieur



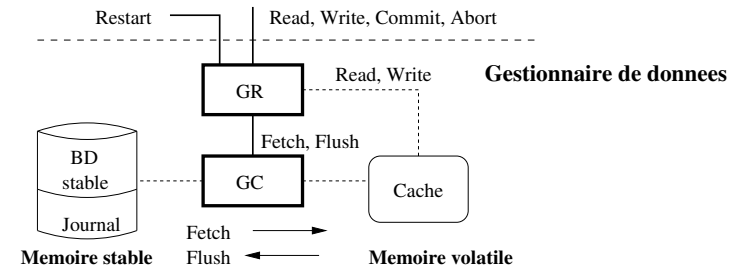
## Objectif

- dernière valeur validée de x: dernière valeur écrite en x par une transaction validée
  - état validé de la BD: l'ensemble des dernières valeurs validées pour tous les enregistrements
  - panne: mémoire volatile perdue
- ⇒ Restart doit ramener la BD à l'état validé avant la panne
- problèmes
    - annuler l'effet des transactions non-validées
    - terminer les transactions validées
    - structures à garder en mémoire stable pour assurer la reprise

## 2. Architecture

### Les composantes du Gestionnaire de données (GD)

- **Gestionnaire du Cache (GC)**: gère les deux mémoires
- **Gestionnaire de reprise (GR)**: opérations BD + Restart



### Gestionnaire du Cache

- utilisation de la mémoire volatile : rapidité
- idéal: copie de toute la BD
- en réalité: caching, car taille mémoire volatile limitée

### Cache

- zone de mémoire volatile divisée en *cellules*: 1 enreg./cellule
- en réalité, le Cache stocke des *pages disque*

#### Cache

nr. cel.	bit de consistance	valeur enreg.
1	1	"J. Smith"
2	0	2.24581
.....		

#### Repertoire du cache

id. enreg.	nr. cel.
x	2
y	1
.....	

### Opérations

- Flush (c), c cellule

si c inconsistante alors

copier c sur disque

rendre c consistante

sinon rien;

- Fetch (x), x enregistrement (pas dans le Cache)

sélectionner c cellule vide

si toutes les cellules occupées alors

vider une cellule c avec Flush et l'utiliser comme cellule vide

copier x du disque en c

rendre c consistante

mettre à jour le répertoire du cache avec (x, c)

- choix cellule vide: LRU, FIFO
- lecture  $x$ :
  - toujours à partir du cache
  - si  $x$  n'est pas dans le cache alors Fetch( $x$ ) d'abord
- écriture  $x$ :
  - soit  $c$  la cellule de  $x$  dans le Cache (allouée à ce moment-là si  $x$  n'y est pas déjà)
  - $c$  modifiée, marquée inconsistante
  - Flush( $c$ ) décidé par GR, selon son algorithme

### 3. Journalisation

# Journal

- historique des écritures dans la mémoire stable
- **journal physique**: liste de  $[T_i, x, v]$ 
  - préserve l'ordre des écritures: fichier séquentiel
  - souvent on stocke aussi *l'image avant* de l'écriture
- **journal logique**: opérations de plus haut niveau
  - Ex. insertion  $x$  dans  $R$  et mise-à-jour index
  - moins d'entrées, mais plus difficile à interpréter
- autres informations: listes de transactions actives, validées, annulées

## Gestionnaire de reprise

## Opérations

- GR\_Read ( $T_i, x$ )
- GR\_Write ( $T_i, x, v$ )
- GR\_Commit ( $T_i$ )
- GR\_Abort ( $T_i$ )
- Restart

### Exemple: journal physique

$$\begin{array}{ccccccc} [T_{1,x},2], & [T_{2,y},3], & [T_{1,z},1], & [T_{2,x},8], & [T_{3,y},5], & [T_{4,x},2], & [T_{3,z},6] \\ & & c_1 & a_2 & & & c_4 \end{array}$$

```
liste_active={T3}
liste_commit={T1, T4}
liste_abort={T2}
```

## 4. Principes et techniques pour la reprise

### Ramasse-miettes

- recyclage de l'espace utilisé par le journal
- règle:  
entrée  $[T_i, x, v]$  recyclée  $\Leftrightarrow$ 
  - $T_i$  annulée ou
  - $T_i$  validée, mais une autre  $T_j$  validée a écrit  $x$  après  $T_i$

### Règles défaire/refaire

- règles de journalisation, nécessaires pour que le GR puisse faire correctement annulation/répétition
- Règle "défaire" (pour annulation): si  $x$  sur disque contient une valeur validée, celle-ci doit être journalisée avant d'être modifiée par une valeur non-validée
- Règle "refaire" (pour répétition): les écritures d'une transaction doivent être journalisées avant son Commit
- *Remarque*: ces règles sont naturellement respectées si l'on écrit dans le journal avant toute écriture dans la BD

### Types de GR

- GR peut forcer ou non GC d'écrire des cellules du Cache sur disque
- GR lance l'annulation
  - permet aux transactions non-validées d'écrire sur disque
  - *Restart* doit annuler ces écritures (annulation)
- GR lance la répétition
  - permet aux transactions de valider avant d'écrire sur disque
  - *Restart* doit refaire ces écritures (répétition)
- 4 catégories de GR (combinaisons annulation - répétition)

### Idempotence de Restart

- une panne peut interrompre toute opération, même *Restart*
- idempotence: *Restart* interrompu et relancé donne le même résultat que le *Restart* complet
- optimisation: journalisation des opérations de *Restart* pour ne pas tout recommencer

## Checkpointing

- ajouter des informations sur disque en fonctionnement normal afin de réduire le travail de *Restart*
- *point de contrôle* ("checkpoint"): point (marqué dans le journal) où l'on réalise les actions supplémentaires

### Quelques techniques

- marquer dans le journal les écritures déjà **réalisées**/annulées dans la BD stable
  - pas besoin de refaire/annuler ces écritures à la reprise
- marquer toutes les écritures **validées**/annulées dans la BD stable
  - pas besoin de refaire/annuler à la reprise les transactions validées/annulées

## Opérations

- GR-Write ( $T_i, x, v$ )

$\text{liste\_active} = \text{liste\_active} \cup \{T_i\}$

si  $x$  n'est pas dans le cache alors allouer cellule pour  $x$

$\text{journal} = \text{journal} + [T_i, x, v]$

$\text{cellule}(x) = v$

confirmer Write à l'ordonnanceur

- GR-Read ( $T_i, x$ )

si  $x$  n'est pas dans le cache alors **Fetch**( $x$ )

retourner la valeur de  $\text{cellule}(x)$  à l'ordonnanceur

## 5. Algorithme annulation/répétition

### Principes

- GR qui demande annulation et répétition: le plus complexe
- écrit les valeurs dans le Cache et ne demande pas de Flush
- avantages: flexibilité, minimise I/O

- GR-Commit ( $T_i$ )

$\text{liste\_commit} = \text{liste\_commit} \cup \{T_i\}$

confirmer le Commit à l'ordonnanceur

$\text{liste\_active} = \text{liste\_active} - T_i$

- GR-Abort ( $T_i$ )

pour chaque  $x$  écrit par  $T_i$

si  $x$  n'est pas dans le cache alors allouer cellule pour  $x$

$\text{cellule}(x) = \text{image\_avant}(x, T_i)$

$\text{liste\_abort} = \text{liste\_abort} \cup \{T_i\}$

confirmer Abort à l'ordonnanceur

$\text{liste\_active} = \text{liste\_active} - \{T_i\}$



- Restart

marquer toutes les cellules comme vides

**refait** = {}, **annulé** = {}

pour chaque  $[T_i, x, v] \in \text{journal}$  (à partir de la fin) où  $x \notin \text{annulé} \cup \text{refait}$

si  $x$  n'est pas dans le cache alors allouer cellule pour  $x$

si  $T_i \in \text{liste\_commit}$  alors

$\text{cellule}(x) = v$

**refait** = **refait**  $\cup \{x\}$

sinon

$\text{cellule}(x) = \text{image\_avant}(x, T_i)$

**annulé** = **annulé**  $\cup \{x\}$

si **refait**  $\cup$  **annulé** = BD alors stop boucle

pour chaque  $T_i \in \text{list\_commit}$

**list\\_active** = **list\\_active** -  $\{T_i\}$

confirmer Restart à l'ordonnanceur

### Algorithme sans-annulation/répétition

- GR ne demande jamais annulation
- écritures des  $T_i$  non-validées retardées après Commit
- GR-Write: ajoute juste  $[T_i, x, v]$  au journal
- GR-Read: si  $T_i$  a déjà écrit  $x$ , lecture dans le journal, sinon dans la BD
  - si  $T$  écrit  $x$ , les autres transactions ne peuvent lire  $x$  qu'après la fin de  $T$  (exécution stricte)
- GR-Commit: chaque  $x$  écrit par  $T_i$  est calculé à partir du journal et écrit dans le cache
- GR-Abort: juste ajoute  $T_i$  à **liste\_abort**
- Restart: pareil, sauf que "annulé" n'existe pas

Algorithme sans-annulation/sans-répétition: les écritures de  $T_i$  réalisées sur disque en une seule opération atomique, au Commit

## 6. Autres algorithmes

### Algorithme annulation/sans-répétition

- GR ne demande jamais répétition
- enregistre écritures avant le Commit
- GR-Write, GR-Read, GR-Abort pareil
- GR-Commit pareil, mais d'abord:
  - pour chaque  $x$  écrit par  $T_i$ , si  $x \in \text{Cache}$  alors  $\text{Flush}(x)$
- Restart pareil, sauf que "refait" n'existe pas

### Contrôle de concurrence

- basé sur le verrouillage à deux phases hiérarchique
- validation = COMMIT, annulation = ROLLBACK
- la norme ne prévoit pas le verrouillage *explicite* au niveau programmation (SQL): 4 niveaux d'isolation
- transactions: deux caractéristiques importantes
  - le niveau d'isolation: SERIALIZABLE, REPEATABLE READ, READ COMMITTED, READ UNCOMMITTED
  - le mode d'accès: READ ONLY, READ WRITE
- commande: SET TRANSACTION *niveau accès*

## Niveaux d'isolation

- ① **SERIALIZABLE**: le seul niveau qui garantit la sérialisabilité!
  - isolation totale et protection contre les objets fantômes
- ② **REPEATABLE READ** (lecture répétable)
  - les données lues par la transaction ne sont pas modifiables par d'autres transactions
  - ne lit que des valeurs validées (pas de lecture sale)
  - moins strict que **SERIALIZABLE**, ne protège pas contre les objets fantômes
- ③ **READ COMMITTED** (lecture de valeurs validées)
  - ne lit que des valeurs validées (pas de lecture sale)
  - n'assure pas la lecture répétable, ne protège pas contre les objets fantômes
  - les verrous S sont relâchés immédiatement
- ④ **READ UNCOMMITTED** (lecture de valeurs non-validées)
  - permet les lectures sales, n'assure pas la lecture répétable, ne protège pas contre les objets fantômes
  - niveau limité aux transactions **READ ONLY**
  - ne demande pas de verrou S (lecture sale), ni X (read only)
  - annulations en cascade possibles

## Reprise après panne

- respect des principes généraux, avec de nombreuses variantes
- journalisation physique avec points de contrôle (checkpointing)
- *point de sauvegarde* (savepoint): utile pour les transactions longues
  - *Savepoint s* = validation partielle d'une transaction
  - on peut faire une annulation partielle *Rollback to s*

## Particularités dans les systems réels

- **SQL Server**: utilise aussi l'estampillage
  - chaque transaction a une estampille ( $T_i \rightarrow i$ )
  - l'ordre des conflits doit respecter l'ordre des estampilles
  - optimiste: pas d'attente à un verrou
- **Oracle**: contrôle de concurrence *multi-version*
  - on maintient plusieurs versions de chaque donnée
  - ordonnancement de type estampillage
  - pour chaque version on connaît la transaction qui l'a écrite
  - pour chaque donnée on connaît la dernière transaction qui l'a lue
  - une lecture n'attend jamais!
    - elle utilise la dernière version qui respecte l'ordre
  - une écriture crée une nouvelle version ou est annulée
    - annulation si on ne peut pas respecter l'ordre

## Commit à deux phases

- validation de transactions réparties sur plusieurs sites
- chaque site gère ses propres ressources (données, journal)
- *première phase*: chaque site valide ses propres opérations
- *seconde phase*: le gestionnaire global valide l'ensemble de la transaction
- la validation globale  $\rightarrow$  seulement si chaque site valide
- *Rollback* d'un site  $\Rightarrow$  *Rollback* de l'ensemble
- le gestionnaire annonce chaque site si la transaction doit être validée ou annulée