

Bases de données (CS443)

#3, Modèle relationnel : modélisation

Arthur Baudet

Grenoble INP - Esisar

2023–2024



- équipe BD de Lyon¹
- équipe BD de Lille¹

Avec leur autorisation, of course.

- ① Modèle de données
- ② Modèle relationnel - définitions
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

Qu'est ce qu'un modèle de données ?

Un formalisme commun pour représenter et interroger les données

- Une structure pour représenter les données
- Des contraintes pour garantir la sémantique du cahier des charges
- Des langages pour interroger et modifier les données

Les niveaux logiques et physiques sont dédiés à un modèle de données commun. Le niveau externe est plus libre, peu correspondre à des exportations vers d'autres modèles ou formats.

Les principaux modèles de données

- *Modèle relationnel*

- *Structure* : ensembles de **relations**, qui sont des ensembles de *tuples*.
- *Contraintes* : principalement les **clés primaires** (identifiants de tuples, **dépendances fonctionnelles**) et les **clés étrangères** (liens entre les relations, **dépendances d'inclusion**)
- *Manipulation* : **algèbre relationnelle**, **calcul relationnel**, **SQL**, clauses de Horn sans récursion.

- *Modèle déductif*

- *Structure* : celle du modèle relationnel à laquelle on ajoute des règles de déduction.
- *Contraintes* : les mêmes que le modèle relationnel
- *Manipulation* : langages logiques comme *Datalog*. Contrairement aux langages du modèle relationnel, il admet la récursivité.

Les principaux modèles de données

- *Modèle de graphe (e.g., RDF)*
 - *Structure* : graphe orienté et étiqueté, on enregistre les triplets $(s; p; o)$
 - *Contraintes* : un identifiant pour chaque nœud, un mécanisme de référence entre des nœuds
 - *Manipulation* : parcours de graphes, SPARQL.
- *Modèle hiérarchique (e.g., XML)*
 - *Structure* : arborescente (forêt d'arbre)
 - *Contraintes* : un identifiant pour chaque nœud, un mécanisme de référence entre des nœuds
 - *Manipulation* : navigation hiérarchique, XPATH, XQUERY.

- *Modèle objet*

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

- *Modèle Entité/Association*

- *Structure* : Entités (avec des attributs) et associations entre des entités.
- *Contraintes* : identifiants, cardinalités sur les associations
- *Manipulation* : aucun (c'est un langage de modélisation, qui n'est pas implémenté tel que).

Les bases "de production" sont très très majoritairement relationnelles. Des représentations objet ou XML sont bien souvent intégrées comme des "surcouches" de SGBD relationnels.

Notations

- $\{A; B; C|D\}$ sera noté ABC
- Les notations ABC et BCA sont équivalentes puisque l'ordre n'a pas d'importance.
- L'ensemble $AABC$ est le même que ABC , puisque l'élément A ne peut exister qu'en un seul exemplaire.
- Soit les ensembles $X = ABC$ et $Y = BD$, alors leur union $X \cup Y$ sera noté $XY = ABCD$.

Le modèle relationnel : Intuition

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

<i>Enseignants</i>	<i>NUMENS</i>	<i>NOMENS</i>	<i>PRENOMENS</i>	<i>GRADE</i>
	5050	Tarjan	Robert	PR
	2123	Mannila	Heikki	MCF
	3434	Papadimitriou	Spiros	PR
	1470	Bagan	Guillaume	CR

<i>Encadre</i>	<i>NUMENS</i>	<i>NUMETUD</i>	<i>DATE</i>
	5050	53	2005
	3434	28	2020
	5050	28	2015
	2123	32	2019

TABLE – Exemple de bases de données

- ① Modèle de données
- ② **Modèle relationnel - définitions**
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

Que veut-on décrire ?

Des tables 2D !

- ① Modèle de données
- ② **Modèle relationnel - définitions**
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

Sur les tables :

- Une relation = une table à deux dimensions
- Une colonne = un attribut
- En-tête du tableau = description de la relation (schéma)
- Une ligne = un tuple ou un n-uplet
- Ensemble des lignes (= contenu de) la relation

Le modèle relationnel : Intuition

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

<i>Enseignants</i>	<i>NUMENS</i>	<i>NOMENS</i>	<i>PRENOMENS</i>	<i>GRADE</i>
	5050	Tarjan	Robert	PR
	2123	Mannila	Heikki	MCF
	3434	Papadimitriou	Spiros	PR
	1470	Bagan	Guillaume	CR

<i>Encadre</i>	<i>NUMENS</i>	<i>NUMETUD</i>	<i>DATE</i>
	5050	53	2005
	3434	28	2020
	5050	28	2015
	2123	32	2019

TABLE – Exemple de bases de données

Le modèle relationnel : structure

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

Schémas de relations et de bases de données

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

Le modèle relationnel : structure

Tuple, Relation et Base de Données

- Soit $R = A_1 \dots A_n$ un schéma de relation. Un **tuple** sur R est un élément du produit cartésien $DOM(A_1) \times \dots \times DOM(A_n)$.
 - Une **relation** r sur R (appelée aussi instance ou vulgairement table) est un ensemble *fini* de tuples.
 - Une **base de données** \mathbf{d} sur un schéma de base de données $\mathbf{R} = \{R_1, \dots, R_n\}$ est un ensemble de relations $\{r_1, \dots, r_n\}$ définies sur les schéma de relation de \mathbf{R} .
-
- Si t est un tuple défini sur un schéma de relation R , et X un sous-ensemble de R , on peut restreindre t à X en utilisant la **projection**, notée $t[X]$ qui est la restriction de r à X .

Schéma de la relation Etudiants

Relation Etudiants

Etudiants	NUMETUD	NOMETUD	PRENOMETUD	AGE	FORMATION
28	Codd	Edgar	20	3	
32	Armstrong	William	20	4	
53	Fagin	Ronald	19	3	
107	Bunneman	Peter	18	3	

Tuple t de la relation Etudiants

Enseignants	NUMENS	NOMENS	PRENOMENS	GRADE
	5050	Tarjan	Robert	PR
	2123	Mannila	Heikki	MCF
	3434	Papadimitriou	Spiros	PR
	1470	Bagan	Guillaume	CR

Encadre	NUMENS	NUMETUD	DATE
	5050	53	2005
	3434	28	2020
	5050	28	2015
	2123	32	2019

- Les 3 schémas de relations forment le schéma de la BD.
- les 3 relations forment la BD.

- ① Modèle de données
- ② **Modèle relationnel - définitions**
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

Définition

Clé

La (une) clé d'une relation est un ensemble minimal d'attributs dont chaque valeur détermine un tuple unique dans toute extension de la relation. Il ne doit pas exister plusieurs lignes d'une relation avec la même valeur de clé.

Considérons la relation EMPLOYE (Nom, Prénom, Adresse, Ville) :

Durand	Alain	3 rue Rose	Paris
Noël	Anne	19 rue Haute	Paris
Remy	André	46 rue Vilaine	Nantes
Durand	Etienne	10 rue Limite	Nice

Problème : deux employés existent sous le même nom ! la clé 'nom' de la relation 'employé' ne permet pas d'identifier un client de manière unique.

Problème d'identification unique : solution

Solution : gérer un numéro d'employé ce qui permettra une identification totale d'un employé :
EMPLOYE (NoEmpl, Nom, Prénom, Adresse, Ville)

101	Durand	Alain	3 rue Rose	Paris
102	Noël	Anne	19 rue Haute	Paris
120	Remy	André	46 rue Vilaine	Nantes
131	Durand	Etienne	10 rue Limite	Nice

Et hop, chaque valeur de noempl n'est associé qu'à un seul employé !

Exemple de détermination de clés : livres

- Client (numcli, nom, prenom, adresse)
- Livre (numlivre, titre, auteur, nbexmpl)
- Emprunt (numcli, numlivre, date, retard)

Peut-on identifier un emprunt avec le couple (numcli, numlivre) ?

Exemple de détermination de clés : livres

- Client (numcli, nom, prenom, adresse)
- Livre (numlivre, titre, auteur, nbexmpl)
- Emprunt (numcli, numlivre, date, retard)

Peut-on identifier un emprunt avec le couple (numcli, numlivre) ? Non, si un client a la possibilité d'emprunter deux fois le même livre.

► **Solution 1** : utiliser en plus la date Clé d'emprunt : (numcli, numlivre, date)

Et si la date ne suffit pas (emprunt de deux fois le même livre le même jour) ?

► **Solution 2** :

- Identifiant (numemprunt)
- Emprunt (numemprunt, numcli, numlivre, date, retard)

Déterminer une seule clef pour une relation : exemple

Si plusieurs clefs candidates sont possibles, par exemple pour la relation : Etudiant (n°ss, nom, prenom, adresse, n°filiere, n°inscription) on peut choisir :

- N°inscription : numero de carte d'étudiant
- N°ss : numéro de sécurité sociale

La clé choisie est appelée **clé primaire**, et les autres clés sont alors des clés **secondaires**.

Clé étrangère (ou référence)

Une clé étrangère est un champ ou une collection d'attributs dans une relation qui identifie de manière unique une ligne (un élément) d'une autre relation (ou la même, cf le cas précédent).

Notation : on suffixe cette clé avec #.

La valeur nulle (NULL) est une valeur conventionnellement introduite dans une relation pour représenter une information inconnue ou inapplicable.

Ex : pour la relation Employé (NoEmpl, Nom, Année, Adresse, Téléphone, Nodept), on représente un employé à numéro inconnu comme ceci : (10, Durand, 1980, Paris, NULL, 75)

Contrainte de relation : la clé primaire de la relation ne doit pas posséder de valeur nulle.

Usage des clés : liens entre les relations

Les liens entre les clés (étrangères) permettent de faire des liens non ambigus entre les relations (tables) :

101	Durand	Alain	3 rue Rose	Paris
102	Noël	Anne	19 rue Haute	Paris
120	Remy	André	46 rue Vilaine	Nantes
131	Durand	Etienne	10 rue Limite	Nice

L'ensemble des valeurs de la colonne origine de la flèche est inclus dans l'ensemble des valeurs de la clé primaire (cible de la flèche)

54	120	12	30/11/91	N
51	102	12	18/04/90	N
52	101	12	12/10/90	N
53	101	20	26/04/91	0

20	Le prince de Sang mêlé	JK Rowling	10
30	Can you keep a secret ?	Sophie Kinsella	4
12	Websphere V3.5 Handbook	Websphere Consulting Team	1

- ① Modèle de données
- ② Modèle relationnel - définitions
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

Modèle relationnel : Langages

- Langages théoriques d'interrogation des données :
 - Langage procédural : algèbre relationnelle
 - Langage déclaratif (logique) : calcul relationnel (tuple ou domaine), Datalog.
- Langage implémenté pour l'interrogation et la manipulation des données
 - Structured Query Language (SQL)
 - SQL est l'implémentation du calcul relationnel pour la partie interrogation.
 - Mais nombreuses extensions et possibilité d'ajouter des fonctions.

On manipule des relations

Une requête prend une plusieurs relations en entrée, et retourne une relation. On peut donc interroger des sous-requêtes ; toutefois seul Datalog est récursif.

Exemple de requête algébrique

Quel est le prénom et le nom de tous les étudiants ?

$\pi_{PRENOMETUD, NOMETUD}(Etudiants)$

► On pratiquera en TD.

Caractéristiques :

- Langage implémenté et universel d'interrogation d'une BD relationnelle.
- “Traduction” du calcul relationnel, donc **déclaratif**.
- Défini dans les années 80, dernière norme en 92
- Beaucoup d'évolutions : UPSERT, Windows functions, Grouping Set, récursivité (voir la doc!) ...

Se décompose en sous-ensembles :

- DML : Manipulation (màj) et interrogation des données
- DDL : Définition des données (au niveau du schéma)
- DCL : Contrôle des droits des utilisateurs
- TCL : Contrôle des transactions

Exemple de requête SQL

Quel est le prénom et le nom de tous les étudiants ?

```
SELECT PRENOMETUD, NOMETUD FROM Etudiants
```

► Syntaxe à ne pas connaître. On fournira une doc.

Langages pour les BD relationnelles
dans les prochains cours.

- ① Modèle de données
- ② Modèle relationnel - définitions
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel

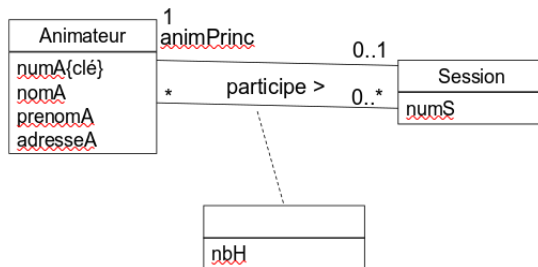
Un algorithme général

- Les entités deviennent des relations
- Les associations sont traduites... selon leur type

Cardinalité : rappel

$A (\min, \max) \rightarrow B \equiv$ “une entité de A est reliée min à max fois à une entité de B ”.

Exemple 1



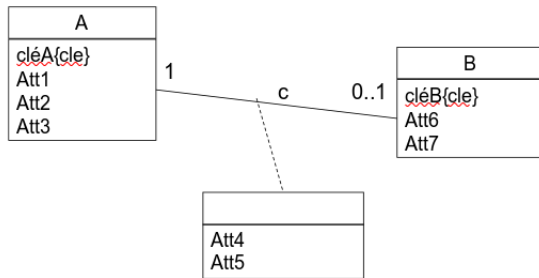
Entités et associations deviennent des relations : observons d'abord les deux entités :

- Animateur(numA, nomA, prenomA, adresseA) : OK !
- Session (numS, **numA#**) pourquoi ?

ne pas regarder l'association participe ici.

Traduction associations cardinalités 1,1 / 0,1

“Une entité de A est relié une fois à une entité de B”, d'où le schéma général de traduction :

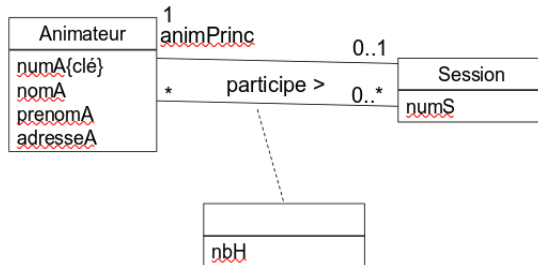


■ A (CléA, Att1, Att2, Att3)

■ B (CléB, Att6, Att7, Att4, Att5, CléA#)

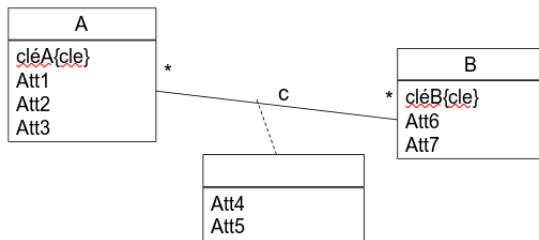
► Remarquez où vont les attributs de l'association.

Exemple 1 (cont')



- Animateur(num, nomA, prenomA, adresseA) : OK !
- Session (numS, numA#) : OK !
- Participe (numA#, numS#, nbH) pourquoi ? remarquez la clé aussi

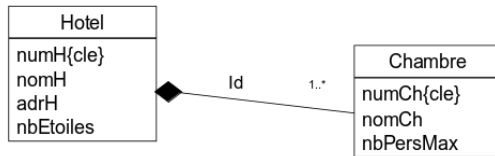
Traduction cardinalités max "étoile" des 2 côtés - cas général



- A (CléA, Att1, Att2, Att3)
- B (CléB, Att6, Att7)
- C (CléA#, CléB#, Att4, Att5)

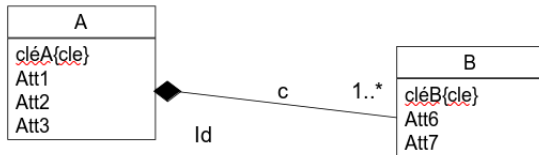
Traduction entité faible - exemple

Une version “hôtel” des salles dans les bâtiments.



- Hôtel(numH, ...)
- Chambre(numH#, numCh, ...)

Traduction des entités faibles - cas général

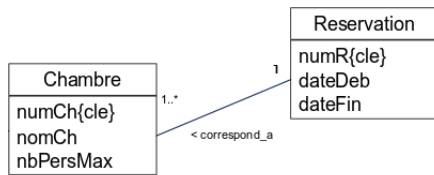


- A (CléA, Att1, Att2, Att3)
- B (CléA#, CléB, Att6, Att7)

Pourquoi ?

Traduction cardinalités 1..* - 1 - exemple

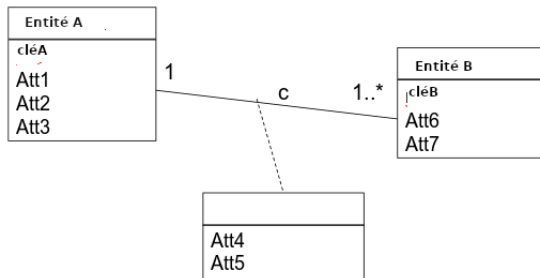
attention au sens de la relation



(avec la clé obtenue pour chambre, nommée key ici)

- Chambre(key, nomChambre, nbPersMax)
- Reservation(numR, dateDeb, dateFin)
- Correspond_A(numR#, key#)

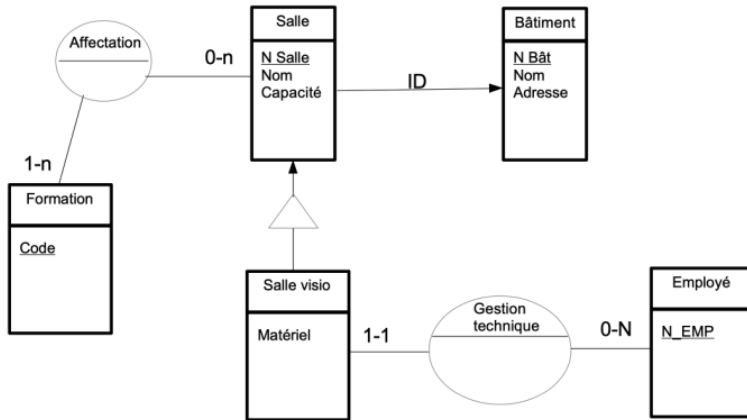
Traduction cardinalités 1..* - 1 - cas général



- $A(\underline{cléA}, \dots)$
- $B(\underline{cléB}, \dots, cléA\#, Att4, Att5)$

Exercice à préparer pour le TD 1

Traduire vers un schéma relationnel.



Pour aller plus loin

- On vous laisse réfléchir aux relations “spécialisation” et relations ternaires avec cardinalités étoiles (pas si simple).
- Il y a des manières de contraindre le modèle E/A (non vues dans le cadre de ce cours, et donc de traduire ces contraintes (idem).

- ① Modèle de données
- ② Modèle relationnel - définitions
 - Vocabulaire de relations
 - Notion de clé
- ③ Langages pour le modèle relationnel
- ④ Traduction entité/association vers relationnel