

Introduction aux Bases de données

Cours 3 : Calcul Relationnel

UFR 919 – Licence

2^e année

Interrogation des données

Algèbre relationnelle (voir 3I009)

- Langage procédural : comment calculer les données
- Fondé sur la théorie des ensembles

Calcul relationnel des n-uplets

- Langage déclaratif : qu'est ce qu'on veut calculer
- Fondé sur la logique des prédicats

SQL (Structured Query Language)

- Langage basé sur le calcul relationnel
- Comporte en plus des fonctions d'agrégation
- Implante également les opérateurs de l'algèbre

Rappel logique 1^{er} ordre

- appelé également logique des prédicats
- Système formel utilisé en Maths, Philo, Info.
- Enrichit la logique propositionnelle avec notion de variables et de quantificateurs

Logique propositionnelle

si Jean est malade
alors il ne sort pas

Jean est malade
conclusion : Jean ne sort pas

si p alors non q
p

non q

Logique des prédicats

si un homme est malade
alors il ne sort pas

Jean est malade
conclusion : Jean ne sort pas

si P(x) alors non Q(x)
P(Jean)

non Q(Jean)

Calcul Relationnel des n-uplets : aperçu

Langage fondé sur la logique des prédicats

- Tuple avec n attributs → prédicat n-aire
- Valeur atomique → constante

Etudiants

| matricule | nom | prénom | dateNaiss | adresse |
|-----------|-------|--------|------------|-----------|
| 1753 | Smith | Joe | 1992-01-12 | 11 CP NYC |
| 9832 | Smith | Dan | 1989-04-03 | 22 Rd NJ |
| | | | | |

Tuples

Prédicats

Etudiants('1753','smith', 'Joe', '1992-01-12', '11 CP NYC')
Etudiants('9832','smith', 'Dan', '1989-04-03', '22 Rd NJ')
...

Calcul Relationnel des n-uplets : aperçu

Langage fondé sur la logique des prédicats

- Formule logique pour exprimer une condition devant être respectée par les n-uplets à retourner

Requête : retourner les étudiants ayant pour nom 'Smith'

Condition : $\text{Etudiants}(x) \wedge x.\text{nom} = \text{'Smith'}$

Tuples

| Etudiants | | | | |
|-----------|-------|--------|------------|-----------|
| matricule | nom | prénom | dateNaiss | adresse |
| 1753 | Smith | Joe | 1992-01-12 | 11 CP NYC |
| 9832 | Smith | Dan | 1989-04-03 | 22 Rd NJ |
| ... | | | | |

Prédicats

Etudiants('1753','smith','Joe','1992-01-12','11 CP NYC')

Etudiants('9832','smith','Dan','1989-04-03','22 Rd NJ')

...

Sorbonne Université - 21009

5

Calcul Relationnel des n-uplets : aperçu

Langage fondé sur la logique des prédicats

- Formule logique pour exprimer une condition devant être respectée par les n-uplets à retourner

Requête : retourner les étudiants ayant pour nom 'Smith'

Condition : $\text{Etudiants}(x) \wedge x.\text{nom} = \text{'Smith'}$

Réponse

Tuples

| Etudiants | | | | |
|-----------|-------|--------|------------|-----------|
| matricule | nom | prénom | dateNaiss | adresse |
| 1753 | Smith | Joe | 1992-01-12 | 11 CP NYC |
| 9832 | Smith | Dan | 1989-04-03 | 22 Rd NJ |
| ... | | | | |

Prédicats

Etudiants('1753','smith','Joe','1992-01-12','11 CP NYC')

Etudiants('9832','smith','Dan','1989-04-03','22 Rd NJ')

...

Sorbonne Université - 21009

6

Calcul Relationnel des n-uplets : aperçu

Requête : retourner les étudiants inscrits en LI341

Condition : $\text{Etudiants}(x) \wedge \text{Inscriptions}(y) \wedge x.\text{matricule} = y.\text{matricule} \wedge y.\text{code} = \text{'LI341'}$

Réponse

| Etudiants | | | | |
|-----------|-------|--------|------------|-----------|
| matricule | nom | prénom | dateNaiss | adresse |
| 1753 | Smith | Joe | 1992-01-12 | 11 CP NYC |
| 9832 | Smith | Dan | 1989-04-03 | 22 Rd NJ |
| ... | | | | |

| Inscriptions | |
|--------------|-------|
| Matricule* | Code* |
| 1753 | LI341 |
| 1753 | LI345 |
| 9832 | LI341 |

Sorbonne Université - 21009

7

Calcul Relationnel des n-uplets : aperçu

Requête : retourner les étudiants inscrits en Bases de Données ('BD')

Condition : $\text{Etudiants}(x) \wedge \text{Inscriptions}(y) \wedge x.\text{matricule} = y.\text{matricule} \wedge \text{Modules}(z) \wedge y.\text{code} = z.\text{code} \wedge z.\text{intitule} = \text{'BD'}$

| Etudiants | | | | Inscriptions | | Modules | | |
|-----------|-------|--------|-----|--------------|-------|---------|----------|--------|
| matricule | nom | prénom | ... | Matricule* | Code* | code | intitulé | niveau |
| 1753 | Smith | Joe | | 1753 | LI341 | LI341 | BD | L3 |
| 9832 | Smith | Dan | | 1753 | LI345 | LI345 | Web | L3 |
| ... | | | | 9832 | LI341 | LI399 | Crypto | L3 |

Autres requêtes :

- retourner les étudiants inscrits dans un même module que 'Jack'?
- retourner les étudiants inscrits dans aucun module?
- retourner les étudiants inscrits dans tous les modules?
-

Sorbonne Université - 21009

8

Calcul Relationnel des n-uplets : syntaxe

Forme générale des requêtes

{ **expression** | **Condition** }

↑
Format résultat

↑
Formule logique du 1^{er} ordre

| Expression | Signification |
|---------------------------------|--|
| $v, w, \dots Z$ | tous les attributs plusieurs tables |
| $v.a_1, v.a_2, \dots v.a_m$ | certain attributs même table |
| $v.a_1..v.a_m, w.b_1..w.b_p ..$ | certain attributs plusieurs tables |

Calcul Relationnel des n-uplets : syntaxe

Forme générale des requêtes

{ **expression** | **Condition** }

↑
Format résultat

↑
Formule logique du 1^{er} ordre

- $R(v)$
- $v.A \text{ op } w.B$ où $op \in \{=, \neq, >, <, \leq, \geq\}$
- $v.A \text{ op 'val'}$ valeur atomique
- $C_1 \wedge C_2, C_1 \vee C_2, \neg C, C_1 \rightarrow C_2$
- $\exists v (C), \forall w (C)$ v et w variables liées

Les variables libres apparaissent dans *expression* et *condition*, les variables liées uniquement dans *condition* { *expression*(v_1, v_1, \dots, v_n) | *condition*($v_1, v_1, \dots, v_n, v_{n+1}, \dots, v_m$)}

Calcul Relationnel des n-uplets : syntaxe

- Priorité des connecteurs logiques
 - Négation \neg
 - Conjonction \wedge
 - Disjonction \vee
 - Implication \rightarrow
- Utilisation des parenthèses pour lever l'ambiguïté

Calcul Relationnel des n-uplets : sémantique

Forme générale des requêtes

{ **expression** | **Condition** }

↑
Format résultat

↑
Formule logique du 1^{er} ordre

Retourner les n-uplets spécifiés par **expression** tel que **Condition** est vérifiée

Calcul Relationnel des n-uplets : sémantique

| Forme condition | Nom | Sémantique |
|---|-----------------------------|--|
| $R(v)$ ou $v \in R$ | Liaison de variables | Vraie lorsque la table R contient des n-uplets |
| 1. $v.A \text{ op } w.B$ 2. $v.A \text{ op 'val'}$ | Expressions de comparaisons | 1. Vraie lorsque l'attribut A du n-uplet v est égal/différent de/...l'attribut B du n-uplet w 2. Vraie lorsque l'attribut A du n-uplet v est égal/différent de/... val |
| 1. $C_1 \wedge C_2$ 2. $C_1 \vee C_2$ 3. $\neg C$ | Expressions booléennes | 1. Vraie lorsque les deux conditions vraies 2. Vraie lorsque l'une des deux conditions vraie 3. Vraie lorsque C est fausse |
| $\exists v(C)$ | Quantificateur existentiel | vrai si C est vrai pour au moins un n-uplet v |
| $\forall w(C)$ | Quantificateur universel | vrai si C est vrai pour tout les n-uplets w |

Sorbonne Université - 21009

13

Calcul Relationnel des n-uplets : exemples

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitule, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

1. Tous les étudiants
2. Le prénom des étudiants ayant pour nom de famille Smith
3. Le matricule des étudiants inscrits dans le module 'BD' ainsi que le code de ce module
4. a) Les intitulés des modules où 'Jack' est inscrit
b) Les étudiants inscrits dans un même module que 'Jack' ainsi que le code de ce module

Sorbonne Université - 21009

14

Sélection

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitule, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

1. Tous les étudiants

$$Q(e) = \{e \mid e \in \text{Etudiants}\}$$

Sorbonne Université - 21009

15

Sélection

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitule, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

2. Le prénom des étudiants ayant pour nom de famille Smith :

$$Q(e) = \{e.\text{prenom} \mid e \in \text{Etudiants} \wedge e.\text{nom} = \text{'Smith'}\}$$

Sorbonne Université - 21009

16

Jointure

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

3. Le matricule des étudiants inscrits dans le module 'BD' ainsi que le code de ce module :

$$Q(e, m) = \{ e.\text{matricule}, m.\text{code} \mid e \in \text{Etudiants} \wedge m \in \text{Modules} \\ \wedge m.\text{intitulé} = \text{'BD'} \wedge \exists i \in \text{Inscriptions} (i.\text{matricule} = e.\text{matricule} \wedge i.\text{code} = m.\text{code}) \}$$

Illustration évaluation requête 3

| e → | Etudiants | | | | i → | Inscriptions | |
|-----|------------------|-------|--------|-----|-----|-------------------|--------------|
| | <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| | 1753 | Smith | Joe | | | 1753 | LI341 |
| | 9832 | Smith | Dan | | | 1753 | LI345 |
| | | | | | | 9832 | LI341 |

| m → | Modules | | |
|-----|-------------|----------|--------|
| | <u>code</u> | intitulé | niveau |
| | LI341 | BD | L3 |
| | LI345 | Web | L3 |
| | LI399 | Crypto | L3 |

Jointure

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

4. a) Les intitulés des modules où 'Jack' est inscrit :

$$Q(m) = \{ m.\text{intitulé} \mid m \in \text{Module} \wedge \exists e \in \text{Etudiants} (e.\text{prenom} = \text{'jack'} \wedge \exists i \in \text{Inscriptions} (i.\text{matricule} = e.\text{matricule} \wedge i.\text{code} = m.\text{code})) \}$$

Evaluation requête 4-a

| j → | Etudiants | | | | i → | Inscriptions | |
|-----|------------------|-------|--------|-----|-----|-------------------|--------------|
| | <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| | 1753 | Smith | Joe | | | 1753 | LI341 |
| | 9832 | Smith | Jack | | | 1753 | LI345 |
| | | | | | | 9832 | LI341 |

| m → | Modules | | |
|-----|-------------|----------|--------|
| | <u>code</u> | intitulé | niveau |
| | LI341 | BD | L3 |
| | LI345 | Web | L3 |
| | LI399 | Crypto | L3 |

Jointure

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

4. b) Les étudiants inscrits dans un même module que 'Jack' ainsi que l'intitulé de ces modules :

$$Q(e, m) = \{e.maticule, m.intitule\} \text{ et } Etudiants \wedge m \in Modules \\ \wedge \exists j \in Etudiants \mid j.prenom = 'Jack' \wedge \exists i1, i2 \in Inscriptions \\ (i1.maticule = e.maticule \wedge i2.maticule = j.maticule \wedge \\ i1.code = i2.code \wedge m.code = i1.code))$$

Evaluation requête 4-b

| Etudiants | | | | Inscriptions | |
|------------------|-------|--------|-----|-------------------|--------------|
| <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| e → 1753 | Smith | Joe | | i1 → 1753 | LI341 |
| j → 9832 | Smith | Jack | | | 1753 LI345 |
| | | | | i2 → 9832 | LI341 |

| Modules | | |
|-------------|----------|--------|
| <u>code</u> | intitulé | niveau |
| m → LI341 | BD | L3 |
| LI345 | Web | L3 |
| LI399 | Crypto | L3 |

Différence

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

5. a) Les étudiants qui ne sont pas inscrits au module 'LI345'

$$Q(e) = \{e.maticule\} \text{ et } Etudiants \wedge \neg (\exists i \in Inscriptions (\\ i.maticule = e.maticule \wedge i.code = 'LI345'))$$

Evaluation requête 5-a)

| Etudiants | | | | Inscriptions | |
|------------------|-------|--------|-----|-------------------|--------------|
| <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| e → 1753 | Smith | Joe | | i → 1753 | LI341 |
| 9832 | Smith | Jack | | | 1753 LI345 |
| | | | | | 9832 LI341 |

Différence

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

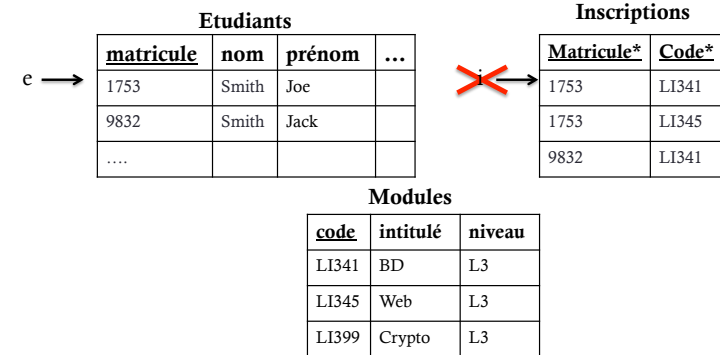
Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

5. b) Les étudiants qui ne sont inscrits dans aucun module

$$Q_1(e) = \{ e.\text{matricule} \mid e \in \text{Etudiants} \wedge \neg (\exists i \in \text{Inscriptions} (i.\text{matricule} = e.\text{matricule})) \}$$

Evaluation requête 5-b)



Division

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

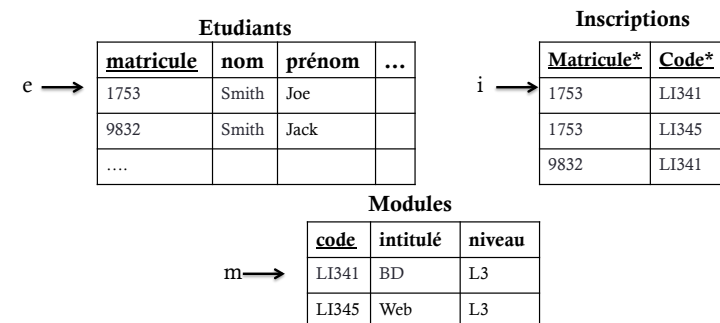
Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

6. Les étudiants inscrits dans tous les modules

$$Q_2(e) = \{ e.\text{matricule} \mid e \in \text{Etudiants} \wedge \neg (\exists m \in \text{Modules} \wedge \neg (\exists i \in \text{Inscriptions} (i.\text{matricule} = e.\text{matricule} \wedge m.\text{code} = i.\text{code}))) \}$$

Evaluation requête 6



Jointures

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

7. Les étudiants inscrits dans au moins deux modules

$Q(1e) = \{ e.matricule \mid \exists e \in Etudiants \wedge \exists i1, i2 \in Inscriptions \}$
 $\{ i1.matricule = e.matricule \wedge i2.matricule = e.matricule \wedge i1.code \neq i2.code \}$

Evaluation requête 7

| Etudiants | | | | Inscriptions | |
|-----------|------------------|-------|--------|--------------|--|
| e → | <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | |
| | 1753 | Smith | Joe | | |
| | 9832 | Smith | Jack | | |
| | | | | | |

| | | |
|------|-------------------|--------------|
| i1 → | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| | 1753 | LI341 |
| i2 → | 1753 | LI345 |
| | 9832 | LI341 |

| Modules | | |
|-------------|----------|--------|
| <u>code</u> | intitulé | niveau |
| LI341 | BD | L3 |
| LI345 | Web | L3 |
| LI399 | Crypto | L3 |

Jointure

Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

8. Les étudiants inscrits à au moins deux modules de niveau L3

$Q(1e) = \{ e.matricule \mid \exists e \in Etudiants \wedge \exists i1, i2 \in In \{ i1.matricule = e.mat \wedge i2.mat = e.mat \wedge i1.code \neq i2.code \wedge m1.code = i1.code \wedge m2.code = i2.code \wedge m1.niv = 'L3' \wedge m2.niveau = 'L3' \} \}$

Evaluation requête 8

| Etudiants | | | | Inscriptions | |
|-----------|------------------|-------|--------|--------------|--|
| e → | <u>matricule</u> | nom | prénom | ... | |
| | 1753 | Smith | Joe | | |
| | 9832 | Smith | Jack | | |
| | | | | | |

| | | |
|------|-------------------|--------------|
| i1 → | <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
| | 1753 | LI341 |
| | 1753 | M009 |
| | 9832 | LI341 |
| i2 → | 1753 | LI345 |

| Modules | | |
|-------------|-------------|--------|
| <u>code</u> | intitulé | niveau |
| LI341 | BD | L3 |
| LI345 | Web | L3 |
| LI399 | Crypto | L3 |
| M009 | BD avancées | M1 |

Jointure

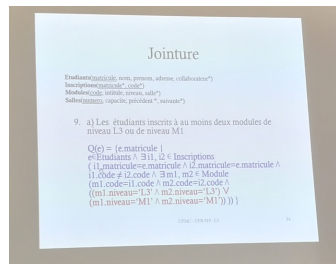
Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

9. a) Les étudiants inscrits à au moins deux modules de niveau L3 ou de niveau M1



Evaluation requête 9-a)

Etudiants

| <u>matricule</u> | nom | prénom | ... |
|------------------|-------|--------|-----|
| 1753 | Smith | Joe | |
| 9832 | Smith | Jack | |
| | | | |

Inscriptions

| <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
|-------------------|--------------|
| 1753 | LI341 |
| 1753 | M009 |
| 9832 | LI341 |
| 1753 | LI345 |

Modules

| <u>code</u> | intitulé | niveau |
|-------------|-------------|--------|
| LI341 | BD | L3 |
| LI345 | Web | L3 |
| LI399 | Crypto | L3 |
| M009 | BD avancées | M1 |

Jointure

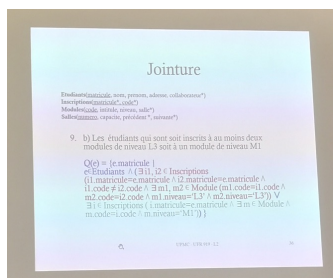
Etudiants(matricule, nom, prenom, adresse, collaborateur*)

Inscriptions(matricule*, code*)

Modules(code, intitulé, niveau, salle*)

Salles(numero, capacite, précédent *, suivante*)

9. b) Les étudiants qui sont soit inscrits à au moins deux modules de niveau L3 soit à un module de niveau M1



Evaluation requête 9-b)

Etudiants

| <u>matricule</u> | nom | prénom | ... |
|------------------|-------|--------|-----|
| 1753 | Smith | Joe | |
| 9832 | Smith | Jack | |
| | | | |

Inscriptions

| <u>Matricule*</u> | <u>Code*</u> |
|-------------------|--------------|
| 1753 | LI341 |
| 1753 | M009 |
| 9832 | LI341 |
| 1753 | LI345 |

Modules

| <u>code</u> | intitulé | niveau |
|-------------|-------------|--------|
| LI341 | BD | L3 |
| LI345 | Web | L3 |
| LI399 | Crypto | L3 |
| M009 | BD avancées | M1 |

Cas particuliers

- Requêtes sans réponse
 - $\{ e \mid \text{Etudiants}(e) \wedge \text{Modules}(e) \}$: deux tables ne peuvent avoir exactement le même n-uplet (schéma différents)
 - $\{ e \mid \text{Etudiants}(e) \wedge e.\text{salaire} > 100 \}$: salaire n'est pas attribut de Etudiants
- Requêtes avec réponse infinie → **requête pas sûre**
 - $\{ e \mid \neg \text{Etudiants}(e) \}$: chercher partout sauf dans la table Etudiants
 - $\{ e \mid \forall x \text{ Etudiants}(x) \wedge \dots \}$: tous les n-uplets du monde doivent être dans Etudiant
 - $\{ e \mid e.\text{att} > 5 \}$: e instanciée un nombre infini car pas liée à une table

Les requêtes sur une BD **doivent** être sûres !!!

Requêtes sûres

- Bonnes pratiques
 - Avec \forall , il faut toujours un \Rightarrow qui suit
 - Forme équivalente qu'on retrouve dans SQL:
 $\{ t \mid \text{Table}(t) \dots \exists v \in \text{TableBis} \dots \neg \exists v \in \text{TableTer} \dots \}$

Conclusion

- Présentation d'un langage de requête fondé sur la Logique du Premier Ordre
 - Les prédicats sont des tables, les constantes sont les valeurs atomiques, les variables sont liées aux n-uplets
 - Exprimer une requête = spécifier une condition logique
→ langage déclaratif
 - Autre variante : les variables liées aux attributs (calcul du domaine)
 - Avantage calcul des n-uplets : traduction quasi-directe vers SQL
- Prochain cours : SQL