Cours de BDA

Bases de Données Avancées, M1 2014-2015

Serenella Cerrito

Laboratoire Ibisc, Université d'Evry Val d'Essonne, France

Plan du Cours

1. Introduction et rappels du modèle relationnel
2. Modèles à objet et objet-relationnel
3. Modéles de données NoSQL: XML et le Modèle dit "Données Semi-structurées", puis plus si temps

Supports de cours à l'adresse :
http://www.ibisc.univ-evry.fr/∼serena/teach13-14.html

Introduction

Historique

- Avant 1970 : BD=fichiers d'enregistrements, "modèles" *réseaux* et *hiérarchique*; pas de vraie indépendance logique/physique.
- En 1970 : modèle *relationnel* (Codd) : vraie indépendance logique/physique.
- Années 80 et 90 : nouveaux modèles :
  modèle à objets et object-relationnel
  modèle à base de règles (Datalog)
- Fin années 90 : données dites *semi-structurées* (XML).

Centre de ce cours : modèle à objets et object-relationnel, puis modèle semi-structuré.

Notions essentielles des BD relationnelles

Mots clés :

- Univers U, Attributs $A_1, \cdots, A_n$
- Domaine $Dom(A)$ d'un attribut A
- Schéma d'une relation dont le nom est R.
- n-uplet sur un ensemble E d'attributs
- Relation (ou "table") sur un schéma de relation
- Schéma d'une BD
- Base de données B sur un schéma de base

Rappel des BD relationnelles

Un *univers* U est un ensemble fini et non-vide de noms, dits *attributs*.

Le *domaine* d'un attribut A ($Dom(A)$) est l'ensemble des valeurs possibles associé à A.

Exemple : $U =$
$\{NomFilm, Realisateur, Acteur, Producteur, NomCinema, Horaire\}$
$Dom(NomFilm) = Dom(Realisateur) = Dom(Acteur) =$
$Dom(Producteur) = Dom(NomCinema)=$ chaînes de caractères.
$Dom(Horaire) = \{h.m \mid h \in [0, \cdots, 24],\ m \in [0, \cdots, 59]\}$

Rappel des BD relationnelles

Un *schéma* d'une relation dont le nom est R est un sous-ensemble non-vide de l'univers U.

Suite de l'exemple :

- Schéma de la relation
  $Film = \{NomFilm, Realisateur, Acteur, Producteur\}$
- Schéma de la relation
  $Projection = \{NomFilm, NomCinema, Horaire\}$

Intuition : Format de deux tables.

Film :

NomFilm	Realisateur	Acteur	Producteur
⋮	⋮	⋮	⋮

Projection :

NomFilm	NomCinema	Horaire
⋮	⋮	⋮

Rappel des BD relationnelles

Soit $E = \{A_1, \cdots, A_n\}$ le schéma d'une relation.

Un *n-uplet* n sur E est un ensemble $\{A_1 : v_1, ..., A_n : v_n\}$ où $v_i \in Dom(A_i)$.

Un n-uplet possible sur le schéma de *Projection* :
$\{NomFilm : \text{“}Jugez - moi\ coupable''$, $NomCinema :$
$\text{“}Gaumont\ Alesia''$, $Horaire : 13.35\}$,
ce qui est la même chose que
$\{NomFilm : \text{“}Jugez - moi\ coupable''$, $Horaire :$
$13.35\rangle$, $NomCinema : \text{“}Gaumont\ Alesia''\}$.
Toutefois, le plus souvent on note :
$\langle \text{“}Jugez - moi\ coupable''$, $\text{“}Gaumont\ Alesia''$, $13.35\rangle$.

Pourquoi la définition précise de n-uplet demande d'indiquer l'attribut correspondant à chaque valeur ?

Rappel des BD relationnelles

Si t est un n-uplet sur E, et $E' \subset E$, la restriction de t à E se note $t(E')$.

La restriction de
$\langle$“*Jugez – moi coupable*”, “*Gaumont Alesia*”, 13.35$\rangle$ à
$\{$*NomCinema*, *NomFilm*$\}$ est :
$\langle$“*Jugez – moi coupable*”, “*GaumontAlesia*”$\rangle$.

Rappel des BD relationnelles

Une *relation* (table) r sur un schéma de relation S est un ensemble d'n-uplets sur
S. On dit aussi : S est le schéma de r.

Exemple.

Film :

NomFilm	Réalisateur	Acteur	Producteur
nf1	r1	a1	p1
nf1	r1	a2	p1
nf2	r2	a1	p2
nf3	r2	a1	p2

Projection :

NomFilm	NomCinema	Horaire
nf1	nc1	h1
nf1	nc2	h2
nf2	nc1	h3
nf3	nc2	h1

Rappel des BD relationnelles

Un schéma $\mathcal{S}$ *d'une base* sur un univers U est un ensemble non-vide d'expressions de la forme $N(S)$ où S est un schéma de relation et N un nom de relation.

Exemple(on omet les $\{\}$).
$U = \{NomFilm, Realizateur, Acteur, Producteur,$
$NomCinema, Horaire, Spectateur\}$

$$\mathcal{S} =$$

$\{$
$Film(NomFilm, Realizateur, Acteur, Producteur),$
$Projection(NomFilm, NomCinema, Horaire), Aime(Spectateur, NomFilm)$
$\}$

Schéma de la base = Format des données de la base.
Quel est le format de la base de l'exemple ?

- Une *base de données* (relationnelle) B sur un schéma de base $\mathcal{S}$ (avec univers U) est un ensemble de relations finies $r_1, \cdots r_n$ où chaque r_i est associée à un nom de relation N_i et est telle que si $N_i(S) \in \mathcal{S}$, alors r_i a S comme schéma.
- On peut aussi imposer des *contraintes* sur les données. Par exemple : les *dépendances fonctionnelles*, qui fixent, entre autres, les *clés* des relations (cours SGBD L3).
- Ces contraintes, dites d'*intégrité*, font aussi partie de la spécification du format des données de la base.

Rappel des BD relationnelles

Exemple d'une base

.

Film			
NomFilm	Réalisateur	Acteur	Producteur
nf1	r1	a1	p1
nf1	r1	a2	p1
nf2	r2	a1	p2
nf3	r2	a1	p2

Projection		
NomFilm	NomCinema	Horaire
nf1	nc1	h1
nf1	nc2	h2
nf2	nc1	h3
nf3	nc2	h1

Aime	
NomFilm	Spectateur
nf1	s1
nf1	s2
nf2	s1
nf3	s3

- Informellement : *Requête sur une base* = question que l'on pose à la base.
- *Langage de requête*= langage permettant d'écrire des requêtes
- Importance d'un langage de requête formel et rigoureux :
  1. Conception de langages commerciaux
  2. Evaluation de la puissance d'expression de chaque langage commercial
  3. Possibilité de déterminer ce qu'un langage commercial ne pourra pas exprimer
  4. Notion d'équivalence entre deux expressions de requête $\Rightarrow$ Optimisation "logique" de l'évaluation d'une requête

Deux langages formels pour le modèle relationnel : *algèbre relationnelle* et *calcul relationnel* (cours SGBD L3).

Les opérateurs de l'algèbre relationnelle

- Opérateurs ensemblistes : union ($\cup$), intersection ($\cap$), différence ($\setminus$), produit cartésien ($\times$)
- projection sur un ensemble d'attributs E (π_E), sélection d'un ensemble de n-uplets selon une condition C (σ_C), jointure "naturelle" ($\bowtie$), division ($\div$), renommage (ρ).

Limites du modèle relationnel

1. On ne peut pas imbriquer les informations
2. La structure du schéma est très rigide
3. On ne peut pas exprimer la clôture transitive d'une relation (par ex. vol(départ, arrivée) par rapport à vol_direct(départ, arrivée)

Commençons par (1).

Imbriquer

En relationnel (“première forme normale”) :

OPERAS :

Auteur	*Titre*	*Langue*
Mozart	La Flûte Enchantée	Allemand
Mozart	Don Juan	Italien
Mozart	Les noces de Figaro	Italien
Bizet	Carmen	Français
Bizet	Djamileh	Français

Redondance sur l’auteur.

Imbriquer

Si on imbrique :

OPERAS :

Auteur	*Opéra*	
Mozart	*Titre*	*Langue*
	La Flûte Enchantée	Allemand
	Don Juan	Italien
	Les noces de Figaro	Italien
Bizet	*Titre*	*Langue*
	Carmen	Français
	Djamileh	Français

On est sorti de la norme “Première Forme Normale”, primordiale pour le modèle relationnel.

Modèle à Objets

- Extension de concepts de langages comme C^{++} or Java au cas des BD, où la *persistance* des données est primordiale.
- Concepts clés :
  - types,
  - classes et objets,
  - identité des objets,
  - héritage.

Ici, on choisi *ODL* (Object Definition Language) comme langage de spécification de la structure d'une BD à objets $\rightarrow$ Ecriture du **schéma**.

ODL

En relationnel : en SQL, `create table` permet de spécifier une table.

En objet : une déclaration ODL permet de spécifier une classe.

ODL

Types

Types atomiques : integer, float, char, string, boolean et les *énumérations*.

Syntaxe d'un type enuméré : `enum NomType el1,...,elN`.
Par ex.: `enum CoulDrapeauFr bleau,blanc,rouge`

Une classe aussi est un type atomique (voir après ce que c'est une classe, ici).

ODL

Constructeurs de Types

- `Set<Type>`. *Ex.* : `Set<integer>`. *NB* : ensembles finis.
- `Bag<Type>`. Si T est un type, `Bag<`T`>` est un type T' dont les valeurs sont des *multi-ensembles finis* d'éléments de type T. *Ex.* : $\{1, 2, 1\}$ est de type `Bag<integer>`.
- `List<Type>`. *Ex.* : `List<char>` (les chaînes de caractères), `List<integer>`. *NB* : listes finies.
- `Array<Type, entier>` : type des tableaux de n (entier) éléments de type `Type`. *Ex.* : `Array<char, 10>`.
- `Dictionary<Type1, Type2>` : un type dont les valeurs sont des ensembles finis de couples $\langle$ clé, val $\rangle$, où clé est de type `Type1` et val est de type `Type2`.
- `Struct Nom { Type1 Nom1,...,TypeN NomN }`.
  Ex. : `Struct Adresse { string rue, string ville}`. (Type record !)

ODL

Possibilité d'imbriquer les constructeurs de types (la déf. des types est récursive !)

Par ex. :

```
Struct famille {
Set(string) enfants,
Struct père { string nom, string prenom} LePere,
Struct mère { string nom, string prenom } LaMère
}
```

ODL

Classes et Objets

- Une classe est un *type abstrait* : on définit les propriétés d'un objet et ce que l'objet peur faire (*méthodes*).
- Un objet o est une instance d'une classe C et a un et un seul idéntificateur (*OID*).
- Déclaration d'une classe en ODL :
  `class` Nom = { liste de propriétés et méthodes }

ODL

- La sorte la + simple de propriété : un attribut.
- Dćlaration d'un attribut : on indique son type et son nom.
- *Exemple* :
  `class Film {`
  `attribute string titre;`
  `attribute integer année;`
  `attribute integer longueur;`
  `attribute enum couleurs { couleur, noir&blanc }`
  `SorteFilm;`
  `};`
  Attribut `SorteFilm` : de type énumération.
  `couleurs` est le nom de ce type énuméré, tandis que le nom de l'attribut est `SorteFilm`.
- Un objet de cette classe : ("Autant en emporte le vent", 1939, 231, couleur)

ODL

Un autre exemple de classe :

```
class Star {
attribute string nom;
attribute Struct Adr { string rue, string ville  }
adresse
};
```

Ici l'attribut qui se nomme `adresse` est de type "structure" (record); ce type s'appelle "Adr" et le type des ses 2 champs est string.

ODL

Autre sorte de propriétés : Associations entre objets

- Mot clé dans la déclaration d'une classe : `relationship`
- Définition + riche de la classe `Film` :

```
class Film {
attribute string titre;
attribute integer année;
attribute integer longueur;
attribute enum couleurs { couleur, noir&blanc }
SorteFilm;
relationship Set<Star> acteurs;
};
```

Possibilité d'indiquer les acteurs d'un film donné, qui est un objet de la classe `Film`. Une relationship : comme une association en EA. Le type d'une relationship (ensemble "d'arrivée") : une classe, ou bien construit à partir d'une classe avec **un** constructeur de collection : `Set` ou `Bag` ou `List`. Ici : `Set<Star>`.

ODL

Donc :

- Type d'un attribut : construit à partir des types atomiques avec autant de constructeurs qu'on veut, peu importe lesquels.
- Type (ensemble "d'arrivée") d'une relationship : une classe, ou construit à partir d'une classe avec un seul constructeur de collection.

ODL

Associations INVERSES entre objets

On navigue entre les classes.

- Mot clé : `inverse`
- Définition de classes encore + riches :

```
class Film {
attribute string titre;
attribute integer année;
attribute integer longueur;
attribute enum couleurs { couleur, noir&blanc }
SorteFilm;
relationship Set<Star> acteurs
inverse Star::JoueDans };
class Star {
attribute string nom;
attribute Struct Adr = { string rue, string ville }
adresse;
relationship Set<Film> JoueDans
inverse Film::acteurs ;
};
```

ODL

La notation C::R signifie :
la relationship R est une relation definie dans la spécification de la classe C.

Toute relationship ODL est binaire.

ODL

Cardinalités des associations entre les classes

Relationship R *many-many* : le type de R et celui de son inverse sont un `Set` (ou un autre type collection) d'éléments d'une classe C.

C'est le cas d'`acteurs` (et `JoueDans`) pour l'exemple précédent :

le type de la relationship `acteurs` est `Set<Star>`
le type de `JoueDans` est `Set<Film>`.

ODL

Cardinalités des associations entre les classes, suite

Autre example de relation many-many :

```
class Bière {
...;
relationship Set<Buveur> Fans
inverse Buveur::Aime; }
class Buveur {
...;
relationship Set<Bière> Aime
inverse Bière::Fans;
}
```

Une bière peut avoir plusieurs fans, et un buveur peut aimer plusieurs bières.

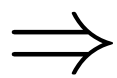
N.B. `Fans` a comme type (= type du cible) un `Set` d'objets de `Buveur` et `Aime` a comme type un `Set` d'objets de `Bière`.

ODL

Cardinalités des associations entre les classes, suite

Relationship R *many-one* : d'un coté `Set` (ou un autre type collection), de l'autre la classe.

On enrichie l'exemple précédent des bières et des buveurs en y ajoutant :
une bière peut avoir plusieurs `super-fans`, mais un buveur a une seule `bière-favorie`, dont il est un `super-fan` :



ODL

Cardinalités des associations entre les classes, suite

```
class Bière {
...;
relationship Set<Buveur> Fans
inverse Buveur::Aime;
relationship Set<Buveur> super-fans
inverse Buveur::bière-favorie;
}

class Buveur {
...;
relationship Set<Bière> Aime
inverse Bière::Fans;
relationship Bière bière-favorie
inverse Bière::super-fans;
}
```

ODL

Cardinalités des associations entre les classes, suite

Relationship R *one-one* : le type de la relation est une classe, des 2 cotés. Exemple : une fille a un seul époux et un garçon a une seule épouse.

```
class Fille {
...;
relationship Garçon Epoux
inverse Garçon::Epouse; }
class Garçon {
...;
relationship Fille Epouse
inverse Fille::Epoux;
}
```

Question : est-il vrai ou faux que la définition donnée permet le célibat ?

ODL

Une classe C peut être telle que l'inverse d'une de ses relationships est défini dans C elle même.

```
class Personne {
...;
relationship Personne Epoux
inverse Epouse;
relationship Personne Epouse
inverse Epoux; }
```

N.B : Puisque on écrit : `inverse Epouse`, sans le `::` pour spécifier où `Epouse` est définie, c'est implicite que `Epouse` est définie dans la même classe `Personne`; idem pour `Epoux`.

ODL

Associations liant + que 2 classes

En ODL on peut spécifier seulement des relations binaires.

Comment faire si l'on veut modéliser une relation R entre n classes, où $n > 2$?

On introduit une nouvelle classe C qui joue le rôle de R et on définit n relations binaires entre C et chaque C_i.

ODL

Exemple

On veut modéliser une relation *contrats* qui lie une star, un film et un studio. On crée une nouvelle classe `Contrat` :

```
class Contrat {
attribute integer salary;
relationship Film leFilm
inverse ...;
relationship Studio leStudio
inverse ...;
relationship Star LaStar
inverse ...;
};
```

Ici, `leFilm` est le nom de la relation qui lie un objet de la classe `Contrat` au seul objet de la classe `Film` auquel **ce** contrat fait référence et Film est le "type d'arrivée" de cette relation (un contrat est lié à un objet de la classe `Film`).

ODL

Exemple, suite

Pour pouvoir remplir la partie ... qui suit `inverse` après la déclaration de la relation `leFilm` de la classe `Contrat`, en y écrivant, par ex. :

`Film::ContratsPour`

il faut modifier la définition de la classe `Film`, en y ajoutant :

```
relationship Set<Contrat> ContratsPour inverse
Contrat::leFilm ;
```

ODL

Méthodes

- *Méthode* = code exécutable qui peut être appliqué à un objet.
- En ODL, on n'écrit pas le code d'une méthode : on indique juste son nom et sa *signature* : les types des entrées/sorties. *ODL est un langage de spécification !*
- Comme dans les langages de programmation orientés objet, l'objet au quel la méthode s'applique est un argument "caché" d'une méthode *m*.
- Une méthode *m* peut soulever des *exceptions*. Mot clé : `raises`.

ODL

Les paramètres d'une méthode *m* sont spécifiés par :
(a) `in` (entrée)
(b) `out` (sortie).
Une méthode peut aussi (c) renvoyer une valeur.

Différence entre (b) et (c) :

Sselon (b) la méthode *m* se comporte comme une procédure d'un langage impératif (C, par ex.).

Selon (c) *m* est comme une fonction. Si (b), alors le type du résultat est `void` (vide), car on n'a pas calculé une fonction, mais effectué une action.

ODL

Exemple

Définition encore + riche de la classe `Film`, avec 3 méthodes :

```
class Film {
attribute string titre;
attribute integer année;
attribute integer longueur;
attribute enum couleurs { couleur, noir&blanc }
SorteFilm;
relationship Set<Stars> acteurs
inverse Star::JoueDans;
float longeurHeures() raises(ErreurHoraire);
void NomsActeurs(out Set<String>);
void AutresFilms(in Star, out Set<Film>)
raises(PasValable);;
};
```

ODL

Explications :

`float longeurHeures()` raises(ErreurHoraire)
La méthode `longeurHeures` est une fonction, dont le type d'arrivée est `float`, et peut soulever des exceptions.

`NomActeurs` et `AutresFilms` sont des procédures.

`AutresFilms` prend en entrée un paramètre de type `Star`.

Etant donné un objet *f* de la classe `Film` et une star *s* qui joue dans *f*, cette procedure affecte à une variable de type `Set<Film>` l'ensemble des autres fils dans les quels *s* joue.

ODL

Avec ODL on peut déclarer qu'une classe *C* est une *sous-classe* d'une autre classe *D*.

Mot-clé : `extends`

Par ex. :

```
class Cartoon extends Film {
relationship Set<Star> voix;
}
```

Ici, les objets de `Cartoon` ont, par rapport à `Film`, la relation nouvelle `voix` avec l'ensemble de stars qui donnent leur voix aux personnages.
De plus, une sous-classe *C* de *D* *hérite* toutes les propriétés de *D*.
Dans l'exemple : tout objet de `Cartoon` a les attributs `titre`, `année`, `longueur`, `SorteFilm` et les relations `Acteurs`, etc.

ODL

Héritage Multiple

Supposons que nous avons défini aussi une classe `Policier`, qui est une autre sous-classe de `Film`. Le film *Roger Rabbit* appartient au même temps à `Cartoon` et `Policier`.

Comment faire en ODL ? Déclarer une nouvelle classe : `CartoonPolicier`

`extends` va être suivi par plusieurs noms de classes, séparées par ":"

```
class CartoonPolicier extends Policier :  Cartoon;
```

ODL

Héritage multiple : problème des conflits de noms

Exemple. Une sous-classe de `Film` qui s'appelle `FilmAmour` a un attribut `fin`, de type énuméré { `happy, triste` }.
Une autre sous-classe de `Film` qui s'appelle `FilmTribunal` a aussi un attribut `fin`, de type énuméré { `coupable, innocent` }.

Ambiguïté pour la classe `FilmTribunalEtAmour`, sous-classe des 2.

Le standard ODL ne dicte pas quoi faire.
Possibilités :

- Préciser la classe dont il faut hériter la signification de l'attribut `fin`
- Renommer un attribut. Par ex., attribut `fin` de `FilmTribunal` $\rightsquigarrow$ `verdict`

ODL

Un objet d'une classe C qui est une sous-classe de la classe D hérite aussi les méthodes de D.

C'est exactement comme dans le langages de programmation orientés objet.

ODL

Ensemble des définitions ODL décrivant les propriétés des classes et leur relations hiérachiques

$$=$$

Définition d'un **schéma** de base de donnés **à objets**

ODL

Extension d'une classe

Une définition d'une classe C en ODL spécifie le format (schéma) de la classe.

Pour faire référence à l'ensemble des instances de la classe (l'"extension" de C)) et pouvoir interroger la base : mot clé `extent`.

```
class Film (extent Films)
attribute string titre;
⋮
```

Une classe est un type (atomique) ses instances (les objets de la classe) sont des valeurs ayant ce type

N.B. : Expression `Film` $\neq$ Expression `Films`.
(On aurait pu utiliser `Totos`, à la place de `Films`, certes, mais pas `Film`).

N.B. Le mots clé `extent` est différent du mot clé `extends` :-)

ODL

Même si chaque objet a une identité unique on PEUT vouloir traiter plusieurs objets comme "non-distinguables" par rapport aux propriétés observables, même si chacun garde sa propre identité. C'est alors sensé de déclarer une *clé* : mot clé = `key`

```
class Film
(extent Films key (titre,année))
{
attribute string titre;
⋮
}
```

OQL

Un langage de Requête pour les BD Objet : OQL. Quelques Notions

- ODMG :*Obiect Data Management Group* (auteur aussi de ODL).
  Voir :
  `http://en.wikipedia.org/wiki/Object_Data_Management_Group`
- *Object Query Language* : la norme proposée par le groupe ODMG pour les langages de requête à objet, et implémentée par les SGBD à objets participant à ce groupe.
- Notation à la SQL. Mais pas de compatibilité avec le SQL relationnel.
- Utilisé comme extension d'un langage de programmation hôte, comme C^{++} ou Java.

OQL

Format Général d'une requête OQL

SELECT liste d'expressions
FROM liste d'une ou plusieurs déclarations de variables.
WHERE condition C de selection

Une variable est déclarée en indiquant :

1. Une expression `C` dont la valeur est une collection d'objets.
2. Le nom de la variable, `x`, par exemple.

Analogie entre la déclaration d'une variable et l'indication d'une relation, après le `FROM`, dans une requête du SQL relationnel.

Syntaxes alternatives pour déclarer une variable :
a la place de `C x` on peut aussi écrire :

```
x in C
x:  C
```

OQL

Notation "."

Soit o un objet d'une classe C.

- Si p est un attribut, $o.p$ est la valeur de p pou o.
- Si p est une relationship, $o.p$ est l'objet ou la collection d'objets reliés à o par p.
- Si p est une méthode (éventuellement avec paramètres $a_1, \cdots a_k$), $o.p(....)$ est le résultat de l'application de p à a.

  N.B : Puisque la déclaration de la méthode `NomsActeurs` de la classe `Film` est :
  `void NomsActeurs(out Set<String>);`
  cette méthode est une procédure. Donc si `MonFilm` est un objet de la classe `Film`, l'expression `MonFilm.NomsActeurs(mesStars)` ne renvoie pas de valeur, mais, comme effet de bord, fait si que la valeur de la variable output `mesStars` de la méthode, qui est de type `Set<String>`, soit un ensemble de noms d'acteurs.

OQL

Attention :

si `o.p` est une collection, ca n'a pas de sens de lui appliquer la notation pointée `o.p.q` ! Voir les exemples suivants.

Exemple d'une BD à objet pur illustrer OQL

```
class Film
(extent Films key (titre, année))
{
attribute string titre;
attribute integer année;
attribute integer longueur;
attribute enum couleurs { couleur, noir&blanc } SorteFilm;
relationship Set<Star> acteurs inverse Star::JoueDans;
relationship Studio appartient-à inverse Studio::possède;
float longeurHeures() raises(pasLongueurTrouvée);
void NomsActeurs(out Set<String>);
void autresFilms (in Star, out Set<Film>) raises(PasActeur);
};

class Star
(extent Stars key nom)
{
attribute string nom;
attribute Struct Adr
{string rue, string ville } adresse;
relationship Set<Film> JoueDans inverse Film::acteurs;
};

class Studio
(extent Studios key nom)
{
attribute string nom;
attribute string adresse;
relationship Set<Film> :possède inverse Film::appartient-à;

};
```

OQL

Exemples de Requêtes OQL

```
SELECT m.année
FROM Films m
WHERE m.titre = “Autant en emporte le vent”
```

Ici, `Films m` déclare que la variable `m` doit recevoir une valeur qui appartient à l'*extension* `Films` de la classe dont le nom est `Film`.
Une écriture alternative de cette déclaration de variable :
`m in Films`.

Dans cette requête, écrire `m.titre` a un sens, car la variable `m` reçoit un objet, qui est un élément de la classe des films.

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

```
SELECT DISTINCT s.nom
FROM Films m, m.acteurs s
WHERE m.appartient-à.nom = ‘‘Disney’’
```

Comme en SQL, le mot clé `DISTINCT` élimine le répétitions dans le multi-ensemble (bag) résultat.

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

Liste des titres des films du studio Disney, ordonnés par leur longueur; si deux films ont la même longueur, trier selon l'ordre alphabétique des titres.

```
SELECT m.titre
FROM Films m
WHERE m.appartient-à.nom = ‘‘Disney’’
ORDER BY m.longueur, m.titre
```

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

Les noms des acteurs du film 'Casablanca'

```
SELECT s.nom
FROM Films m, m.acteurs s
WHERE m.titre = “Casablanca”
```

Attention : `m.acteurs` est une collection, et la valeur de la variable `s` sera un élément de cette collection.

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

Attention, l'écriture suivante de la requête qui calcule les noms des acteurs du film Casablanca n'aurait pas été correcte :

```
SELECT m.acteurs.nom
FROM Films m
WHERE m.titre = "Casablanca"
```

En fait, `m.acteurs` renvoie une collection, donc la notation pointée `m.acteurs.nom` n'est pas correcte ! Comparer avec l'écriture précédente, qui était correcte.

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

On veut l'ensemble des couples de stars qui vivent à la même adresse :

```
SELECT DISTINCT Struct(star1:s1, star2:  s2)
FROM Stars s1, Stars s2
WHERE s1.adresse = s2.adresse AND s1.nom < s2.Nom
```

Pour chaque couple qui passe le test on produit un record, avec 2 champs, nommés `star1` et `star2`. Le type de chaque champ est la classe `Star`.
Le type du résultat final de cette requête (qui est un ensemble de couples d'acteurs) est :

```
Set<Struct{star1:  Star, star2:  Star}>
```

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

Utilisation de "sous-requêtes"

Une autre façon de chercher les noms des acteurs des films du studio Disney (la requête du premier exemple) :

```
SELECT DISTINT s.nom
FROM (SELECT m
       FROM Films m
       WHERE m.appartient-à.nom =''Disney'') f,
       f.acteurs s
```

La variable `m` renvoie la collection des films du studio Disney, et cette collection est le résultat de la sous-requête :

```
SELECT m
       FROM Films m
       WHERE m.appartient-à.nom =''Disney''
```

Donc la variable `f` va être affectée, chaque fois, à un objet de cette collection (un film de Disney) et la variable `s` prend valeur dans la collections des acteurs du film de Disney `f`.

OQL

Exemples de Requêtes OQL, suite

Sous-classes

Si on a declaré `Cartoon` comme sous-classe de `Film`, et `TheCartoons` comme son ensemble de valeurs (avec le mot-clé `extents` de ODL), alors la requête

```
SELECT m
FROM Films m
WHERE m.appartient-à.nom = ‘‘Disney’’
ORDER BY m.longueur, m.titre
```

crée un ensemble d'objets contenant les films du studio Disney, peu importe s'ils sont de la classe `Cartoon` ou pas.

Comparer à :

```
SELECT m
FROM TheCartoons m
WHERE m.appartient-à.nom = ‘‘Disney’’
ORDER BY m.longueur, m.titre
```

Bases Relationnelles-Objet

Le relationnel-objet sur Oracle

Un système de gestion de bases de données *relationnel-objet* est, essentiellement, un SGBD relationnel, mais qui simule la définition de classes, donc l'imbrication de structures typique du modèle objet, et l'heritage.

Historiquement, la recherche sur le relationnel-objet a commencé au debut des années 90. Beaucoup de ces idées ont été incorporées dans SQL.

IBM's DB2, Oracle, et Microsoft SQL Server les supportent (avec des niveaux de réussite variables).

Au département : une version d'Oracle supportant le relationnel-objet. On va va étudier certaines de ses caractéristiques objet.

Bases Relationnelles-Objet

Definition de Types : UDT(*User Defined Types*)

En plus des types usuels (`VarChar, Number, Date` etc), l'utilisateur peut travailler avec ses propres types.
Oracle permet de définir des types **OBJECT**.

Syntaxe :
CREATE TYPE t AS OBJECT
(
liste d'attributes et methodes
);
/

Ceci déclare le nouveau type, qui s'appelle `t`, dont chaque élémentest un objet structuré, comportant des attributes et des méthodes. Tout ce qui est de type OBJECT possède un oid et peut être référencé (voir après).

Bases Relationnelles-Objet

Definition de Types, suite.

Syntaxe alternative, permettant, éventuellement, de redéfinir un type :

```
CREATE OR REPLACE TYPE t AS OBJECT
(
liste d'attributes et methodes
);
/
```

Bases Relationnelles-Objet

Definition de Types, suite

par ses coordonnées :

```
CREATE TYPE PointType AS OBJECT (
x NUMBER,
y NUMBER );
/
```

NB:
Analogie avec la définition d'un type structuré ayant deux champs, `x` et `y` dont les types sont atomiques, en ODL. Imbrication !

Bases Relationnelles-Objet

Définition de Types, suite

Un type OBJECT peut être utilisé pour déclarer d'autres types OBJECT. Par exemple, on peut définir un type pour les lignes géométriques où on indique 2 points de la ligne :

```
CREATE TYPE LineType AS OBJECT (
end1 PointType,
end2 PointType
); /
```

NB:
Analogie avec la définition d'un type structuré ayant deux champs, ayant euxmêmesun type structuré (`PointType`), en ODL.

Bases Relationnelles-Objet

Tables

On peut alors crér une table relationnelle *qui n'est pas en première forme normale*.

Creation d'une table de lignes, où, de plus, chaque ligne est nommée par la valeur de l'attribut `lineID` :

```
CREATE TABLE Lines (
lineID INT,
line LineType
);
```

Analogie avec la définition d'une classe en ODL, ayant deux attributes, `lineID` et `line`, où le second a un type structuré

Bases Relationnelles-Objet

Elimination de Types

Pour éliminer un type comme `LineType` :

DROP TYPE Linetype;
("to drop" en anglais : laisser tomber, jeter.)

N.B. On doit d'abord effacer toutes les tables et les autres types qui utilisent ce type (dans l'exemple : la table `Lines`).

Bases Relationnelles-Objet

Construction d'objets (valeurs). Constructeurs pre-définis pour crér des valeurs, dont les noms sont les noms des types.

Suite de l'exemple.

Pour crér une valeur de type `PointType` : le mot `PointType` (nom du type) suivi par les valeurs en ().

Construction d'une ligne de la table `Lines`, la 27, qui part du point (0,0) et arrive au point (3,4) :

```
INSERT INTO Lines
        VALUES(27, LineType(
        PointType(0.0, 0.0),
        PointType(3.0, 4.0) ));
```

N.B. On utilise `INSERT` comme pour l'insertion dans une table standard. On a créé 2 valeurs de type `PointType` et 1 valeur de type `LineType`.

Bases Relationnelles-Objet

Déclarations de méthodes.
Une déclaration de type peut inclure la déclaration de méthodes, à l'aide de `MEMBER FUNCTION` ou `MEMBER PROCEDURE`. Comme en ODL, il faut spécifier les types des entrées et sortie.

Suite de l'exemple. On ajoute une fonction `length` au type `LineType`, qui produit la longueur d'une ligne et la multiplie par un facteur (`scale`).

```
CREATE TYPE LineType AS OBJECT (
        end1 PointType,
        end2 PointType,
        MEMBER FUNCTION length(scale IN NUMBER)
        RETURN NUMBER,
        PRAGMA RESTRICT_REFERENCES(length, WNDS));
/
```

La dernière instruction (`PRAGMA...`) dit que la méthode ne change pas la BD. (WNDS = *Write No Database State*). C'est une clause necessaire, si l'on veut utiliser `length` dans une requête

Bases Relationnelles-Objet

Définition du code d'une méthode

Le code de la méthode est donné à part, dans une instruction `CREATE TYPE BODY`. Ici, on ne répéte pas les types des entrés (et des sorties des procédures). La variable spéciale `SELF` dans la déf. de la méthode indique la valeur courante.

Suite de l'exemple

```
CREATE TYPE BODY LineType AS
  MEMBER FUNCTION length(scale NUMBER) RETURN NUMBER IS
        BEGIN
        RETURN scale * SQRT(
         (SELF.end1.x-SELF.end2.x)* (SELF.end1.x-SELF.end2.x) +
         (SELF.end1.y-SELF.end2.y)*(SELF.end1.y-SELF.end2.y))
        END;
END;
/
```

Bases Relationnelles-Objet

Quelques exemples de requête relationnelle-objet

Calcul du double de la longueur des chaque ligne :

```
SELECT ll.line.length(2.0)
FROM Lines ll;
```

La requête utilise la méthode length.

Attention : Il faut utiliser une variable (ici, `ll`) pour acceder à un champ avec la notation " . ". Par exemple, l'écriture suivante ne marchera pas :

```
SELECT line.length(2.0)
FROM Lines;
```

C'est comme pour OQL : après le `FROM` on déclare une variable comme recevant une valeur dans une collection fixée (ici : la table des lignes).

Bases Relationnelles-Objet

Quelques exemples de requête relationnelle-objet, suite

Coordonnées de la première extremité de chaque ligne :

```
SELECT ll.line.end1.x, ll.line.end1.y
FROM Lines ll;
```

Seconde extremité de chaque ligne,
comme valeur de type `PointType` :

```
SELECT ll.line.end2
FROM Lines ll;
```

Une réponse possible : `PointType(3.0,4.0)`.

Bases Relationnelles-Objet

Syntaxe `Create TABLE ... OF...`

Les deux écritures suivantes créent une table "dont le schéma est `LineType`" :

```
CREATE TABLE Lines1 (
end1 PointType
end2 PointType
);

CREATE TABLE Lines1 OF LineType;
```

Mais, attention, seulement cette seconde écriture permet d'utiliser la méthode length. Pourquoi ?

Bases Relationnelles-Objet

Types Références

Si t est un type OBJECT, `REF`(t) (ou `REF` t) est les type des références à des valeurs de type t, par le biais de leurs OID.

Exemple :

Définition d'une table Lines2 dont chaque ligne est donnée par référence à 2 points :

```
CREATE TABLE Lines2 (
end1 REF PointType,
end2 REF PointType );
```

Bases Relationnelles-Objet

Exemple, suite : définition du contenu dune table avec `REF`.

Supposons qu'on a déjà une table `Points` dont les valeurs sont de type `PointType`. On remplie la table `Lines2` avec des valeurs qui sont toutes les lignes dont les extremités (gauche et droite) sont des éléments de la table `Points` :

```
INSERT INTO Lines2
    SELECT REF(pp), REF(qq)
    FROM Points pp, Points qq
WHERE pp.x < qq.x;
```

Attention : On peut référencer seulement un objet qui existe déjà dans une table. Par exemple, ceci ne marchera pas :

```
INSERT INTO Lines2
    VALUES(REF(PointType(1.3,2.5)), REF(PointType(3.4,4.7));
```

Les objets `PointType(1.3,2.5)` et `PointType(3.4,4.7)` ne vivent dans aucune table !

Bases Relationnelles-Objet

Pour suivre une référence avec le `.`, on fait comme si la valeur d'un attribut de type référence était litteralement la valeur du type référencé.

Exemple : Calcul des coordonnées `x` des extremité de chaque ligne élément de `Lines2` :

```
SELECT ll.end1.x, ll.end2.x
FROM Lines2 ll;
```

Bases Relationnelles-Objet

Encore sur l'usage de `REF`

Un autre exemple de déclaration de type et de table à l'aide des réferences :

```
CREATE TYPE T-Personne AS OBJECT
   (NSS NUMBER
   Nom VARCHAR(18)
   Prenom VARCHAR(18)
   conjoint REF T-Personne)/
```

L'attribut `conjoint` pointera à un oid de type `T-Personne`.
Penser à une *relationship* `conjoint` d'une classe de personnes en ODL !

```
CREATE TABLE LesPersonnes OF T-Personne
```

On crée une table d'objets de type `T-personne`.

Bases Relationnelles-Objet

Encore sur l'usage de `REF`, suite de l'exemple

La clause `REF(variable-objet)` donne en résultat l'oid d'un objet.

La requte suivant insère un objet (Philippe Tochat) et *initialise son lien de référence* `conjoint` (sur Annie Muller) :

```
INSERT INTO LesPersonnes(NSS,Nom,Prenom,Conjoint) VALUES
(17924457911, 'Rochat', 'Philippe',
      SELECT REF(p) FROM LesPersonnes p
      WHERE p.Nom='Muller' AND p.Prenom='Annie'
```

N.B : Annie Muller doit exister déjà, pour pouvoir la référencer. Comment éviter la circularité ? A voir en TD.

Bases Relationnelles-Objet

Encore sur les références , suite de l'exemple

La clause `DEREF(oid)` permet de récupérer la valeur de l'objet identifié par l'oid.

La requête :

SELECT p.Nom, p.conjoint FROM LesPersonnes p;

donnera les noms des personnes et l'oid de leur conjoint. En revanche, la requête :

SELECT p.Nom, DEREF(p.conjoint) FROM LesPersonnes p;

donnera, pour chaque personne `p`, son nom, et la "valeur" de son conjoint (qui est un objet), donc : son NSS, son nom, son prénom, et l'oid de son conjoint (c.à.d. l'oid de `p`, si le conjoint du conjoint de `p` est `p`).

Bases de données relationnelles-objet

Relations imbriquées

On peut aussi créer une table où la valeur d'un attribut est une relation elle-même.

Penser à l'exemple avec les musiciens et leur opéras du debut du cours ! On simule des tables imbriquées.

Bases Relationnelles-Objet

Relations imbriquées, déclaration du schéma

Définition du schéma d'une table dont les élément sont des polygones, tout polygone étant une table (de points) lui-même.

D'abord, la création du type `PolygonType` :

```
CREATE TYPE PolygonType AS TABLE OF PointType;
/
```

Le type que l'on vient de creer est tel que chaque valeur de ce type est elle même une table relationnelle dont les n-uplets sont tous de type `PointType`.

Bases Relationnelles-Objet

Relations imbriquées, déclaration du schéma, suite.

Création de la table des polygones :

```
CREATE TABLE Polygons (
name VARCHAR2(20),
points PolygonType)
NESTED TABLE points STORE AS PointsTable;
```

Chaque ligne de la table crée est un polygone, qui a un nom (“triangle1”, triangle2, “rectangle1”, “héxagone1”, etc) et est consitué par un ensemble (table) de points.

Oracle crée physiquement une table annexe (PointsTable) dans laquelle il stockera les valeurs de cet attribut.

Bases Relationnelles-Objet

Vision de l'utilisateur :

A	B	C
a	b	D E F 1 2 3 2 3 4
a1	b1	D E F 1 5 6 3 7 8

En réalité, 2 tables :

A	B
a	b
a1	b1

A	D	E	F
a	1	2	3
a	2	3	4
a1	1	5	6
a1	3	7	8

Bases Relationnelles-Objet

Relations imbriquées, remplissage des tables

La valeur de chaque relation de niveau inférieur est représentée par une liste de valeurs du type approprié (`PolygoneType` dans notre exemple).

Exemple d'insertion d'un polygone qui est un carré :

```
INSERT INTO Polygons VALUES(
    'square',
    PolygonType(PointType(0.0, 0.0), PointType(0.0, 1.0),
        PointType(1.0, 0.0), PointType(1.0, 1.0)))
```

Bases Relationnelles-Objet

Relations imbriquées, exemples de requêtes

Les points du carré :

```
SELECT points FROM Polygons WHERE name = 'square';
```

Les points du carré qui sont sur la diagonale (x=y) :

```
SELECT ss
FROM THE
     (SELECT points
     FROM Polygons
     WHERE name = 'square'
     ) ss
WHERE ss.x = ss.y;
```

(sous-requête, relation du niveau inférieur dans le `FROM` avec le mot-clé `THE` et utilisation de la variable `ss` pour la nommer.) Le `THE` transforme une relation imbriquée en une relation ordinaire, à aquelle on peut appliquer un FROM.

Bases Relationnelles-Objet

Hiérarchie de types OBJECT

En Oracle, à partir de la version 9, on peut créer des hiérarchies de types OBJECT.

Pour déclarer un type t pour lequel on va déclarer des sous-type, il faut ajouter la clause `NOT FINAL` lorsque on crée t.

Pour déclarer un sous-type t' d'un type non final t, il faut utiliser le mot-clé `UNDER`.

Pas d'héritage multiple ! Un type t' peut avoir un seul sur-type t.

Bases Relationnelles-Objet

Exemple de hiérarchie de types OBJECT

```
CREATE TYPE T-Personne2 AS OBJET
(NSS NUMBER
Nom VARCHAR(18)
Prenom VARCHAR(18)
Adresse VARCHAR(200))
NOT FINAL/

CREATE TYPE T-ETUDIANT UNDER T-Personne
Université VARCHAR(18)
Département VARCHAR(18))
/
```

Bases Relationnelles-Objet

Exemple de hiérarchie de types OBJECT, suite

Quand le type t' est un sous-type de t, une valeur de type t' est aussi une valeur de type t.

CREATE Table LesPersonnes OF T-Personne2;

INSERT INTO LesPersonnes VALUES(T-ETUDIANT
(22222222 'Muller', 'Annie',
'Rue du Marché, 1, Paris', 'Evry', 'Informatique')

CREATE TABLE LivresEmpruntés(livre VARCHAR(20),
emprunteur T-Personne2);

INSERT INTO LivresEmpruntés VALUES('Les Bases de données',
(T-ETUDIANT
22222222 'Muller', 'Annie','Rue du Marché, 1,
Paris', 'Evry', 'Informatique')

Hiérarchie de types OBJECT, fin

La clause <valeur> IS OF <nom-sous-type> teste si la valeur appartient au sous-type.