Ingénierie des Modèles

Transformation de modèles

Eric Cariou

Master Technologies de l'Internet 2ème année

Université de Pau et des Pays de l'Adour
UFR Sciences Pau – Département Informatique

Eric.Cariou@univ-pau.fr

Transformations

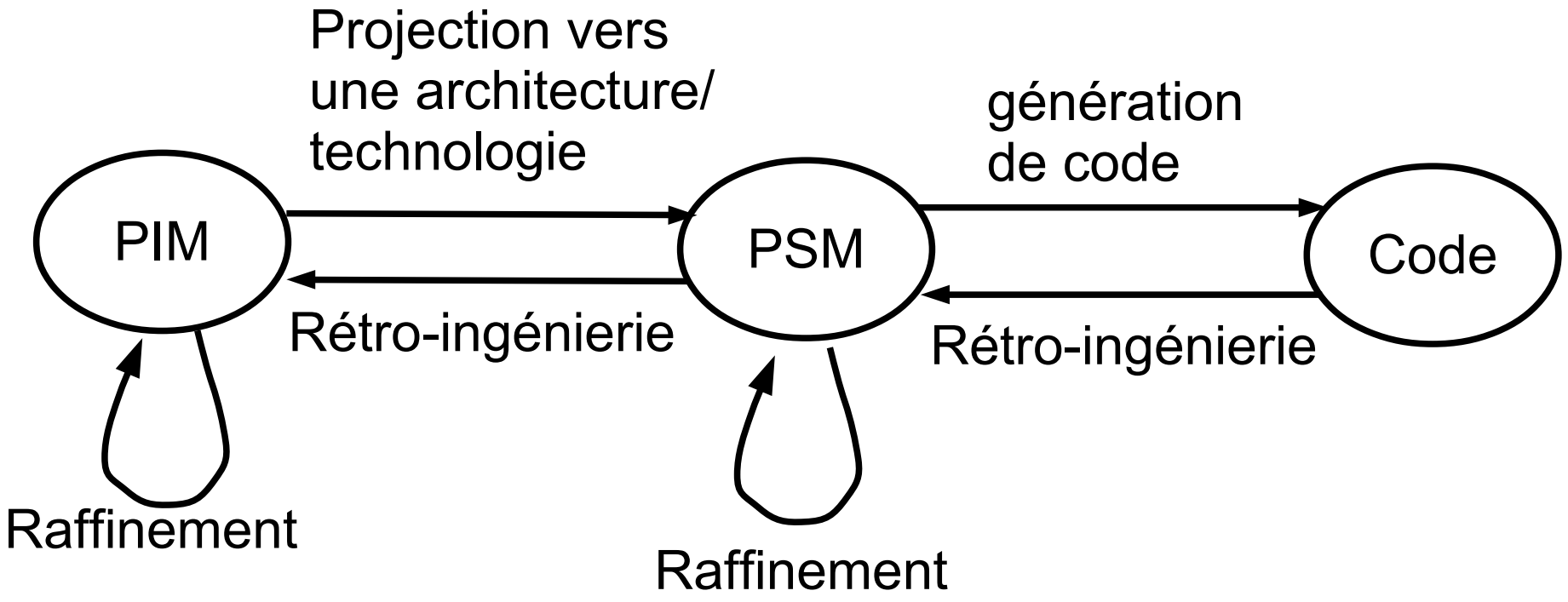
- Une transformation est une opération qui
  - Prend en entrée des modèles (source) et fournit en sortie des modèles (cibles)
    - Généralement un seul modèle source et un seul modèle cible
- Transformation endogène
  - Les modèles source et cible sont conformes au même méta-modèle
    - Transformation d'un modèle UML en un autre modèle UML
- Transformation exogène
  - Les modèles source et cible sont conformes à des méta-modèles différents
    - Transformation d'un modèle UML en programme Java
    - Transformation d'un fichier XML en schéma de BDD

Model Driven Architecture

- Le MDA définit 2 principaux niveaux de modèles
  - PIM : Platform Independent Model
    - Modèle spécifiant une application indépendamment de la technologie de mise en oeuvre
    - Uniquement spécification de la partie métier d'une application
  - PSM : Platform Specific Model
    - Modèle spécifiant une application après projection sur une plate-forme technologique donnée

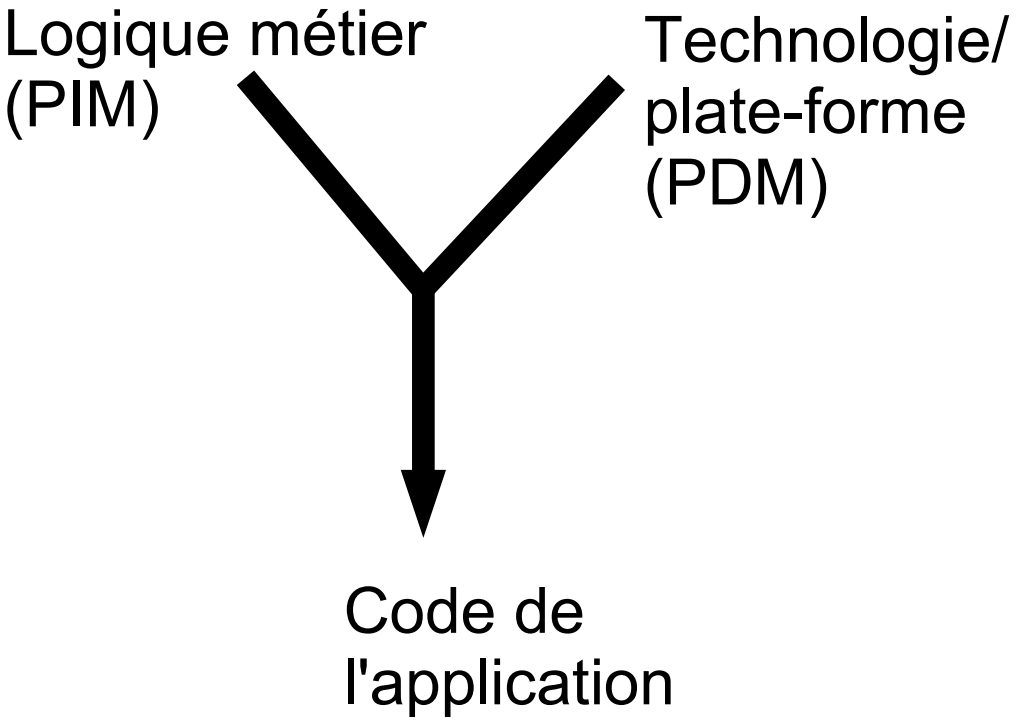
Model Driven Architecture

- Relation entre les niveaux de modèles



Model Driven Architecture

- Cycle de développement d'un logiciel selon le MDA
  - Cycle en Y
  - Plus complexe en pratique
    - Plutôt un cycle en épi



Niveaux de modèles

- Les niveaux PIM et PSM du MDA peuvent se généraliser dans tout espace technologique
  - Modèles de niveau abstrait : indépendamment d'une plateforme de mise en oeuvre, d'une technologie
  - Modèles de niveau concret : par rapport à une plateforme, technologie de mise en oeuvre
- Nécessité de modéliser une plateforme de mise en oeuvre
  - PDM : Platform Deployment Model
  - Peu de choses sur ce sujet ...

Transformations en série

- Réalisation d'une application
  - Processus basé sur une série de transformations de modèles
- Exemple
  1. Modèle de l'application au niveau abstrait, avec un modèle de composant abstrait : modèle PIM
  2. Projection du modèle vers un modèle de composant EJB : modèle PSM
  3. Raffinement de ce modèle pour ajouter des détails d'implémentation : modèle PSM
  4. Génération du code de l'application modélisée vers la plateforme EJB

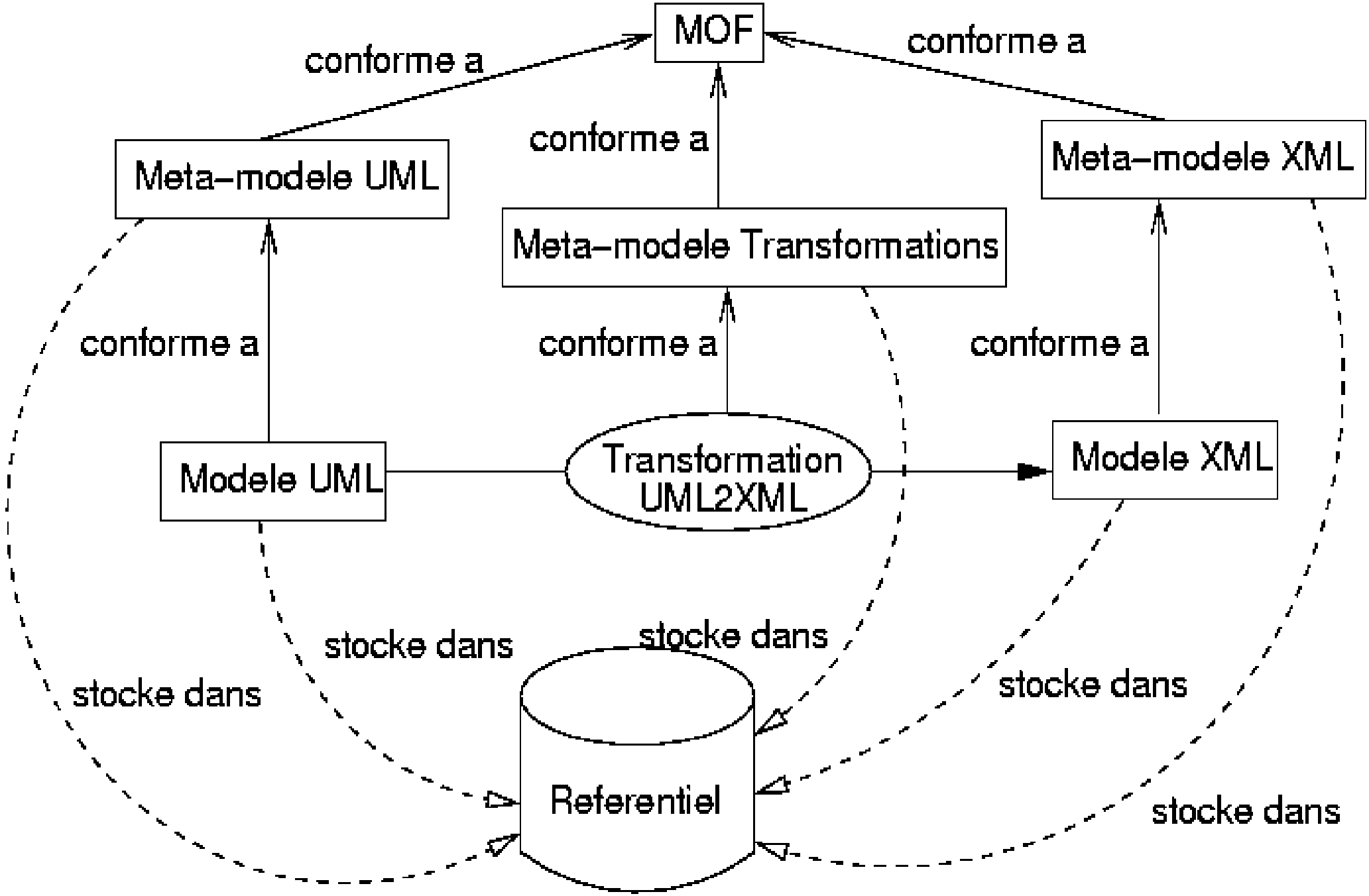
Autre vision des transformations

- Depuis longtemps on utilise des processus de développement automatisé et basé sur les transformations
  - Rien de totalement nouveau
    - Adaptation à un nouveau contexte
  - Exemple : compilation d'un programme C
    - Programme C : modèle abstrait
    - Transformation de ce programme sous une autre forme mais en restant à un niveau abstrait
      - Modélisation, représentation différente du programme C pour le manipuler : transformation en un modèle équivalent
      - Exemple : arbres décorés
    - Génération du code en langage machine
      - Avec optimisation pour une architecture de processeur donnée

Outils pour réaliser des transformations

- Outils de mise en oeuvre
  - Exécution de transformations de modèles
    - Nécessité d'un langage de transformation
    - Qui pourra être défini via un méta-modèle de transformation
  - Les modèles doivent être manipulés, créés et enregistrés
    - Via un *repository* (dépôt, référentiel)
    - Doit pouvoir représenter la structure des modèles
      - Via des méta-modèles qui devront aussi être manipulés via les outils
      - On les stockera également dans un repository
- Il existe de nombreux outils ou qui sont en cours de développement (industriels et académiques)
  - Notamment plusieurs moteurs/langages de transformation

Modèles/méta-modèles/repository



Transformations : types d'outils

- Langage de programmation « standard »
  - Ex : Java
  - Pas forcément adapté pour tout
  - Sauf si interfaces spécifiques
    - Ex : JMI (Java Metadata Interface) ou framework Eclipse/EMF
- Langage dédié d'un atelier de génie logiciel
  - Ex : J dans Objecteering
  - Souvent propriétaire et inutilisable en dehors de l'AGL
- Langage lié à un domaine/espace technologique
  - Ex: XSLT dans le domaine XML, AWK pour fichiers texte ...
- Langage/outil dédié à la transformation de modèles
  - Ex : standard QVT de l'OMG, langage ATL
- Atelier de méta-modélisation avec langage d'action
  - Ex : Kermeta

Transformations : types d'outils

- 3 grandes familles de modèles et outils associés
  - Données sous forme de séquence
    - Ex : fichiers textes (AWK)
  - Données sous forme d'arbre
    - Ex : XML (XSLT)
  - Données sous forme de graphe
    - Ex : diagrammes UML
    - Outils
      - Transformateurs de graphes déjà existants
      - Nouveaux outils du MDE et des AGL (QVT, J, ATL, Kermeta ...)

Techniques de transformations

- 3 grandes catégories de techniques de transformation
  - Approche déclarative
    - Recherche de certains patrons (d'éléments et de leurs relations) dans le modèle source
    - Chaque patron trouvé est remplacé dans le modèle cible par une nouvelle structure d'élément
    - Ecriture de la transformation « assez » simple mais ne permet pas toujours d'exprimer toutes les transformations facilement
  - Approche impérative
    - Proche des langages de programmation usuels
    - On parcourt le modèle source dans un certain ordre et on génère le modèle cible lors de ce parcours
    - Ecriture transformation peut être plus lourde mais permet de toutes les définir, notamment les cas algorithmitiquement complexes
  - Approche hybride : à la fois déclarative et impérative
    - La plupart des approches déclaratives offrent de l'impératif en complément car plus adapté dans certains cas

Repository

- Référentiel pour stocker modèles et méta-modèles
  - Les (méta)modèles sont stockés selon le formalisme de l'outil
    - XML par exemple pour les modèles
    - Et DTD/Schema XML pour les méta-modèles
  - Forme de stockage d'un modèle
    - Modèle est formé d'instances de méta-éléments, via la syntaxe abstraite
      - Stocke ces éléments et leurs relations
    - L'affichage du modèle via une notation graphique est faite par l'AGL
  - Les référentiels peuvent être notamment basés sur
    - XML
      - XMI : norme de l'OMG pour représentation modèle et méta-modèle
    - Base de données relationnelle
    - Codage direct dans un langage de programmation

Modèle en Java pour diag. états

- ```
  public class StateMachine {
      protected Vector states = new Vector();
      protected Vector transitions = new Vector();

      public void addState(State s) {
          states.add(s);  }

      public void addTransition(Transition t) {
          transitions.add(t); }
  ... }
  ```
- ```
  public class Transition {
      protected State from, to;
      protected String event;

      public Transition(
                  State from, State to, String evt) {
          this.from = from;
          this.to = to;
          event = evt; }
  }
  ```

Modèle en Java pour diag. états

- ```
  public class State {
      protected String name;
      public State(String name) {
          this.name = name; }
  }
  ```
- Définition d'un modèle : instances et liaisons de ces 3 classes

```
...
StateMachine sm;
State s1,s2;
...
sm = new StateMachine();
s1 = new State("Ouvert");
s2 = new State("Ferme");
sm.addState(s1);
sm.addState(s2);
sm.addTransition(new Transition(State.Initial, s1, ""));
sm.addTransition(new Transition(s1, s2, "fermer"));
sm.addTransition(new Transition(s2, s1, "ouvrir"));
```
```

Transfo. basique de modèles en Java

- Transformation de modèles
  - Ajout de méthodes pour lire les éléments du modèle
    - Ex. pour StateMachine : `getStates(), getTransitions()`
  - Parcours du modèle via ces méthodes
    - Approche impérative
  - Utilisation possible du patron Visiteur
  - Génération d'un nouveau modèle à partir de ce parcours
    - En utilisant éventuellement des méthodes des différentes classes pour gérer la transformation des éléments un par un

```
public class State {
...
public String toXML() {
    return new String("<state>\n\t<name>"+name
            +"</name>\n</state>\n"); } ...
```

Transfo. basique de modèles en Java

- Parcours de type « impératif » du graphe d'objet pour sérialisation en XML

```
String xml = "<statemachine>";

Iterator it = sm.getStates().iterator();
while(it.hasNext())
    xml += ((State)it.next()).toXML();

it = sm.getTransitions().iterator();
while(it.hasNext())
    xml += ((Transition)it.next()).toXML();

xml += "</statemachine>";

System.out.println(xml);
```

Transfo. basique de modèles en Java

- Résultat sérialisation XML

```
<statemachine>
     <state>
          <name>Ouvert</name>
     </state>
     <state>
          <name>Ferme</name>
     </state>
     <transition>
          <from>_initial</from>
          <to>Ouvert</to>
          <event></event>
     </transition>
     <transition>
          <from>Ouvert</from>
          <to>Ferme</to>
          <event>fermer</event>
     </transition>
     <transition>
          <from>Ferme</from>
          <to>Ouvert</to>
          <event>ouvrir</event>
     </transition>
</statemachine>
```

Query/View/Transformation

- Langage(s) de transformation et de manipulation de modèles normalisé par l'OMG
  - Query/View/Transformation ou QVT
  - Query : sélectionner des éléments sur un modèle
    - Le langage utilisé pour cela est OCL légèrement modifié et étendu
    - Avec une syntaxe différente et simplifiée
  - View : une vue est une sous-partie d'un modèle
    - Peut être définie via une query
    - Une vue est un modèle à part, avec éventuellement un méta-modèle restreint spécifique à cette vue
  - Transformation : transformation d'un modèle en un autre

Langages de transformation dans QVT

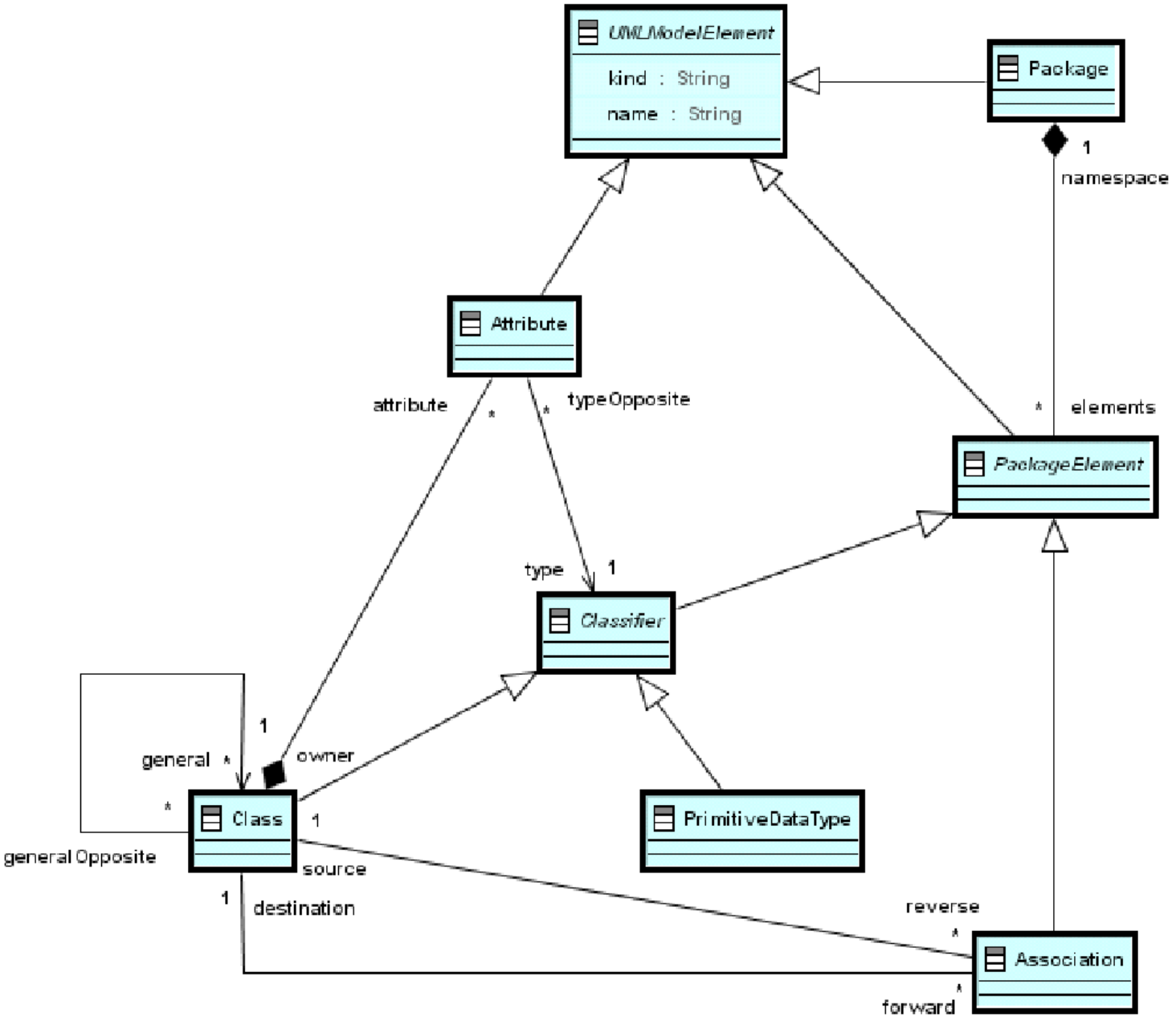
- 3 langages/2 modes pour définir des transformations
  - Mode déclaratif
    - *Relation*
      - Correspondances entre des ensembles/patrons d'éléments de 2 modèles
      - Langage de haut niveau
    - *Core*
      - Plus bas niveau, langage plus simple
      - Mais avec même pouvoir d'expression de transformations que *relation*
  - Mode impératif
    - *Mapping*
      - Impératif, mise en oeuvre/raffinement d'une relation
      - Ajout de primitives déclaratives inspirées en partie d'OCL
        - Manipulation d'ensembles d'objets avec primitives à effet de bords
- Plusieurs syntaxes pour écriture de transformation selon les langages
  - Syntaxe textuelle
  - Syntaxe graphique

QVT : langage « relation »

- Une transformation est définie par un ensemble de relations
- Une relation fait intervenir 2 domaines
  - Domaine = ensemble d'éléments d'un modèle
  - Relation = contraintes sur dépendances entre éléments de 2 domaines
    - Domaine du modèle source
    - Domaine du modèle cible
- Une relation peut s'appliquer
  - Par principe quand on applique la transformation
  - En dépendance d'application d'une autre relation

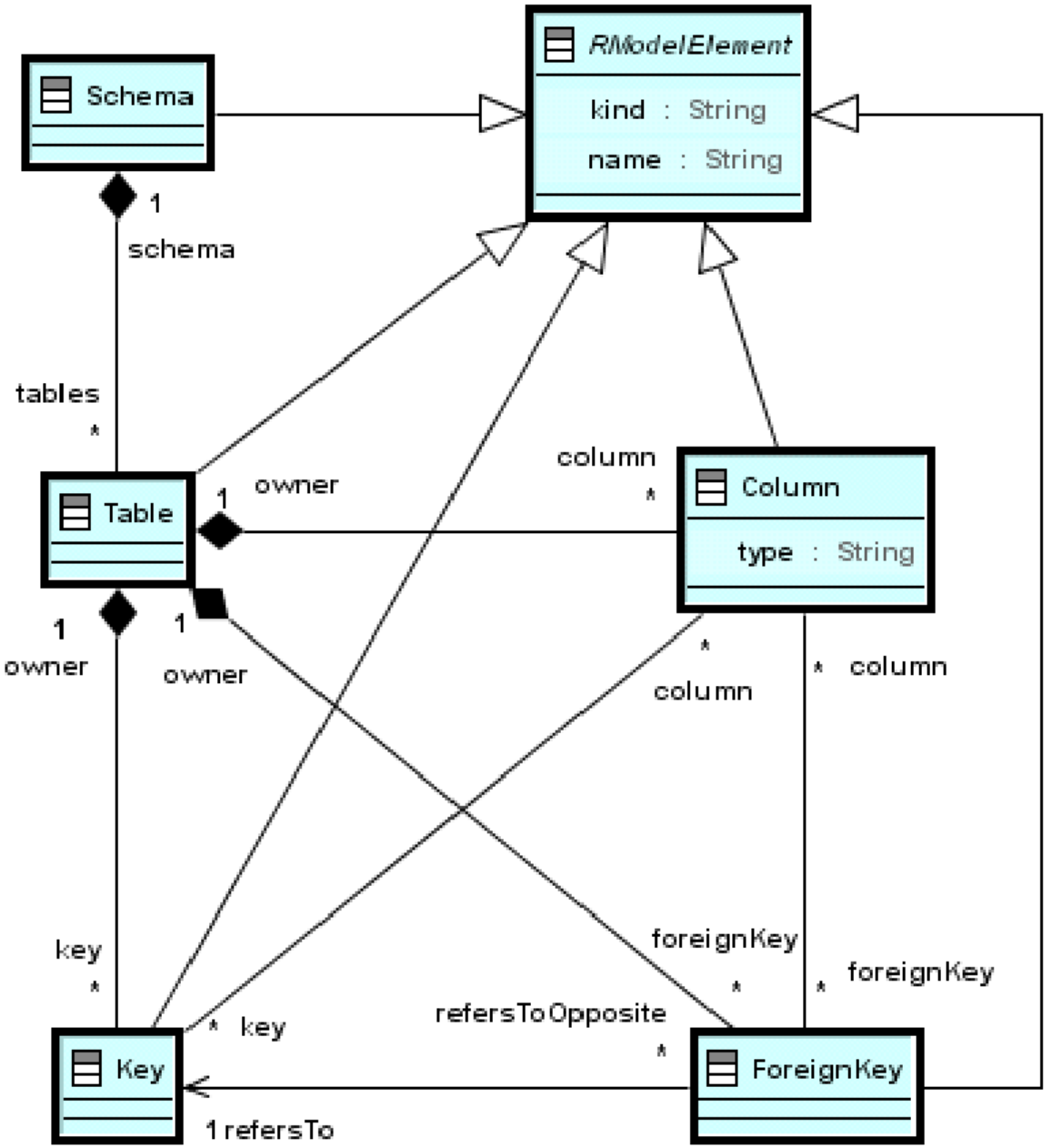
Exemple : UML vers SGBDR

- Méta-modèle UML simplifié



Exemple : UML vers SGBDR

- Méta-modèle relationnel simplifié



Exemple : UML vers SGBDR

- But de la transformation
  - Modèle de données en UML vers équivalent schéma de données relationnel (et inversement)
  - ```
    transformation umlToRdbms(uml : SimpleUML, rdbms :
                                        SimpleRDBMS) {
        top relation PackageToSchema {…}
        top relation ClassToTable {…}
        relation AttributeToColumn {…}
        ...
    }
    ```
- Etapes de la transformation
  - Chaque package UML correspond à un schéma de BDD, chaque classe persistante à une table, chaque attribut de classe à une colonne de table ...
- Relations marquées avec « top »
  - S'appliquent par principe
  - Les autres s'appliquent si dépendantes d'autres relations
    ```

Exemple : UML vers SGBDR

```
top relation PackageToSchema
{
    domain uml p:Package {name=pn}
    domain rdbms s:Schema {name=pn}
}
```

- Pour chaque package UML, on a un schéma de données portant le même nom
  - Les attributs `name` correspondent à la même variable `pn`

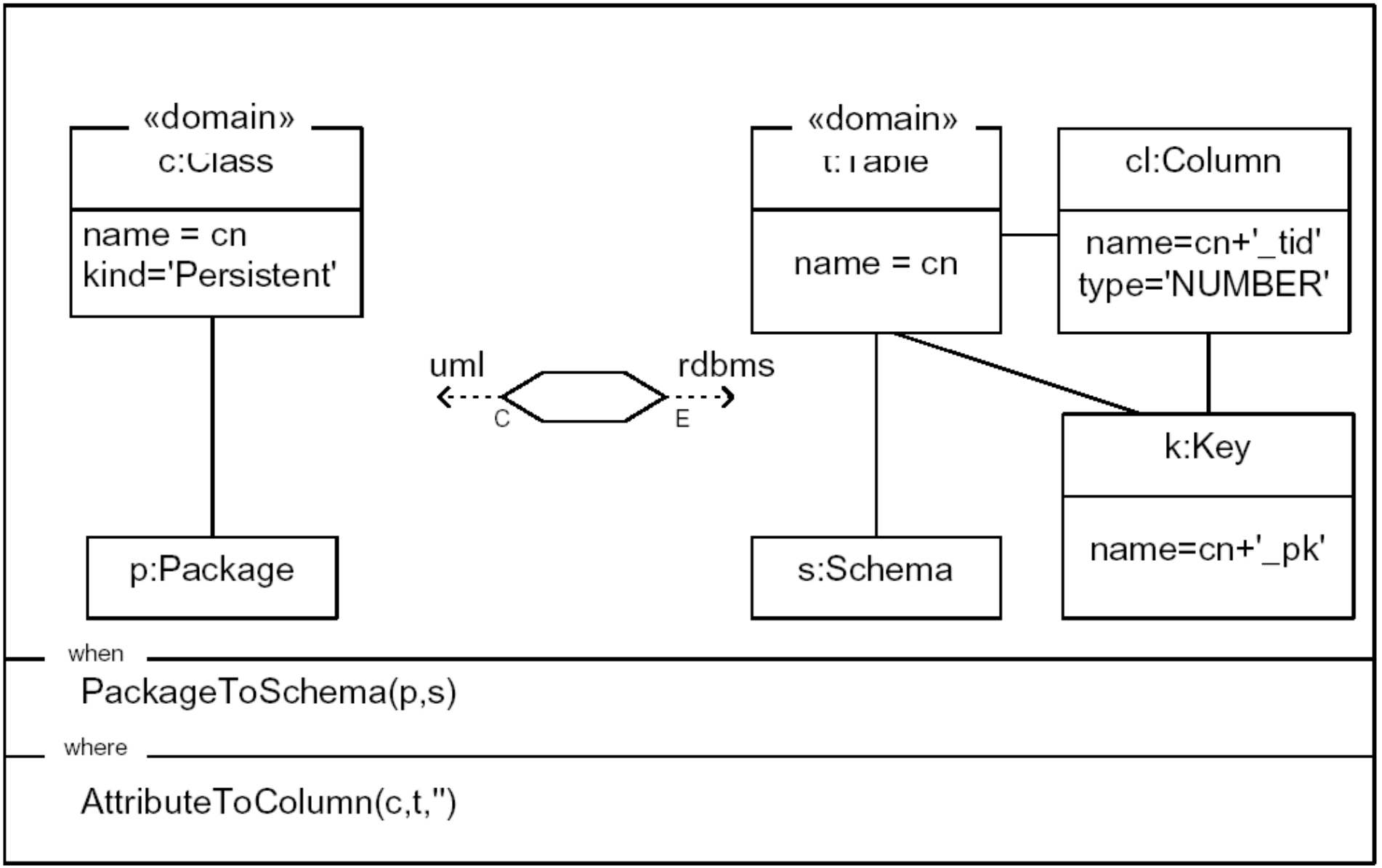
Exemple : UML vers SGBDR

```
top relation ClassToTable {
  domain uml c:Class {
    namespace = p:Package {},
    kind='Persistent',
    name=cn
  }
  domain rdbms t:Table {
    schema = s:Schema {},
    name=cn,
    column = cl:Column {
      name=cn+'_tid',
      type='NUMBER'},
    primaryKey = k:PrimaryKey {
      name=cn+'_pk',
      column=cl}
  }
  when {
    PackageToSchema(p, s);
  }
  where {
    AttributeToColumn(c, t);
  }
}
```

- Pour chaque classe persistante
  - On a une table avec
    - Le même nom
    - Une colonne pour l'identifiant avec nom formé à partir du nom de la classe
    - Une clé primaire avec nom formé à partir du nom de la classe
- Dépendances avec autres relations
  - « ClasseToTable » est appliquée quand on applique « PackageToSchema »
  - Et il faut appliquer aussi « AttributeToColumn » pour la classe et la table

Exemple : UML vers SGBDR

- Relation « ClassToTable », syntaxe graphique



Types de relations entre modèles

- Transformations définies par des relations
  - Correspondances/dépendances entre 2 modèles dans un sens comme dans l'autre
    - Spécification est bi-directionnelle par défaut
  - A l'exécution, on choisit une direction de transformation
    - Exécution est mono-directionnelle
  - Modèle cible peut exister ou pas à l'exécution
    - Sera alors complété, modifié ou créé selon les cas
- Possibilité de spécialiser une transformation/relation
  - Juste vérifier si le modèle cible est cohérent rapport au modèle source (checkonly)
  - Imposer que le modèle cible soit cohérent rapport au modèle source (enforced)

Types de relations entre modèles

- Exemple avec transformation UML/SGDBR
  - ```
    relation PackageToSchema {
      checkonly domain uml p:Package {name=pn}
      enforce domain rdbms s:Schema {name=pn}
    }
    ```
  - Exécution dans le sens UML vers SGBDR
    - Source = uml, cible = rdbms
    - Le modèle cible comportera strictement un schéma pour chaque package du modèle source
      - Création des schémas manquants
      - Suppression des schémas existants mais ne correspondant pas
  - Exécution dans le sens SGBDR vers UML
    - Source = rdbms, cible = uml
    - Vérifie seulement, en précisant les erreurs le cas échéant, que chaque schéma du modèle source correspond à un package du modèle cible (aucune modification du modèle cible)
    ```

Exécution/spécification

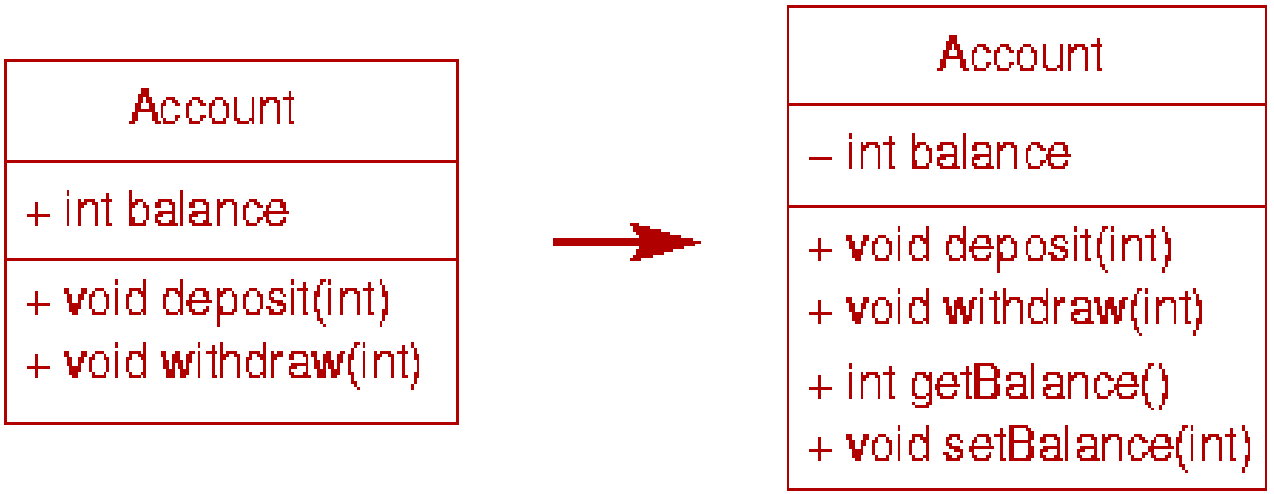
- Problématiques d'exécution de transformations sont fondamentales
- Mais doit aussi être capable de spécifier des tranformations
  - Trois buts principaux
    - Spécification et documentation
      - Préciser ce que fait la transformation, dans quelles conditions on peut l'utiliser
    - Vérification, validation et test
      - S'assurer qu'un modèle peut bien être transformé ou bien est le résultat valide d'une transformation
    - Validation de l'enchainement de transformation
      - Enchainement de transformations est à la base de tout processus de développement basé sur le MDE

Spécification de transformation

- Mes travaux de recherche
  - Spécification de transformations via des contrats de transformations
    - Contrats : ensemble de contraintes sur un élément logiciel que s'engage à respecter l'élément (et l'utilisateur de l'élément)
    - Spécifie ce que ce fait l'élément sans détailler comment il fait (ce qui correspond au code)
    - Exemple du compte banquaire du cours sur OCL
      - **context** Compte : débiter(somme : int)
        pre: somme > 0
        post: solde = solde@pre - somme
      - L'opération débiter s'engage à respecter la post-condition si l'élément appelant l'opération respecte la pré-condition
  - Utilisation du langage OCL pour définir ces contrats

Exemple basique de transformation

- Privatisation des attributs
  - Chaque attribut d'une classe devient privé et se voit associer une paire d'accesseurs



- Contrat de la transformation
  - Chaque attribut du modèle cible possède un « getter » et un « setter »
  - Les attributs ont tous été conservés pendant la transfo : pas d'ajout, de suppression ou modification

Contrats de transformations

- Contrat de transformations de modèles = 3 ensembles de contraintes
  - Contraintes que doit respecter un modèle source
    - De manière générale, indépendamment du contenu du modèle
  - Contraintes que doit respecter un modèle cible
    - De manière générale, indépendamment du contenu du modèle
  - Contraintes sur les relations des éléments du modèle source vers le modèle cible
    - Contraintes de passage (des éléments) du modèle source au cible
- Deux premiers ensembles de contraintes
  - Contraintes sur les modèles source et cible
    - S'expriment au niveau de leur méta-modèle
    - Ensemble de contraintes OCL standard

Contrats de transformations

- Contraintes sur relations entre source et cible
  - Idée intuitive : spécifier en OCL via des pré et post-conditions l'opération de transformation définie au niveau du méta-modèle
    - Pré-condition = état avant la transfo : modèle source
    - Post-condition = état après la transfo : modèle cible
    - Dans post-condition : construction @pre permet de référencer les éléments avant la transformation
      - Peut donc référencer à la fois des éléments du source et du cible et définir des contraintes entre ces éléments
  - Problème de cette approche
    - Ne peut vérifier les contraintes que lors de l'exécution de la transformation
    - Doit avoir un outil capable de faire les 2 en même temps
    - Impossible à appliquer avec des modèles obtenus de manière quelconque ou modifiés/transformés à la main

Contrats de transformations

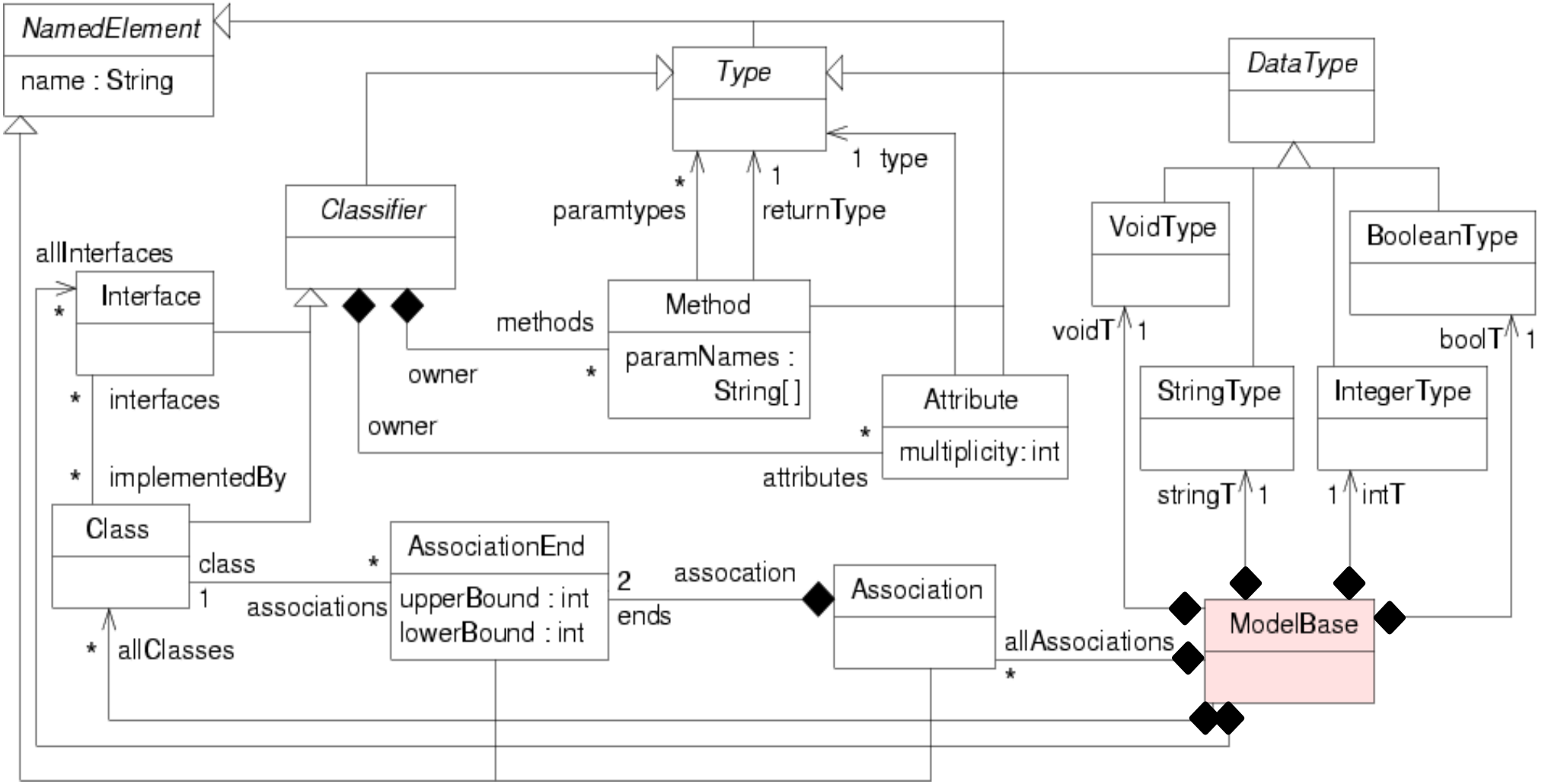
- Contraintes sur relations entre source et cible
  - Autre technique : utiliser un ensemble d'invariants s'appliquant sur les 2 modèles à la fois
  - Limite d'OCL ici : le contexte simple d'expression des contraintes
    - Ne permet pas de manipuler 2 modèles en même temps
  - Solution
    - Concaténer les 2 modèles en un seul et définir les invariants sur le modèle concaténé
  - Mise en oeuvre pratique (contexte endogène uniquement ici)
    - Le méta-modèle est modifié pour y ajouter un élément nommé *ModelReference* et contenant une chaine *modelName*
    - Tous les éléments du méta-modèle héritent de cet élément
    - On concatène les 2 modèles en « taggant » chaque élément avec « source » ou « target » selon le modèle auquel il appartient
    - On peut ensuite écrire l'ensemble des contraintes en pouvant référencer facilement les éléments des modèles soure et cible

Exemple de privatisation d'attributs

Privatisation d'attributs

- Pour un diagramme de classe, passer les attributs d'une classe en privé et leur associer un « getter » et un « setter »
- On va traiter en entier cet exemple
  - Transformation en Kermeta, style impératif
  - Transformation en ATL, style déclaratif
  - Contrat de transformation associé
- Utilisation d'un méta-modèle simplifié de diagramme de classe
  - Méta-modèle UML trop complexe pour cet exemple
- Sources disponibles en ligne
  - http://web.univ-pau.fr/~ecariou/contracts/

MM simplifié de diagramme de classe



- Note: les visibilités ne sont pas définies, on ne les gérera pas pendant la transformation

MM simplifié de diagramme de classe

- Contraintes OCL pour compléter le méta-modèle
  - Unicité des noms de type

```
context Type inv uniqueTypeNames:
Type.allInstances() -> forAll (t1, t2 |
          t1 <> t2 implies t1.name <> t2.name)
```

  - Une interface n'a pas d'attributs

```
context Interface inv noAttributesInInterface:
attributes -> isEmpty()
```

  - Une méthode à une liste de noms de paramètres et une liste de types de paramètres de même taille

```
context Method inv sameSizeParamsAndTypes:
paramNames -> size() = paramTypes -> size()
```

  - ...

Règles générales de la transformation

- Pour un attribut *att* de type *type*, la forme des accesseurs est
  - Getter : *type getAtt()*
  - Setter : *void setAtt(type xxx)*
    - Le nom de l'attribut est quelconque
- Règles de transformations
  - Pour chaque attribut de chaque classe
    - On ajoute, s'ils n'existaient pas déjà, un setter et un getter dans la classe qui possède l'attribut
  - Doit donc prévoir des fonctions de vérification de la présence d'un getter ou d'un setter

Transformation en Kermeta

- Vérification de la présence d'un getter

```
operation hasGetter(att : Attribute) : Boolean is do
  result := att.owner.methods.exists { m |
     if (m.name.size <=3)
     then
       false
     else
       m.name.substring(0,3).equals("get") and
       m.name.substring(3,4).equals(att.name.substring(0,1).toUpperCase) and
       m.name.substring(4,m.name.size).equals(
                                        att.name.substring(1,att.name.size)) and
       m.returnType == att.type and
       m.paramNames.empty() and
       m.paramTypes.empty()
     end
  }
end
```

- Pour un attribut, on récupère les méthodes de sa classe (att.owner.methods) et on vérifie qu'il existe un getter
  - Nom « getAtt » (vérifie taille chaine > 3 sinon les substring plantent)
  - Même type de retour que l'attribut
  - Liste de paramètres vide

Transformation en Kermeta

- Vérification de la présence d'un setter

```
operation hasSetter(att : Attribute) : Boolean is do
  result := att.owner.methods.exists { m |
     if (m.name.size <=3)
     then
       false
     else
       m.name.substring(0,3).equals("set") and
       m.name.substring(3,4).equals(att.name.substring(0,1).toUpperCase) and
       m.name.substring(4,m.name.size).equals(
                                        att.name.substring(1,att.name.size)) and
       m.returnType.name.equals("void") and
       m.paramNames.size() == 1 and
       m.paramTypes.includes(att.type)
     end
  }
end
```

- Vérification d'un setter
  - Nom « setAtt »
  - Un seul paramètre, du même type que l'attribut
  - Type de retour est « void »

Transformation en Kermeta

```
operation addAccessors(base : ModelBase): ModelBase is do
  base.allClasses.each { cl |
    cl.attributes.each { att |
      var met : Method

      if not(hasGetter(att)) then
         met := Method.new
         met.name := "get"+ att.name.substring(0,1).toUpperCase +
                                              att.name.substring(1,att.name.size)
         met.returnType := att.type
         met.owner := att.owner
         cl.methods.add(met)
      end

      if not(hasSetter(att)) then
        met := Method.new
        met.name := "set" + att.name.substring(0,1).toUpperCase +
                                              att.name.substring(1,att.name.size)
        met.returnType := base.voidT
        met.paramNames.add("value")
        met.paramTypes.add(att.type)
        met.owner := att.owner
        cl.methods.add(met)
      end
    }
  }
  result := base
end
```

Transformation en Kermeta

- Réalisation de la transformation
  - A partir de la base du modèle, on parcourt l'ensemble des classes et pour chacun de leur attribut, s'il ne possède pas un getter ou un setter
    - Crée la méthode en instanciant le méta-élément Method
    - Positionne son nom en « setAtt » ou « getAtt »
    - Positionne son type de retour
      - Référence sur le type void (voidT) ou le type de l'attribut
    - Positionne les listes des paramètres pour un getter à partir du type de l'attribut et le nom « value »
      - Sinon reste vide par défaut (cas d'un setter)
    - Positionne les associations entre la méthode créée et la classe qui possède l'attribut
      - Cette classe doit aussi posséder la méthode créée
  - Retourne ensuite la base du modèle modifiée

Transformation en ATL

- Pour vérification des présences des getter et setter, utilise des helpers écrits en OCL (légère diff de syntaxe)

```
helper context CDSource!Attribute def: hasGetter() : Boolean =
self.owner.methods -> exists ( m |
   m.name = 'get' + self.name.firstToUpper() and
   m.paramNames -> isEmpty() and
   m.paramTypes -> isEmpty() and
   m.returnType = self.type
);
```

```
helper context CDSource!Attribute def: hasSetter() : Boolean =
self.owner.methods -> exists ( m |
   m.name = 'set' + self.name.firstToUpper() and
   m.paramNames -> size() = 1 and
   m.paramTypes -> includes( self.type ) and
   m.returnType = thisModule.voidType
);
```

- Fonction pour gérer le premier caractère d'une chaine en majuscule

```
helper context String def: firstToUpper() : String =
self.substring(1, 1).toUpper() + self.substring(2, self.size());
```

- Référence sur le type void

```
helper def: voidType : CDSource!VoidType =
CDSource!VoidType.allInstances() -> asSequence() -> first();
```

Transformation en ATL

- Transformation ATL en mode raffinement
  - Duplication d'éléments référencés, directement ou indirectement, dans le modèle cible sans modification
    - Et sans règles explicites pour les créer coté cible
  - Cinq règles de transformation
    - Création d'une base de modèle identique
      - Le raffinement fait que toutes les classes, interfaces et associations de la base seront alors automatiquement dupliquées
    - Pour chaque attribut, on a des régles qui créent l'attribut coté cible et les éventuels méthodes accesseurs manquantes
    - Selon qu'il possède déjà un getter ou un setter, 4 cas différents
      - Possède un gettter et un setter (règle « hasAll »)
      - Possède un setter mais pas un getter (règle « hasSetter »)
      - Possède un getter mais pas un setter (règle « hasGetter »)
      - Ne possède ni l'un ni l'autre (règle « hasNothing »)

Transformation en ATL

```
module AddAccessorRefining;
create cible : CDTarget refining source : CDSource;

... liste des helpers ...

rule duplicateModelBase {
from
   sourceBase : CDSource!ModelBase
to
   cibleBase : CDTarget!ModelBase (
      allClasses <- sourceBase.allClasses,
      allInterfaces <- sourceBase.allInterfaces,
      allAssociations <- sourceBase.allAssociations,
      voidT <- sourceBase.voidT,
      intT <- sourceBase.intT,
      stringT <- sourceBase.stringT,
      boolT <- sourceBase.boolT )
}

rule attributeHasAll {
from
  attSource : CDSource!Attribute (
     attSource.hasSetter() and attSource.hasGetter())
to
   attTarget : CDTarget!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity )
}
```

Transformation en ATL

```
rule attributeHasSetter {
from
   attSource : CDSource!Attribute (
      attSource.hasSetter() and not(attSource.hasGetter())
)
to
   attTarget : CDTarget!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity
   ),
   getter : CDTarget!Method (
      name <- 'get' + attSource.name.firstToUpper(),
      returnType <- attTarget.type,
      owner <- attTarget.owner
   )
do {
     attTarget.owner.methods <- attTarget.owner.methods -> including(getter);
   }
}
```

- Pour un attribut du source, 2 éléments sont créés coté cible
  - L'attribut équivalent
  - La méthode getter associée, qui est ajoutée dans la liste des méthodes de la classe de l'attribut via la section impérative « do »

Transformation en ATL

```
rule attributeHasGetter {
from
   attSource : CDSource!Attribute (
      not(attSource.hasSetter()) and attSource.hasGetter()
)
to
   attTarget : CDTarget!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity
   ),
   setter : CDTarget!Method (
      name <- 'set' + attSource.name.firstToUpper(),
      returnType <- thisModule.voidType,
      owner <- attTarget.owner,
      paramNames <- Set { 'value' },
      paramTypes <- Set { attTarget.type }
   )
do {
      attTarget.owner.methods <-attTarget.owner.methods -> including(setter);
   }
}
```

Transformation en ATL

```
rule attributeHasNothing {
from
   attSource : CDSource!Attribute (
      not(attSource.hasSetter()) and not(attSource.hasGetter())
   )
to
   attTarget : CDTarget!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity
   ),
   setter : CDTarget!Method (
      name <- 'set' + attSource.name.firstToUpper(),
      returnType <- thisModule.voidType,
      owner <- attTarget.owner,
      paramNames <- Set { 'value' },
      paramTypes <- Set { attTarget.type }
   ),
   getter : CDTarget!Method (
      name <- 'get' + attSource.name.firstToUpper(),
      returnType <- attTarget.type,
      owner <- attTarget.owner
   )
do {
   attTarget.owner.methods <- attTarget.owner.methods -> including(getter);
   attTarget.owner.methods <- attTarget.owner.methods -> including(setter);
   }
}
```

Contrat de transformation

- Trois ensembles de contraintes pour la privatisation des attributs
  - Sur modèles source : aucune
  - Sur modèles cible : chaque attribut possède un getter et un setter
  - Sur les relations entre les modèles source et cible : la liste des attributs ne change pas
    - Pas de création, de modification (nom, type, ...) ou de supression d'attributs entre le source et le cible
  - Peut écrire un ensemble unique de contraintes qui vérifient les 2 derniers ensembles sur le modèle concaténé
    - Rappel : chaque élément est taggé par « source » ou « target » selon qu'il appartient au modèle source ou cible

Contrat de transformation

- Pour vérifier la non modification d'un attribut
  - Doit commencer par récupérer l'attribut équivalent dans l'autre modèle
  - Il a le même nom, le même type et le même propriétaire
    - Même propriétaire = appartient à la même classe dans l'autre modèle
      - La classe du même nom puisque les noms de types sont uniques
    - Même type = même nom de type
  - Puis on vérifie que les 2 attributs sont identiques
    - Qu'ils ont le même nom, le même type et le même propriétaire
    - Il suffit donc de trouver l'attribut équivalent : s'il existe c'est bon
  - On définit pour cela une fonction de correspondance d'attribut
    - Générée automatiquement par un outil

Contrat de transformation

- Non modification d'un attribut
  - Pour tout attribut, on vérifie qu'il lui existe un attribut équivalent dans l'autre modèle
    - Si attribut du source, cherche dans le cible
    - Si attribut du cible, cherche dans le source
    - La vérification dans les 2 sens assure qu'on ne rajoute ni ne supprime aucun attribut
- Vérification de la présence d'un getter ou d'un setter
  - A faire pour un attribut du coté cible
  - Réutilise directement les fonctions définies pour la transformation ATL

Contrat de transformation

```
context Attribute def:
        MappingAttribute (attribute : Attribute) : Boolean =
    self.name = attribute.name and
    self.multiplicity = attribute.multiplicity and
    self.owner.name = attribute.owner.name and
    self.type.name = attribute.type.name

context Attribute def:
     existsMappingAttribute(modelKind : String) : Boolean =
    Attribute.allInstances() -> exists(att |
       att.modelName = modelKind and
       att.MappingAttribute(self)
    )

context Attribute inv accessorContract:
    if (self.modelName = 'source')
       self.existsMappingAttribute('target')
    else
       self.existsMappingAttribute('source') and
       self.hasGetter() and
       self.hasSetter()
    endif
```