Ingénierie des Modèles

Transformation de modèles

Eric Cariou

Master Technologies de l'Internet 2ème année

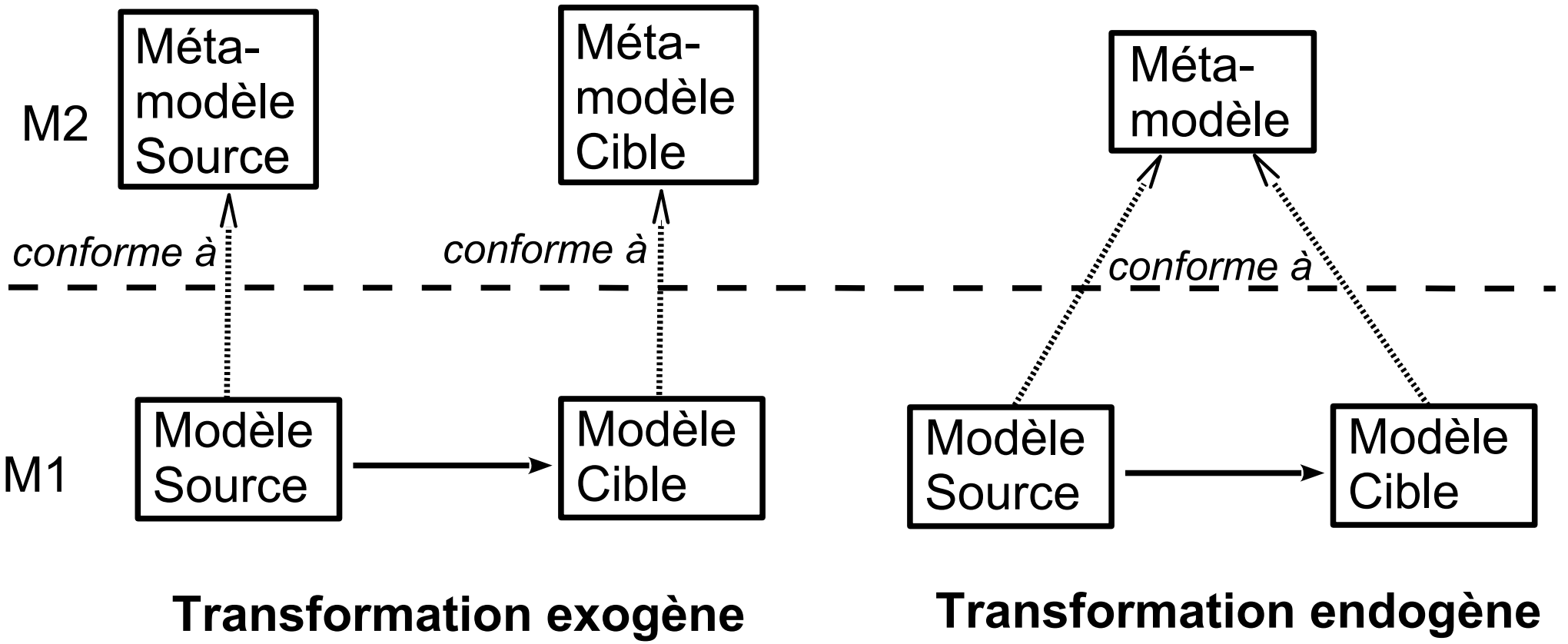
Université de Pau et des Pays de l'Adour
UFR Sciences Pau – Département Informatique

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
  - Modèles source et cible conformes au même méta-modèle
- Transformation exogène
  - Modèles source et cible conformes à des méta-modèles différents
- Transformations model to model (M2M) ou model to text (M2T)
- Exemples
  - M2T : d'un modèle UML vers un programme Java (génération de code)
  - M2M exogène : d'un diagramme UML vers un schéma de BDD
  - M2M endogène : d'un modèle UML vers un autre modèle UML

Transformations

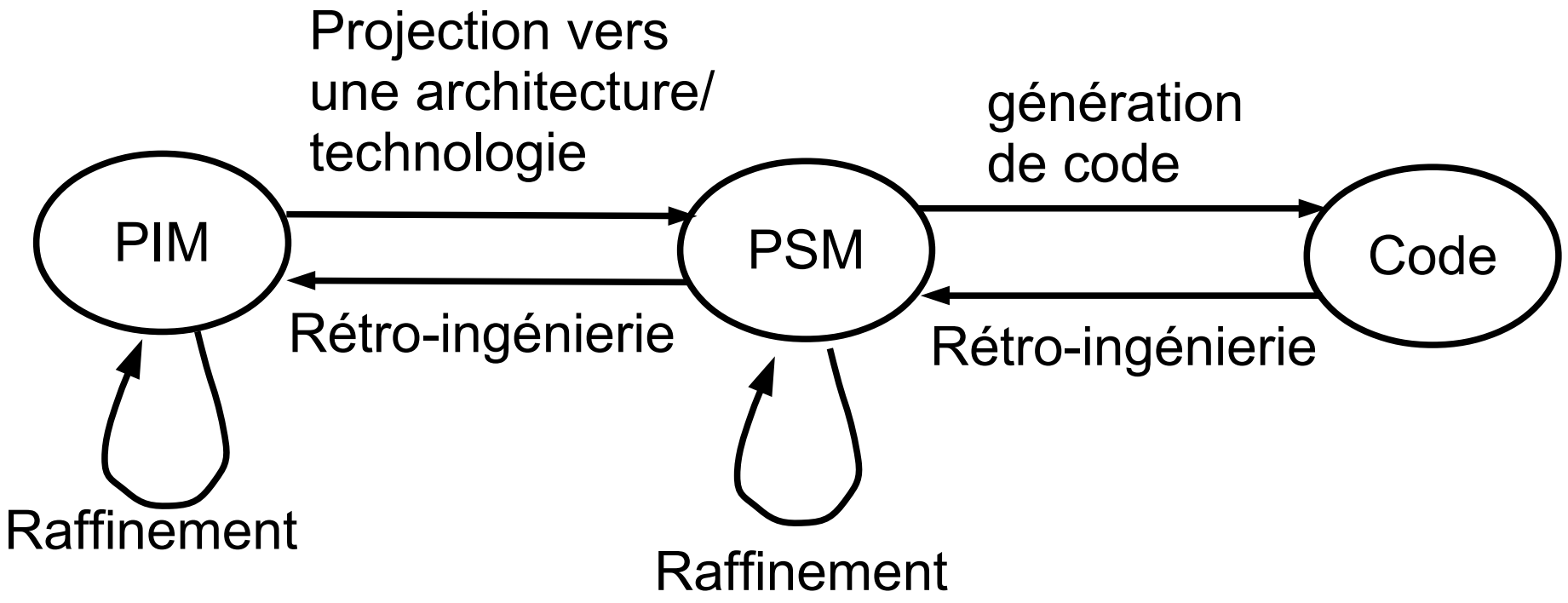


Model Driven Architecture

- 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



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 œuvre, 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

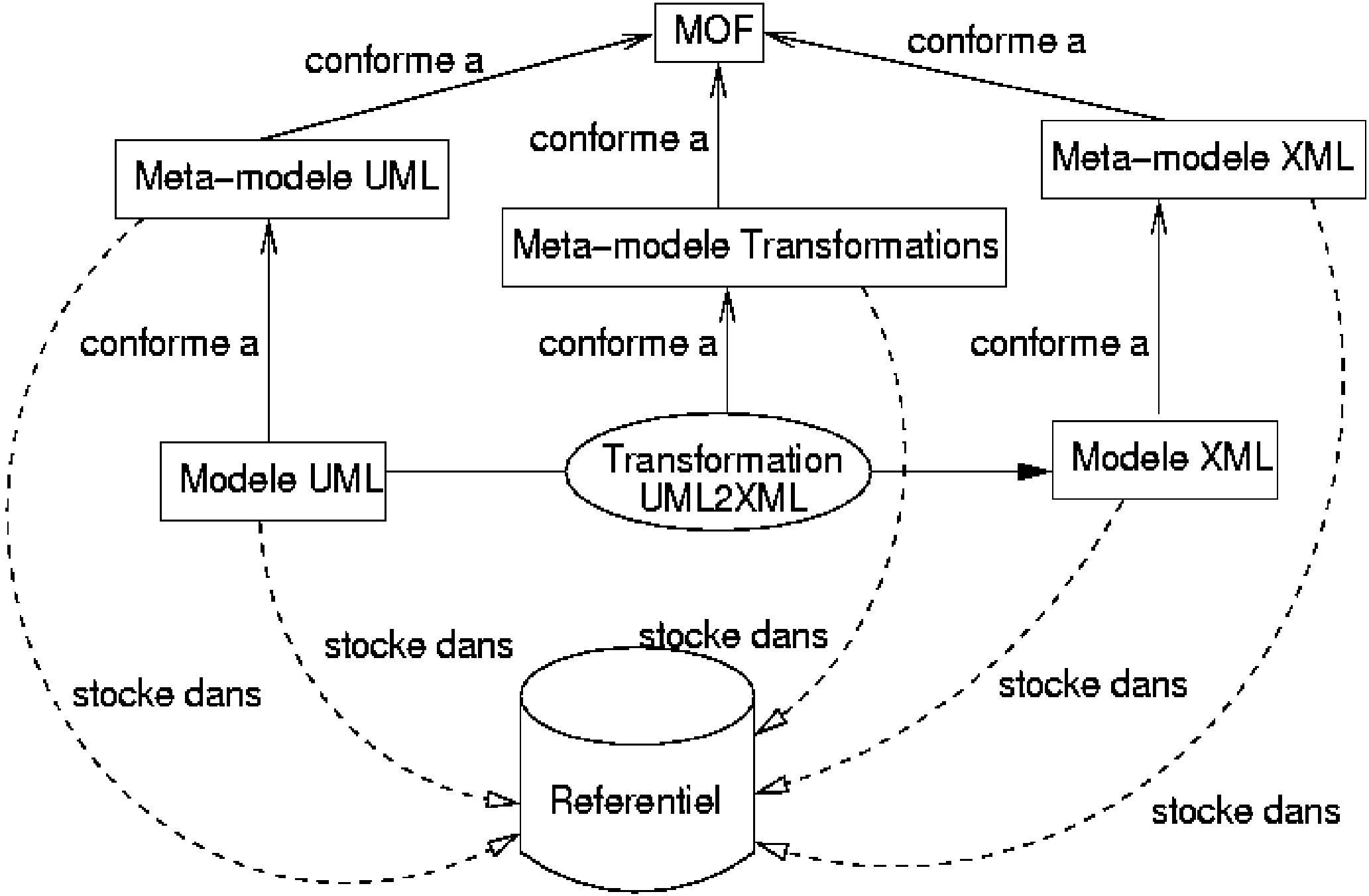
Autre vision des transformations

- 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 œuvre
  - 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, 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
    - Écriture 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 algorithmiquement 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

Exécution/spécification

- Problématiques d'exécution de transformations sont fondamentales
- Mais doit aussi être capable de spécifier des transformations
  - 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'enchaînement de transformation
      - Enchaînement 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 de transformation exogène :

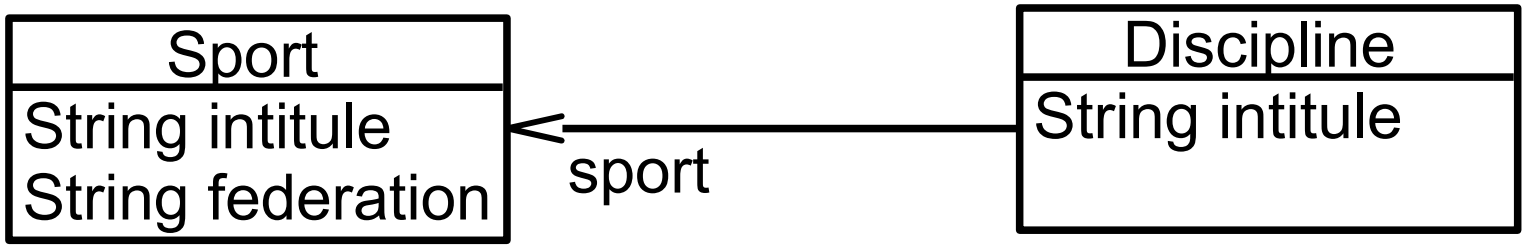
d'un diagramme de classes à un schéma de base de données relationnelles

Transformation exogène

- Deux méta-modèles (très simplifiés)
  - Diagramme de classes UML
  - Schéma de base de données relationnelles
  - Définis en Ecore
- Transformation
  - Chaque classe marquée comme persistante = une table
  - Un attribut d'une classe = une colonne d'une table
    - On rajoutera une colonne jouant le rôle de clé primaire et basée sur le nom des classes/tables
  - Une association entre classes = une jointure entre tables
    - Pas de prise en compte des cardinalités, pas de gestion des associations en * - * qui nécessitent une table de jointure
    - Définition de clés étrangères elles aussi colonnes dans les tables

UML vers SGBDR

- Exemple : le diagramme de classes



- Devient le schéma de BDD avec les tables
  - sport(number sport_tid, varchar intitule, varchar federation)
    - sport_tid : clé primaire
  - discipline(number discipline_tid, varchar intitule, number sport_tid)
    - discipline_tid : clé primaire
    - sport_tid : clé étrangère, jointure vers la table sport
- Trois implémentations
  - Partielle avec QVT : intérêt de la bidirectionnalité
  - Complète en Java/EMF : impératif
  - Complète en ATL : déclaratif

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

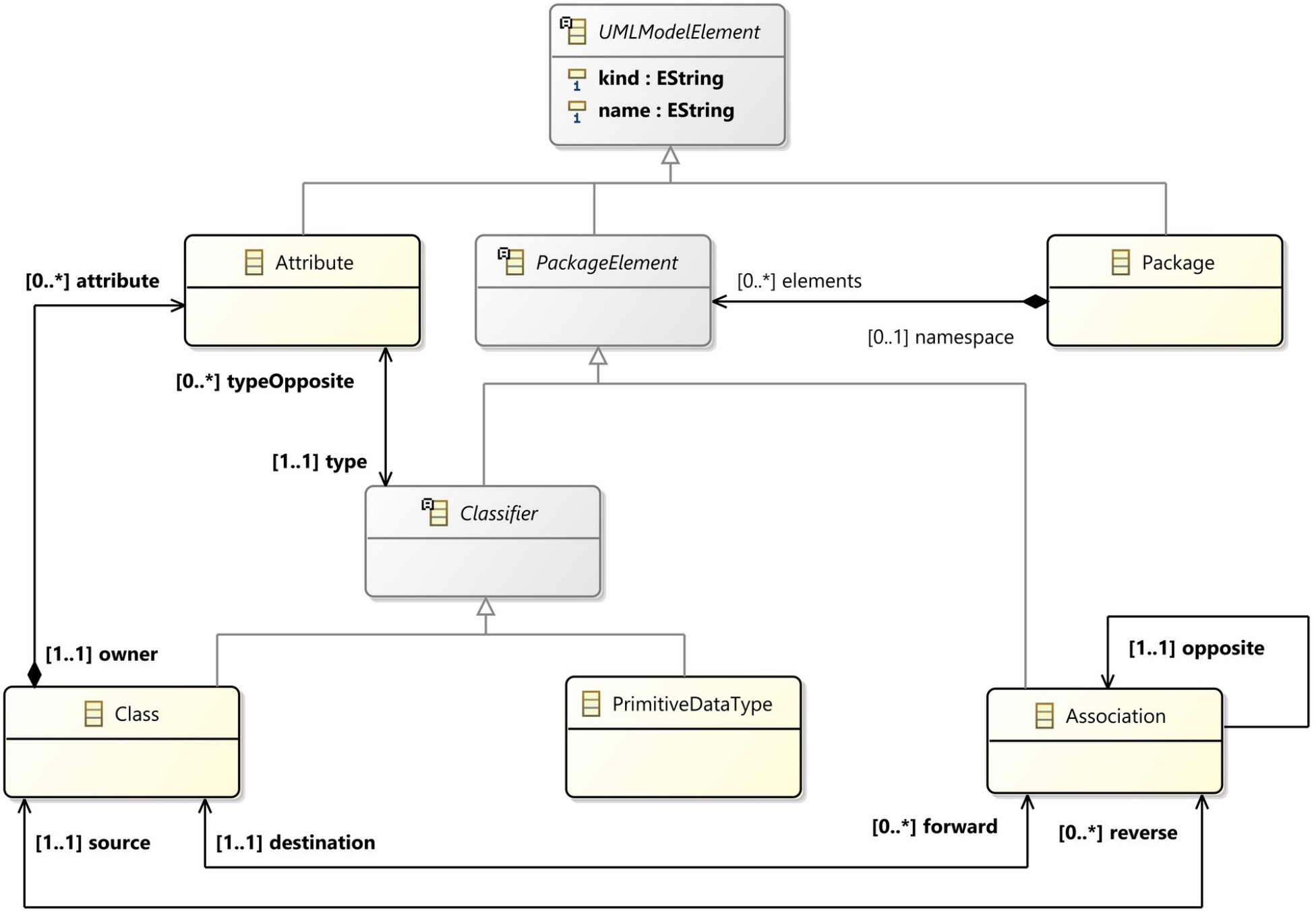
Langages de transformation dans QVT

- 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

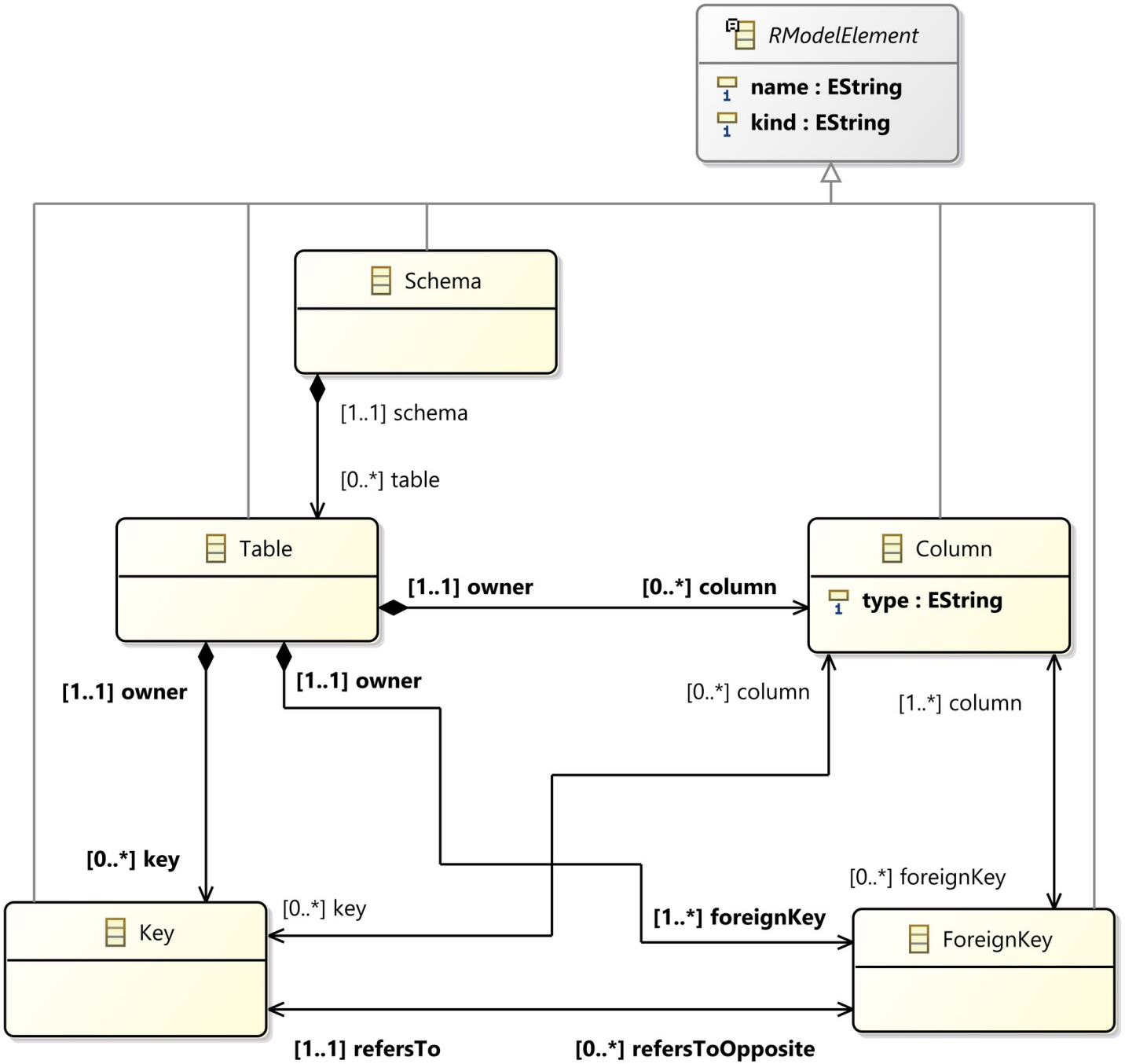
QVT : langage « relation »

- 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

Méta-modèle UML simplifié

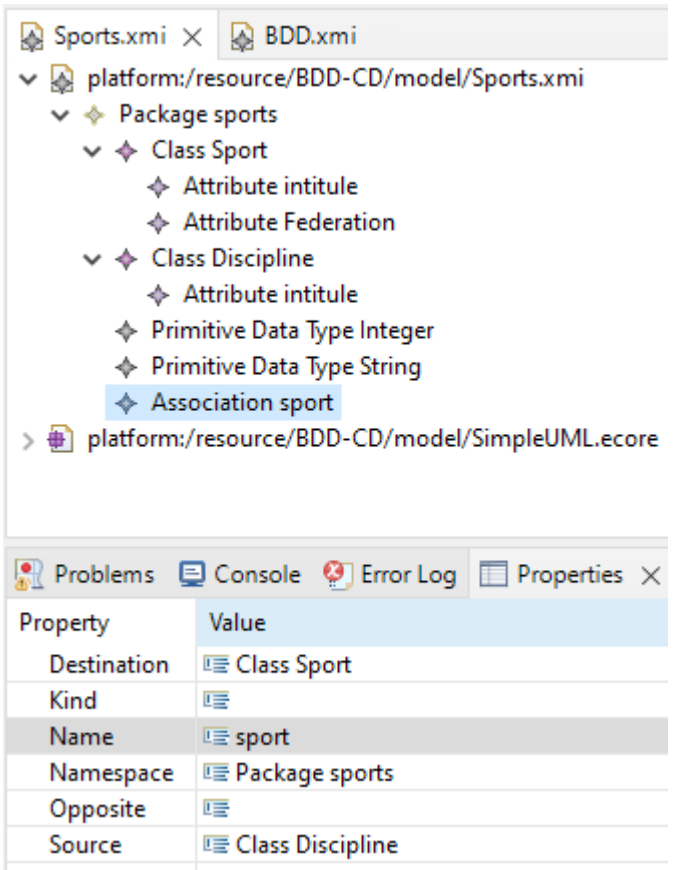


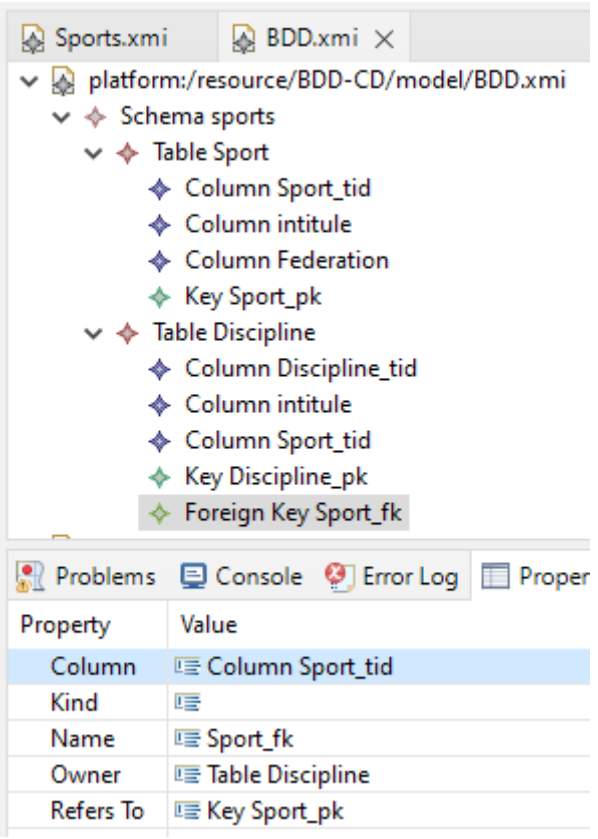
Méta-modèle SGBDR simplifié



Exemple transformation

- Sur l'exemple précédent, voici les modèles
  - A gauche, le diagramme de classes
  - A droite, le schéma SQL correspondant





Exemple : UML vers SGBDR en QVT

- 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 en QVT

- ```
  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`
  ```

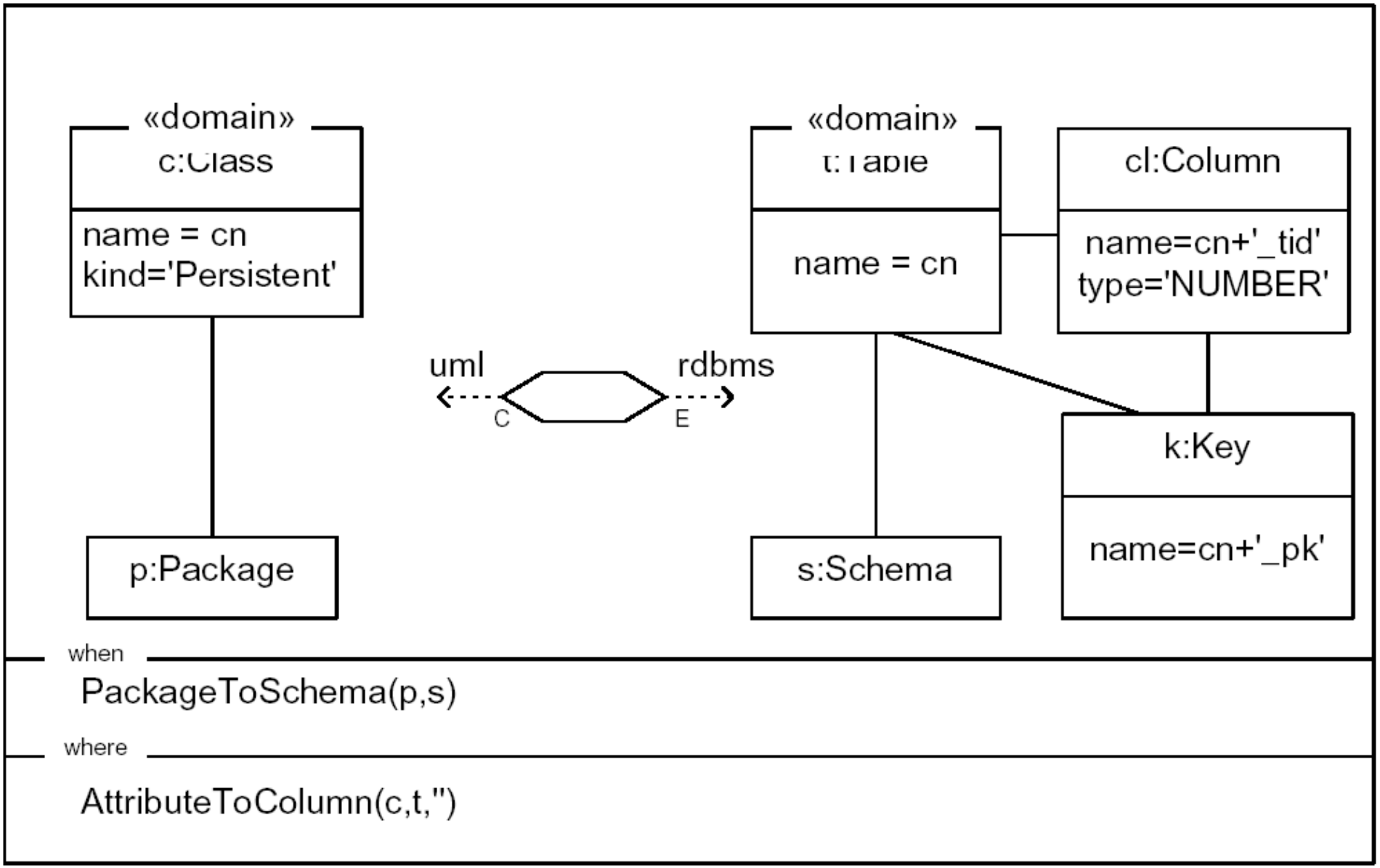
Exemple : UML vers SGBDR en QVT

```
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 en QVT

- 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)
    ```

Exemple : UML vers SGBDR en Java

```
public Schema toSGBD(SimpleUML.Package pack) {
   // création du schéma
   Schema schema = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createSchema();
   schema.setName(pack.getName());
   // parcours de l'ensemble des classes persistantes
   for (PackageElement elt : pack.getElements()) {
      if (elt instanceof SimpleUML.Class) {
         SimpleUML.Class cl = (SimpleUML.Class)elt;
         if (cl.getKind().equals("Persistent")) {
            // création de la table
            Table table = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createTable();
            table.setName(cl.getName());
            schema.getTable().add(table);
            // création de la colonne et de la clé primaire
            Column col =  SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createColumn();
            col.setName(cl.getName()+"_tid");
            col.setType("NUMBER");
            Key key = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createKey();
            key.setName(cl.getName()+"_pk");
            key.getColumn().add(col);
            table.getKey().add(key);
            table.getColumn().add(col);
```

Exemple : UML vers SGBDR en Java

```
            // ajout des colonnes de la table à partir des attributs
            for (Attribute att : cl.getAttribute()) {
                col = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createColumn();
                col.setName(att.getName());
                if (att.getType().getName().equals("Integer"))
                    col.setType("NUMBER");
                if (att.getType().getName().equals("Boolean"))
                    col.setType("BOOLEAN");
                if (att.getType().getName().equals("String"))
                    col.setType("VARCHAR");
                table.getColumn().add(col);
            }
        }
    }
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en Java

```
   // parcours des associations pour créer les clés étrangères
   for (PackageElement elt : pack.getElements()) {
      if (elt instanceof Association) {
         Association asso = (Association)elt;
         if (asso.getDestination().getKind().equals("Persistent")) {
            SimpleUML.Class source = asso.getSource();
            Table table = this.getTableByName(schema, source.getName());
            Column col = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createColumn();
            col.setName(asso.getDestination().getName()+"_tid");
            col.setType("NUMBER");
            ForeignKey key = SimpleRDBMSFactory.eINSTANCE.createForeignKey();
            key.setName(asso.getDestination().getName()+"_fk");
            key.setRefersTo(this.getTableByName(schema,
                            asso.getDestination().getName()).getKey().get(0));
            key.getColumn().add(col);
            table.getColumn().add(col);
            table.getForeignKey().add(key);
         }
      }
   }
   return schema;
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en Java

```
public Table getTableByName(Schema schema, String name) {
   Optional<Table> table = schema.getTable().stream().filter(t →
                                                t.getName().equals(name)).findAny();
   if (table.isPresent()) return table.get();
   else return null;
}
```

- Analyse du code
  - Assez verbeux mais pas de complexité particulière
    - On parcourt les classes persistantes, on crée les tables au fur et à mesure avec les colonnes correspondant aux attributs et la clé primaire
  - Pour les associations, il faut juste retrouver avec la méthode getTableByName la table qui a le même nom que la classe pour référencer sa clé primaire
  - Attention : bien faire la première boucle en entier avant la seconde
    - Doit être sur que toutes les tables sont créées avant de traiter les associations qui vont utiliser ces tables
    - Le parcours explicite du modèle est un point important dans les transformations impératives

Langage de transformation ATL

- Langage déclaratif utilisant OCL
  - On déclare des règles qui associent un élément du modèle source à un ou plusieurs éléments générés dans le modèle cible
- Champ from
  - Sélectionne un élément du source par son type
  - Et un éventuel filtre écrit en OCL
- Champ to
  - Définit un ou plusieurs éléments du cible
  - Pour chacun, précise les valeurs de ses attributs et références
    - Avec l'affectation : <-
- Champ optionnel to
  - Partie impérative d'une transformation
- Peut écrire des fonctions utilitaires en OCL (helpers)

Exemple : UML vers SGBDR en ATL

```
-- nom de la transformation
module UMLtoBDD;

-- BDD : nom du méta-modèle coté SGBDR
-- CD : nom du méta-modèle coté UML
create OUT : BDD from IN : CD;

-- helper qui renvoie le type SQL du type UML d'un attribut
helper context CD!Attribute def: getSQLType() : String =
   if self.type.name = 'Integer' then 'NUMBER'
   else if self.type.name = 'Boolean' then 'BOOLEAN'
   else if self.type.name = 'String' then 'VARCHAR'
   else self.type.name
   endif endif endif;

-- règle qui pour chaque package du modèle source,
-- crée un schéma dans le modèle cible en positionnant son attribut name
rule SchemaToPackage {
from
   pack : CD!Package
to
   schema : BDD!Schema (
      name <- pack.name
   )
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en ATL

```
-- pour chaque classe persistante, on crée une table
-- avec une clé primaire et sa colonne
rule ClassToTable {
from
   class : CD!Class (class.kind = 'Persistent')
to
   table : BDD!Table (
      name <- class.name,
      schema <- class.namespace
   ),
   columnKey : BDD!Column (
      name <- class.name + '_tid',
      type <- 'NUMBER',
      owner <- table
   ),
   primaryKey : BDD!Key (
      name <- class.name + '_pk',
      column <- Set { columnKey },
      owner <- table
   )
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en ATL

```
-- Pour chaque attribut d'une classe, on crée une colonne
-- dans la table correspondant.
-- On filtre pour ne garder que les attributs des classes
-- persistantes sinon on créerait aussi des colonnes pour
-- des classes non persistantes.
rule AttributeToColumn {
from
   att : CD!Attribute (att.owner.kind = 'Persistent')
to
   column : BDD!Column (
      name <- att.name,
      owner <- att.owner,
      -- appel du helper défini dans le contexte de Attribute
      type <- att.getSQLType()
   )
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en ATL

```
-- pour chaque association pointant vers une classe persistante,
-- on crée la clé étrangère avec sa colonne et pointant vers la
-- clé primaire de l'autre table
rule AssociationToForeignKey {
from
   asso : CD!Association (asso.destination.kind = 'Persistent')
to
   columnKey : BDD!Column (
      name <- asso.destination.name + '_tid',
      type <- 'NUMBER',
      owner <- asso.source
   ),
   foreignKey : BDD!ForeignKey (
      name <- asso.destination.name + '_fk',
      column <- Set { columnKey },
      owner <- asso.source,
      -- récupère la table pointée par la destination avec une expression
      -- OCL puis affecte refersTo à la clé primaire de cette table
      refersTo <- (BDD!Table.allInstances() -> any ( t |
                              t.name = asso.destination.name)).key -> first()
    )
}
```

Exemple : UML vers SGBDR en ATL

- Analyse du code
  - Beaucoup moins verbeux que la version Java
    - Tous les attributs/références sont publics, pas besoin de getters et de setters
  - Parcours du modèle réalisé par le moteur ATL
    - Applique les règles jusqu'à avoir traité tous les éléments
- Dans la régle `AttributeToColumn` pour la génération d'un élément de type `Column`, on a
  - `owner <- att.owner`
  - Littéralement : le propriétaire de la colonne est le propriétaire de l'attribut
    - C'est une classe du modèle source, ça ne semble pas avoir de sens
    - En pratique, le moteur ATL affecte comme propriétaire de la colonne, l'élément coté cible qui a été généré (dans une autre règle) à partir du propriétaire de l'attribut soit la table associée à cette classe

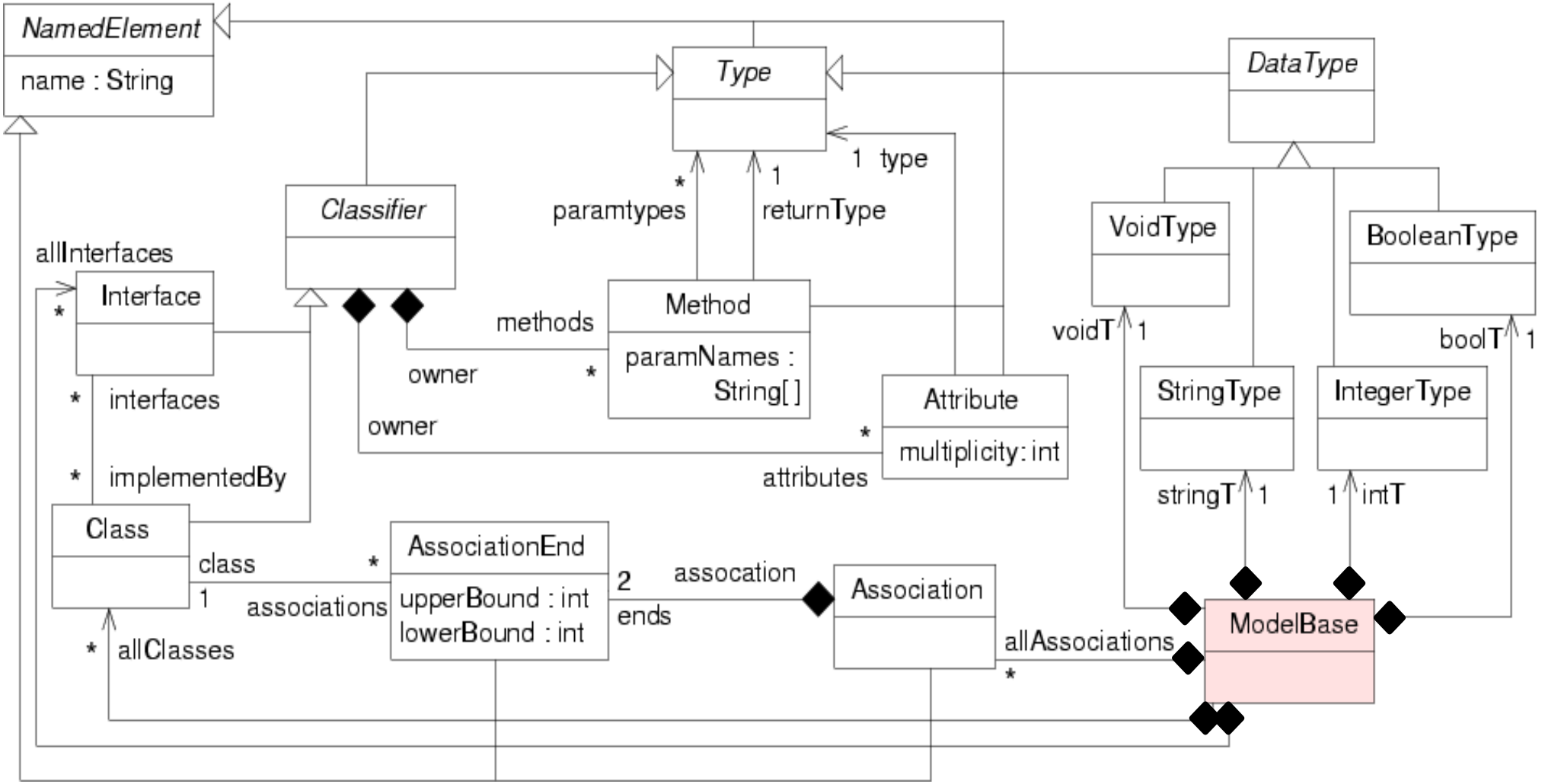
Exemple de transformation endogène :

privatisation des attributs dans un diagramme de classes

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 Java/EMF, style impératif
  - Transformation en ATL, style déclaratif
- Utilisation d'un méta-modèle simplifié de diagramme de classes
  - Méta-modèle UML trop complexe pour cet exemple
  - Mais plus complexe que pour l'exemple précédent : il manquait la définition des méthodes des classes

MM simplifié de diagramme de classes



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

MM simplifié de diagramme de classes

- 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 Java/EMF

- Vérification si une méthode est un getter d'un attribut
- ```
  public boolean isGetter(Attribute att, Method met) {
     if (met.getName().length() <= 4) return false;
     String nomCherche =
                "get"+att.getName().substring(0,1).toUpperCase()
                +att.getName().substring(1, att.getName().length());
     if (! met.getName().equals(nomCherche)) return false;
     if (met.getParamTypes().size() != 0) return false;
     if (met.getReturnType() != att.getType()) return false;
     return true;
  }
  ```
  - Nom « getAtt » (vérifie taille chaine > 3 sinon les substring plantent)
  - Même type de retour que l'attribut
  - Liste de paramètres vide
  ```

Transformation en Java/EMF

- Vérification si une méthode est un setter d'un attribut
- ```
  public boolean isSetter(Attribute att, Method met) {
     if (met.getName().length() <= 4) return false;
     String nomCherche =
            "set"+att.getName().substring(0,1).toUpperCase()
            +att.getName().substring(1, att.getName().length());
     if (! met.getName().equals(nomCherche)) return false;
     if (met.getParamTypes().size() != 1 ) return false;
     if (met.getParamTypes().get(0) != att.getType()) return false;
     if (met.getReturnType() != this.voidRef) return false;
     return true;
  }
  ```
  - Nom « setAtt »
  - Un seul paramètre, du même type que l'attribut
    - Le nom du paramètre n'est pas important
  - Type de retour est « void »
    - On aura dans la classe qui contient le code, ce type référencé dans l'attribut voidRef
  ```

Transformation en Java/EMF

- Méthodes pour créer un getter et un setter à un attribut
  - Instancie la méthode, positionne son nom, son type de retour, l'éventuel paramètre pour un setter et son propriétaire est le propriétaire de l'attribut

```
public void addGetter(Attribute att) {
    Method met = ClassDiagramFactory.eINSTANCE.createMethod();
    met.setName("get"+att.getName().substring(0,1).toUpperCase()
              +att.getName().substring(1, att.getName().length()));
    met.setReturnType(att.getType());
    met.setOwner(att.getOwner());
}
public void addSetter(Attribute att) {
    Method met = ClassDiagramFactory.eINSTANCE.createMethod();
    met.setName("set"+att.getName().substring(0,1).toUpperCase()
              +att.getName().substring(1, att.getName().length()));
    met.getParamTypes().add(att.getType());
    met.getParamNames().add("value");
    met.setReturnType(this.voidRef);
    met.setOwner(att.getOwner());
}
```

Transformation en Java/EMF

```
public void addAccessors(ModelBase model) {
   for (ClassDiagram.Class cl : model.getAllClasses()) {
      for (Attribute att : cl.getAttributes()) {
         if (cl.getMethods().stream().noneMatch(m -> isGetter(att,m)))
             addGetter(att);
         if (cl.getMethods().stream().noneMatch(m -> isSetter(att,m)))
             addSetter(att);
      }
   }
}
```

- La transformation implémente une double boucle
  - Traite chaque attribut de chaque classe
  - Si ne trouve pas dans les méthodes de la classe un getter ou un setter correspondant à l'attribut, on crée la méthode
- Le modèle en paramètre est directement modifié
  - Ce qui simplifie l'implémentation, on garde tout le reste du modèle à l'identique

Transformation en ATL

- Pour vérification des présences des getter et setter, on utilisera des helpers écrits en OCL

```
helper context CD!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 CD!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 : CD!VoidType =
CD!VoidType.allInstances() -> asSequence() -> first();
```

Transformation en ATL

- Point fondamental en ATL pour toute transformation
  - Un élément du source n'est traité que par au plus une règle
  - On ne peut donc pas avoir ici : une règle qui recopie l'attribut, une règle qui crée éventuellement le getter si l'attribut n'en a pas, une règle qui crée éventuellement le setter si l'attribut n'en a pas
    - Il y aurait alors plusieurs règles qui pourraient s'appliquer au même attribut
- Transformation ATL en mode raffinement
  - Uniquement dans le contexte d'une transformation endogène
  - Si un élément est référencé dans une règle, y compris indirectement et qu'il n'y a pas de règle explicite le concernant
    - Il est dupliqué automatiquement à l'identique dans le modèle cible
    - Évite d'avoir à écrire des règles pour recopier des éléments non modifiés par la transformation

Transformation en ATL

- Cinq règles pour notre transformation
  - Création d'une base de modèle identique
    - Le raffinement fait que toutes les classes, interfaces et associations de la base seront automatiquement dupliquées avec leur contenu
  - Pour chaque attribut, on a des règles 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 getter 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 : CD refining source : CD;

... liste des helpers ...

rule duplicateModelBase {
from
   sourceBase : CD!ModelBase
to
   cibleBase : CD!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 : CD!Attribute (
     attSource.hasSetter() and attSource.hasGetter())
to
   attTarget : CD!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity )
}
```

Transformation en ATL

```
rule attributeHasSetter {
from
   attSource : CD!Attribute (
      attSource.hasSetter() and not(attSource.hasGetter())
)
to
   attTarget : CD!Attribute (
      name <- attSource.name,
      owner <- attSource.owner,
      type <- attSource.type,
      multiplicity <- attSource.multiplicity
   ),
   getter : CD!Method (
      name <- 'get' + attSource.name.firstToUpper(),
      returnType <- attTarget.type,
      owner <- attTarget.owner
   )
```

- Pour un attribut du source qui a un setter mais pas de getter, 2 éléments sont créés coté cible
  - L'attribut équivalent
  - La méthode getter associée

Transformation en ATL

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

Transformation en ATL

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