Ingénierie Dirigée par les Modèles

Méta-modélisation et transformations de modèles

Marc Pantel, Xavier Crégut, Benoît Combemale, Arnaud Dieumegard

IRIT–ENSEEIHT
2, rue Charles Camichel - BP 7122
F-31071 Toulouse Cedex 7
{prenom.nom}@enseeiht.fr

Sommaire

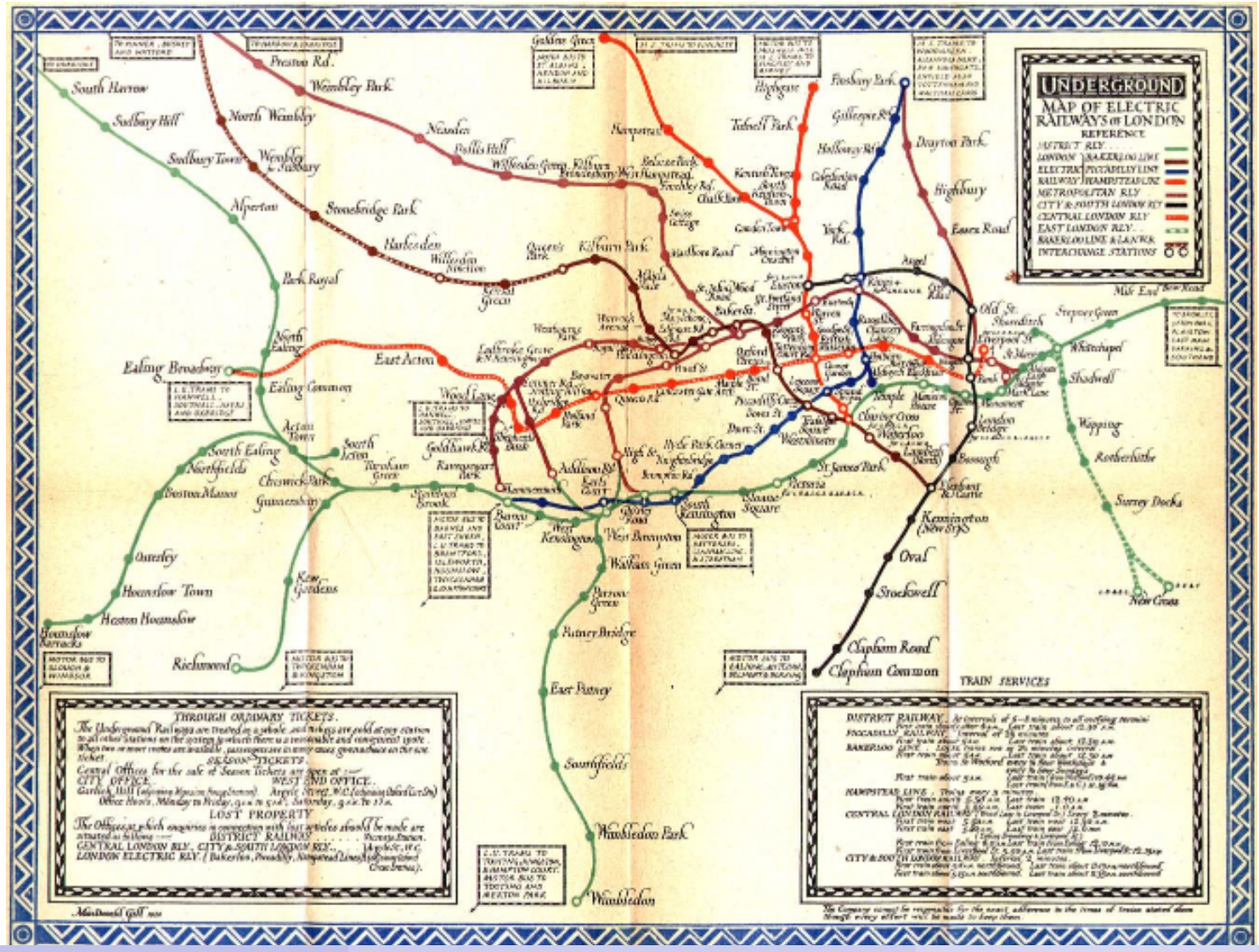
Sommaire

Rôle d'un modèle

- On utilise des modèles pour mieux comprendre un système.
  Pour un observateur A, M est un modèle de l'objet O, si M aide A à répondre aux questions qu'il se pose sur O. (Minsky)
- Un modèle est une simplification, une abstraction du système.
- Exemples :
  - une carte routière
  - une partition de musique
  - un plan d'architecte
  - un diagramme UML
  - ...
- Un modèle permet :
  - de comprendre,
  - de communiquer,
  - de construire

Exemple : plan géographique du métro de Londres

Version de 1921 (`http://www.clarksbury.com/cdl/maps.html`)



Exemple : plan schématique du métro de Londres

Version schématique — Harry Beck — de 1938 (`http://www.clarksbury.com/cdl/maps.html`)

Pourquoi modéliser ?

- Mieux comprendre les systèmes complexes
- Séparation des préoccupations/aspects
- Abstraction des plateformes :
  - Architecture matérielle, Réseau
  - Architecture logicielle, Système d'exploitation
  - Langages
- Abstraction des domaines applicatifs
- Réutilisation
- Formalisation

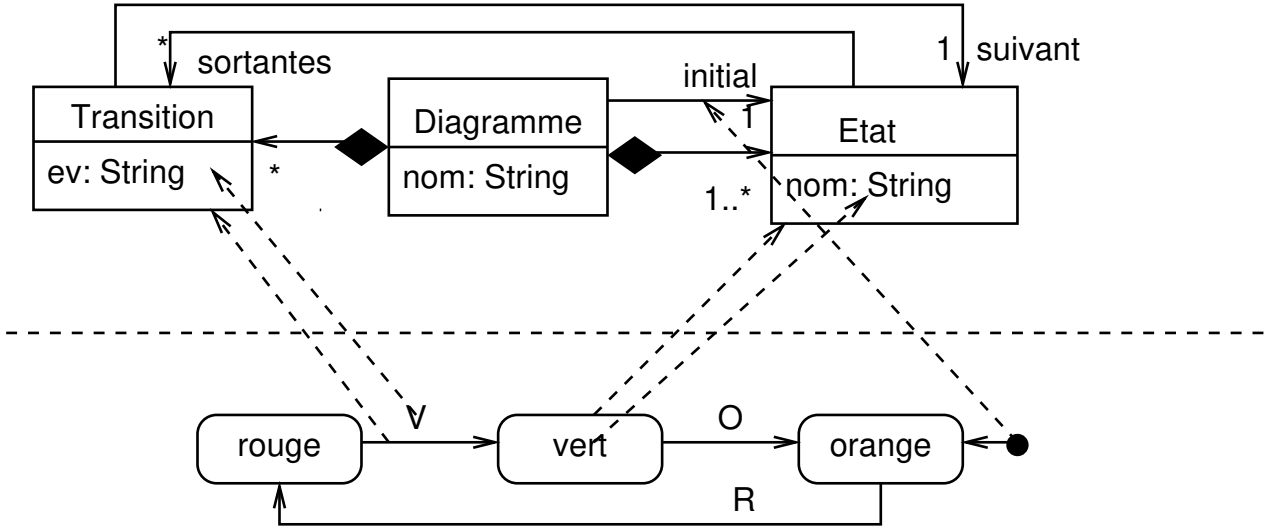
Pourquoi de nombreux modèles ?

- Le long du cycle de vie :
  - Analyse des besoins (indépendant solution)
  - Architecture, Conception détaillée (indépendant plateforme)
  - Réalisation, Déploiement (dépendant plateforme)
- Différentes étapes de raffinement dans une même phase
- Séparation des préoccupations
  - Nombreux domaines applicatifs
  - Nombreuses plateformes (matériel, logiciel, technologique)
  - Nombreuses contraintes (service et qualité de service)

Modèles et méta-modèles

Définition : Méta-modèle = modèle du modèle.
$\Longrightarrow$ Il s'agit de décrire la structure du modèle.

Exemple : Structure d'un diagramme à état (diagramme de classe UML)



Conformité : Un modèle est conforme à un méta-modèle si :

- tous les éléments du modèle sont instance d'un élément du méta-modèle ;
- et les contraintes exprimées sur le méta-modèle sont respectées.

Conformité (vision tabulaire) M1/M2

Etat

ID	nom	sortantes
E1	"orange"	T2
E2	"rouge"	T3
E3	"vert"	T1

Transition

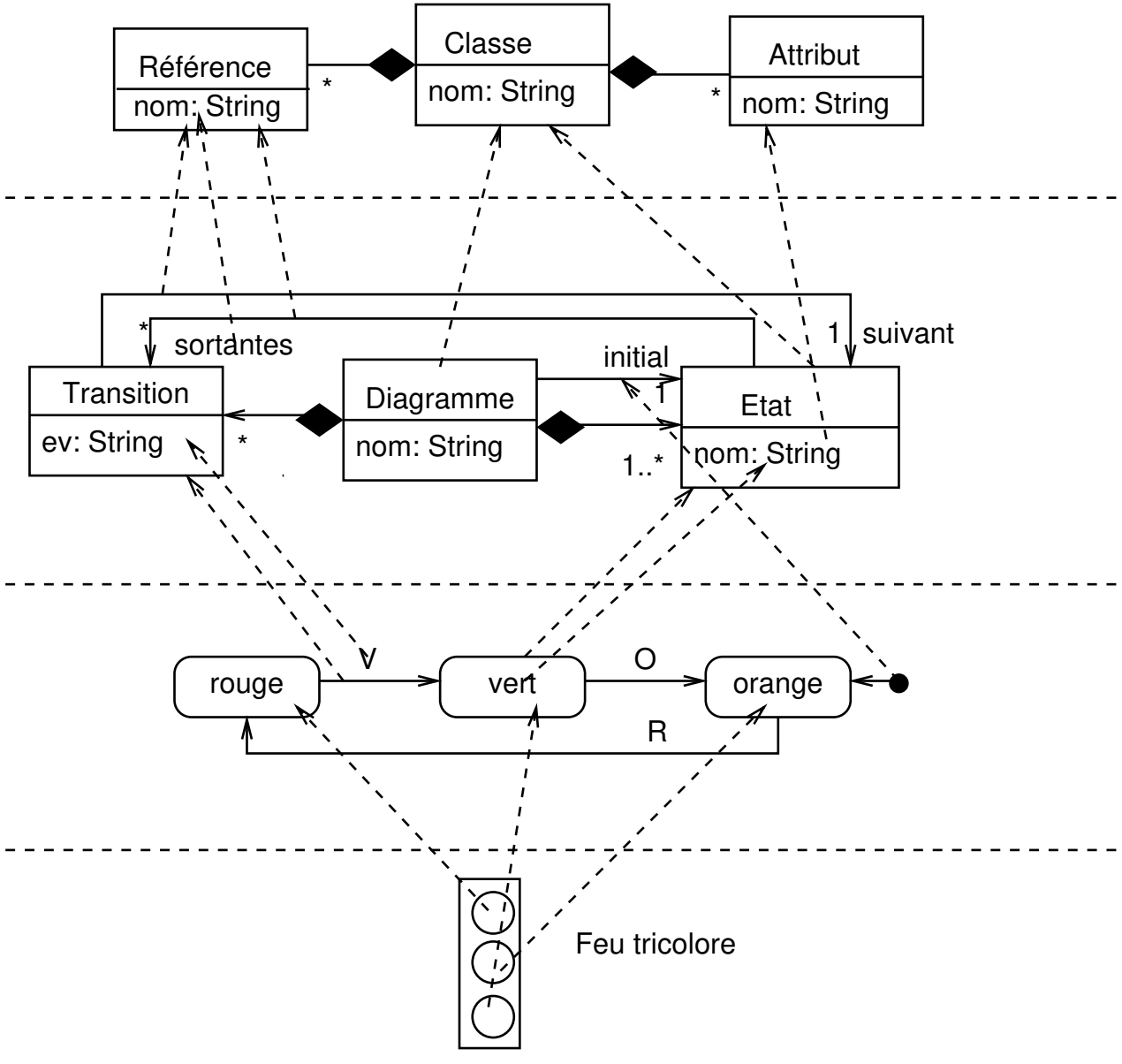
ID	ev	suivant
T1	"O"	E1
T2	"R"	E2
T3	"V"	E3

Diagramme

ID	nom	etats	initial	transitions
D1	"Feu Tricolore"	E1, E2, E3	E1	T1, T2, T3

Suite : Où est décrit le méta-modèle ?

Exemple : le monde réel est un feu tricolore



Conformité (vision tabulaire) M2/M3

Classe

ID	nom	attributs	references
C1	"Diagramme"	A1	R1, R2, R3
C2	"Etat"	A2	R4
C3	"Transition"	A3	R5

Attribut

ID	nom	type
A1	"nom"	"String"
A2	"nom"	"String"
A3	"ev"	"String"

Reference

ID	nom	cible	min	max	composition
R1	"etats"	C2	1	*	true
R2	"transitions"	C3	0	*	true
R3	"initial"	C2	1	1	false
R4	"sortantes"	C3	0	*	false
R5	"suivant"	C2	1	1	false

Suite : Où est décrit le méta-méta-modèle ?

Conformité (vision tabulaire) M3/M3

Classe

ID	nom	attributs	references
C1	"Classe"	A1	R1, R2
C2	"Attribut"	A2, A3	
C3	"Reference"	A4, A5, A6, A7	R3

Attribut

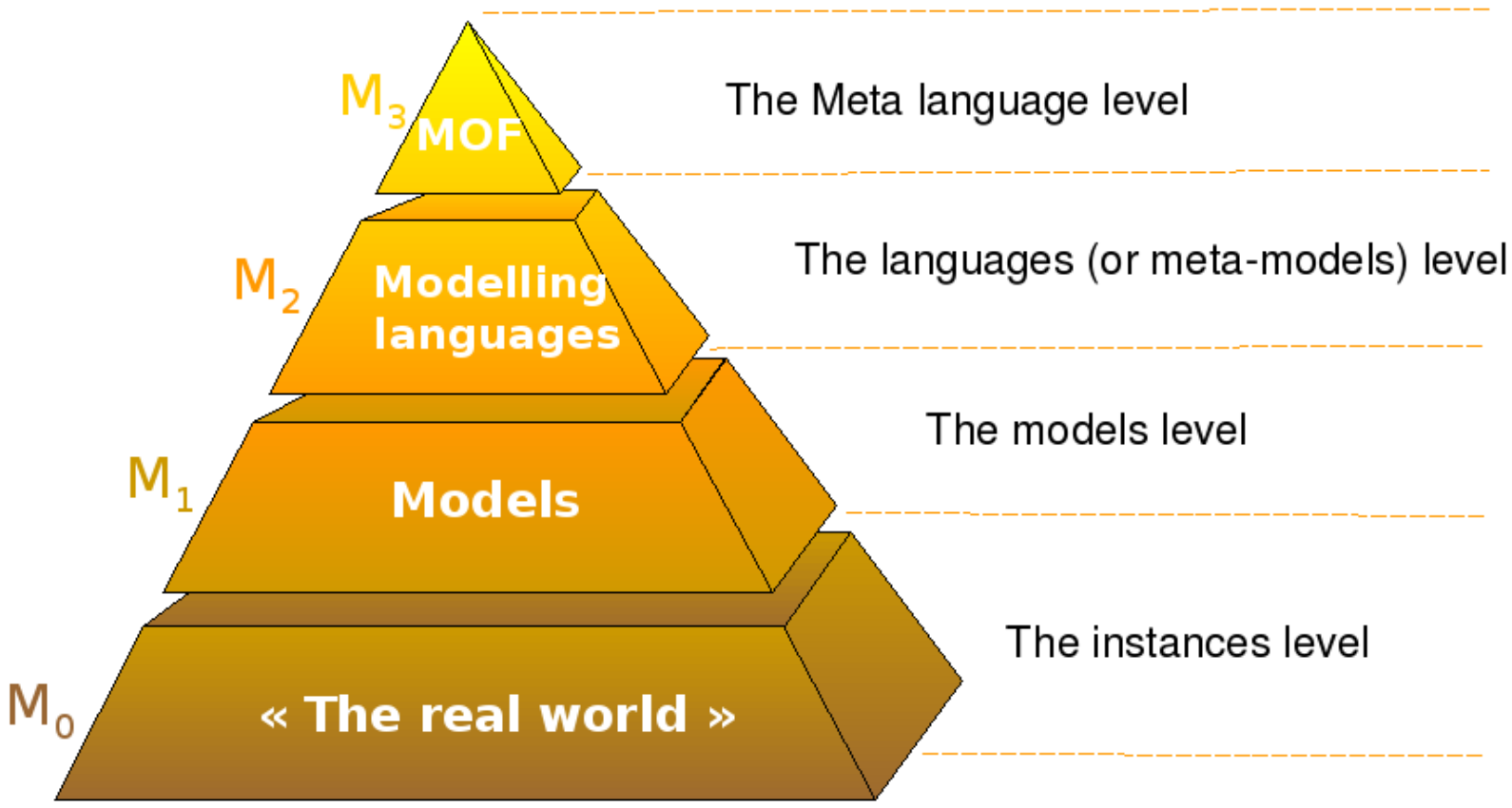
ID	nom	type
A1	"nom"	"String"
A2	"nom"	"String"
A3	"type"	"String"
A4	"nom"	"String"
A5	"min"	"int"
A6	"max"	"int"
A7	"composition"	"boolean"

Reference

ID	nom	cible	min	max	composition
R1	"attributs"	C2	0	-1 (*)	true
R2	"references"	C3	0	-1 (*)	true
R3	"cible"	C1	1	1	false

Suite : Où est décrit le méta-méta-méta-modèle ? **Réponse :** Il n'y en pas : M4 = M3

Pyramide de l'OMG



Pyramide de l'OMG

Explications

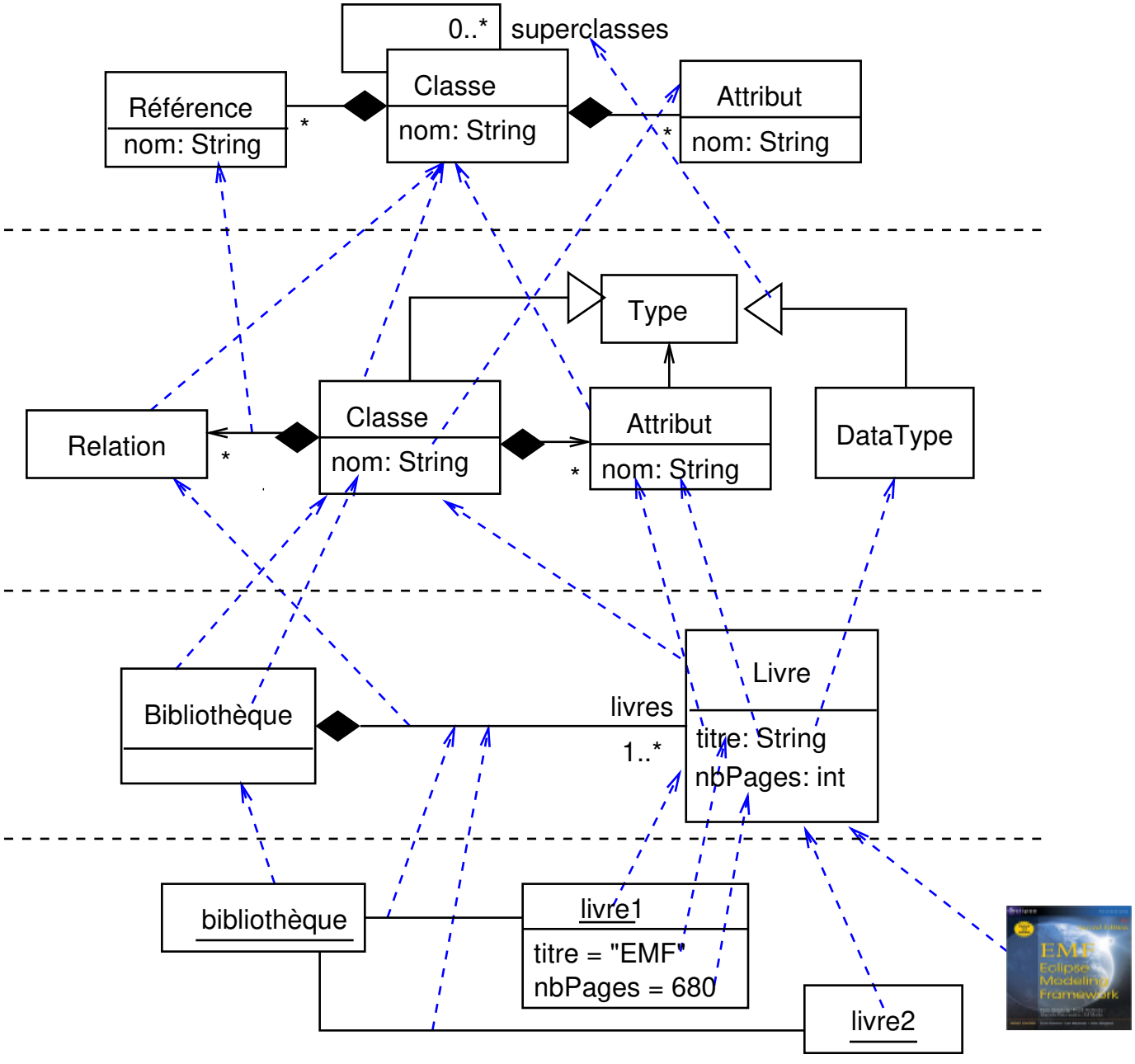
- M3 : méta-méta-modèle :
  - réflexif : se décrit en lui-même
  - pour définir des méta-modèles, langages (exemple : UML)
  - exemple MOF de l'OMG
- M2 : méta-modèle : langage de modélisation pour un domaine métier
  - Exemples : UML2, SPEM...
- M1 : modèle : un modèle du monde réel
  - Exemples : un modèle de feu tricolore, un modèle de bibliothèque...
- M0 : le monde réel
  - Exemples : un feu tricolore, une bibliothèque...

Remarque : Le numéro permet de préciser l'objectif du « modèle ». Dans la suite, les notions de modèle et méta-modèle sont suffisantes.

Pas nouveau :

- Grammarware : EBNF, syntaxe de Java, Programme Java, exécution
- XMLware : XML+DTD, MathML, document valide, données réelles

Exemple : le monde réel est une bibliothèque



Intérêt des méta-modèles

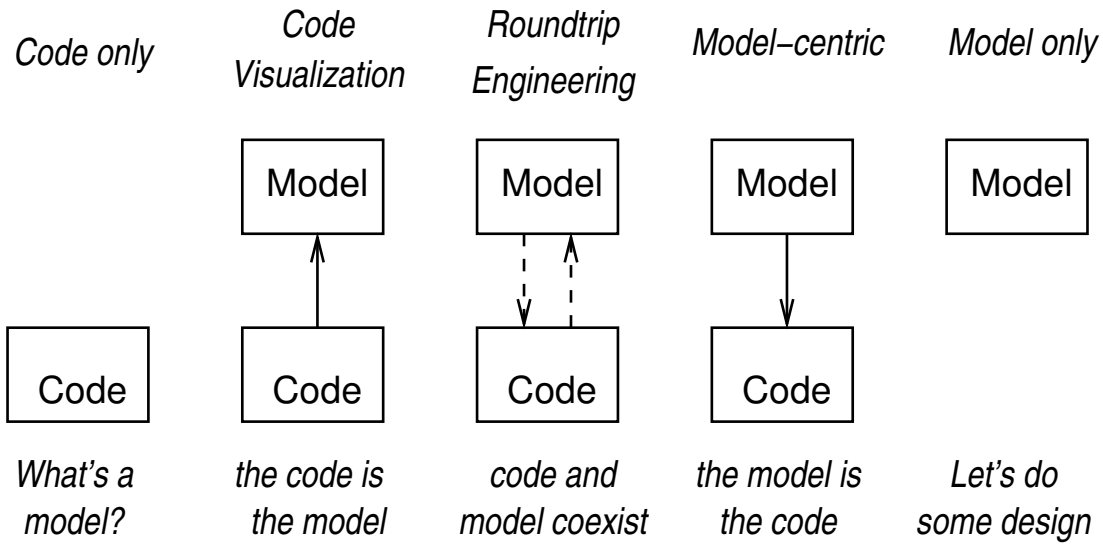
- définir les **propriétés structurelles** d'une famille de modèles :
  - capturées par la structure du méta-modèle (multiplicité, références, etc.)
  - exprimées dans un langage de contrainte.
    Exemple : Exprimer que le nb de pages d'un livre est positif en OCL :

    context Livre **inv**: nbPages > 0

- décider de la **conformité** d'un modèle par rapport à un métamodèle
- **transformer** le modèle (restructuration, raffinement, traduction vers un autre MM, syntaxes concrètes...)
- permettre l'**interopérabilité** entre outils grâce à une description connue (le MM) des données échangées
- plus généralement, **raisonner** et **travailler** sur les modèles
- ...
- Mais a-t-on défini la sémantique du MM ?

Remarque : La sémantique d'un langage de programmation est définie sur le langage (M2), pas sur le programme (M1).

Modèle et code : différentes perspectives



(http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/3100.html)

Remarque : L'évolution est à aller vers le tout modèle :

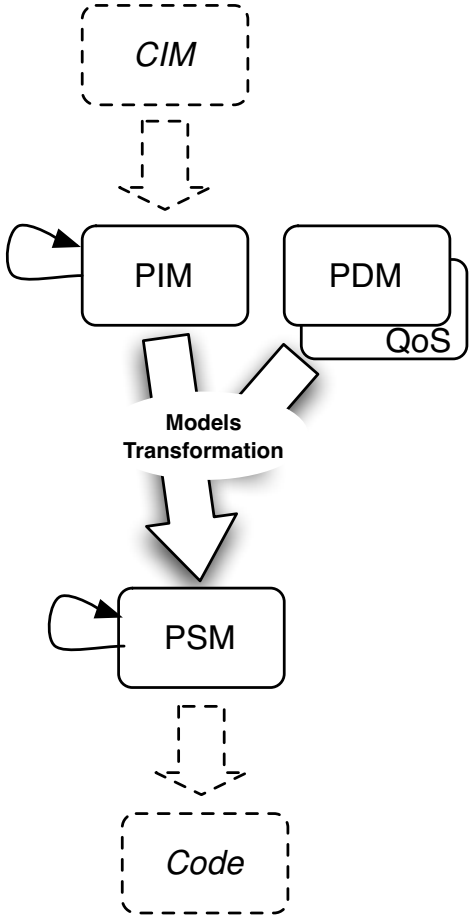
- modèles nécessaires car au début le système est trop compliqué
- besoin de vérifier/valider les modèles (coût si erreurs identifiées tardivement)
- raffiner les modèles et aller vers le code

Le modèle au centre du développement

Objectif : Tenter une interopérabilité par les modèles

- Partir de CIM (Computer Independant Model) :
  - aucune considération informatique n'apparaît
- Faire des modèles indépendants des plateformes (PIM)
  - rattaché à un paradigme informatique ;
  - indépendant d'une plateforme de réalisation précise
- Spécifier des règles de passage (transformation) vers ...
- ... les modèles dépendants des plateformes (PSM)
  - version modélisée du code ;
  - souvent plus facile à lire.
- Automatiser au mieux la production vers le code
  PIM $\rightarrow$ PSM $\rightarrow$ Code

$\Longrightarrow$ Processus en Y

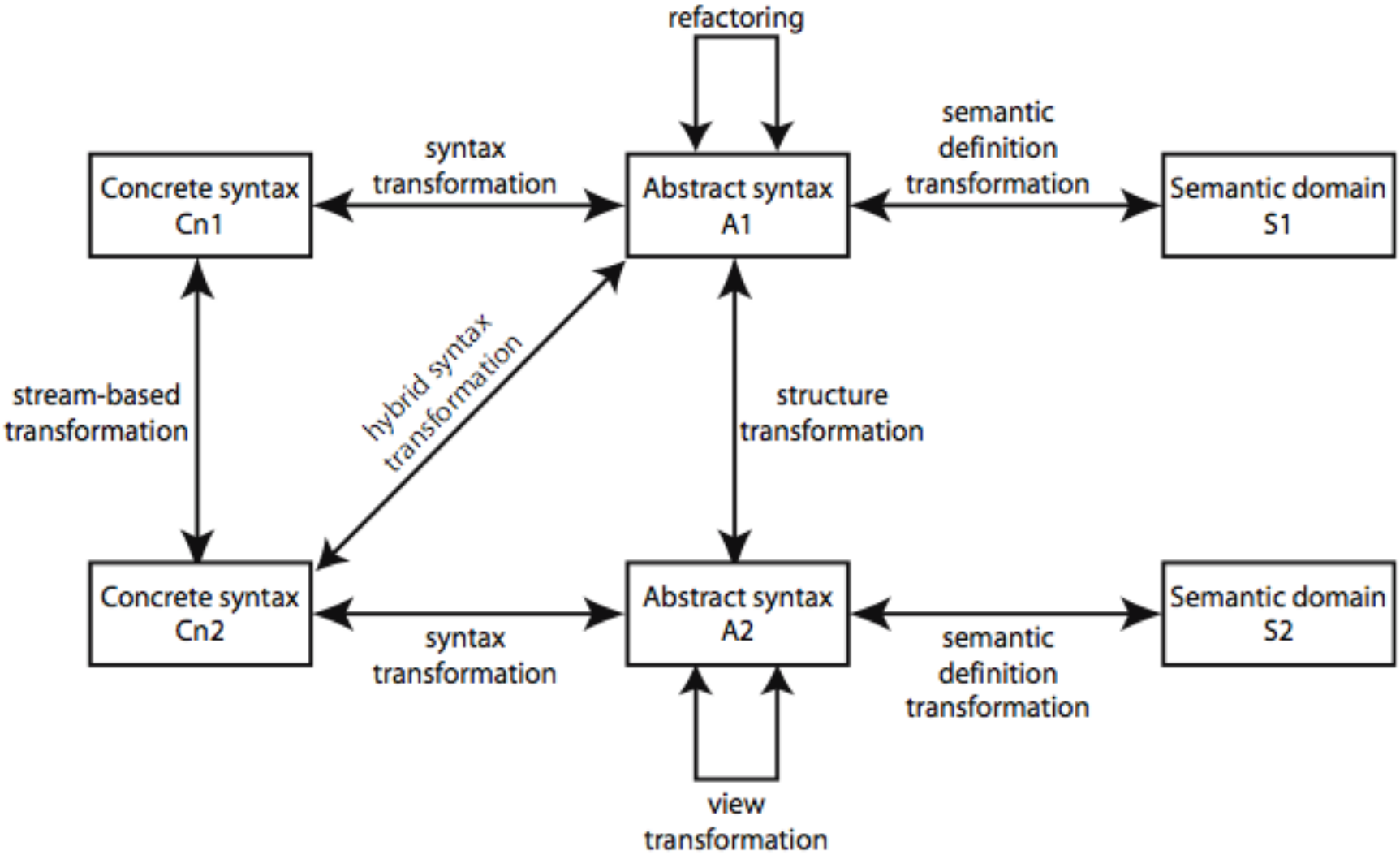


Exemples de transformation

- PIM $\longrightarrow$ PIM :
  - privatiser les attributs
  - réorganiser le code (refactoring) : introduction de patron de conception...
- PIM $\longrightarrow$ PSM
  - génération semi-automatique grâce à des marqueurs :
    - classe marquée active $\Rightarrow$ hérite de Thread...
    - persistance
  - motif de passage d'une classe UML à une classe Java
  - prise en compte de l'héritage multiple (C++, Eiffel, Java)
  - prise en compte des technologies disponibles
- PSM $\longrightarrow$ PIM :
  - adaptation pour gérer l'interopérabilité entre outils
  - rétroconception, abstraction, analyse statique...

Conséquence : L'Ingénierie Dirigée par les Modèles repose sur la **méta-modélisation** ET les **transformations**.

Types de transformation

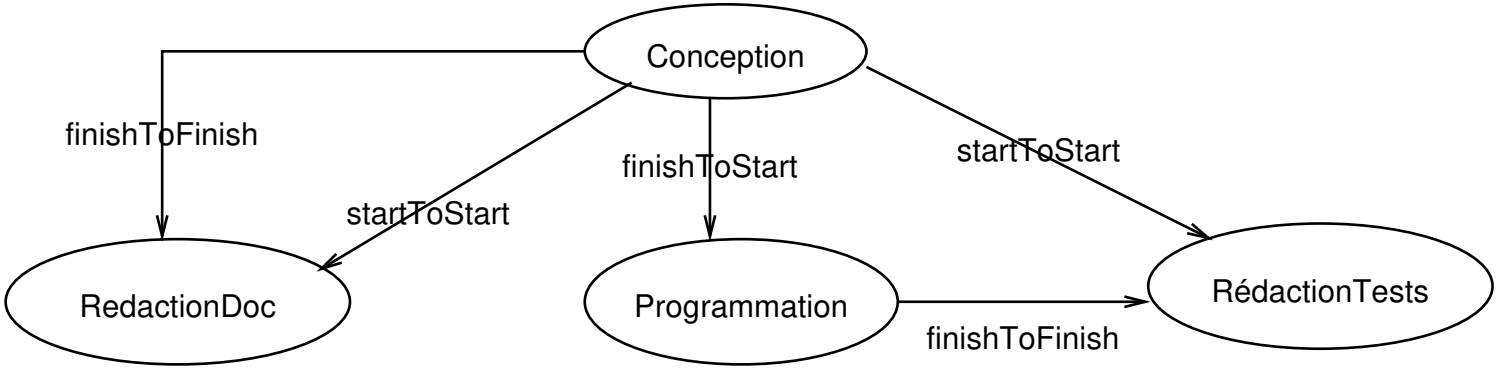


(from Anneke Kleppe)

Sommaire

Étude de cas : Vérifier la terminaison de processus

- **Définition :** Un processus (Process) est composé de plusieurs éléments :
  - activités (WorkDefinition)
  - dépendances (WorkSequence) entre activités
  - ressources (Resource)
  - et des notes (Guidance)
- **Exemple** de processus (sans resources)



- **Question :** Est-ce qu'un processus (quelconque) peut se terminer ?

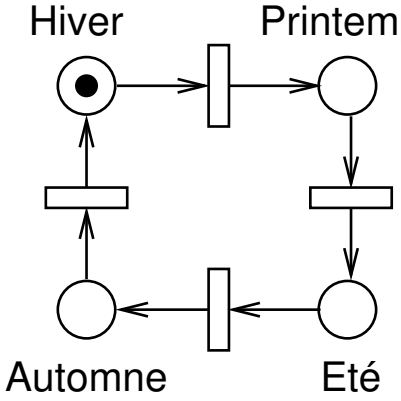
Problèmes posés

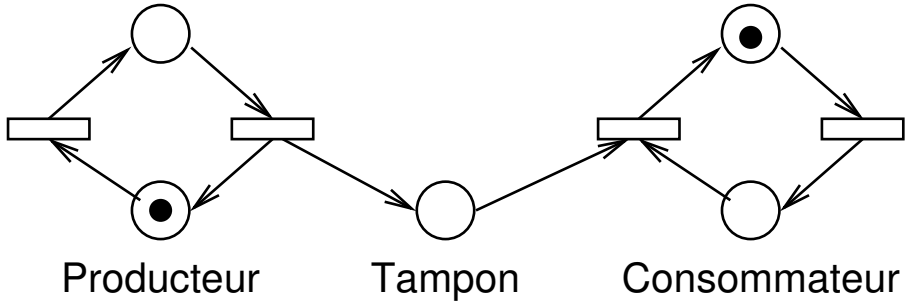
- **Pour répondre à la question, il faut :**
  - savoir comment sera exécuté un procédé (sémantique d'exécution)
  - en particulier, tenir compte des contraintes :
    - dépendances (*WorkSequence*) : vérifier l'état des activités
    - ressources (*Resource*) : il faut gérer les allocations et les libérations
  - examiner (toutes) les exécutions possibles pour voir si une au moins termine
  - être efficace, etc.

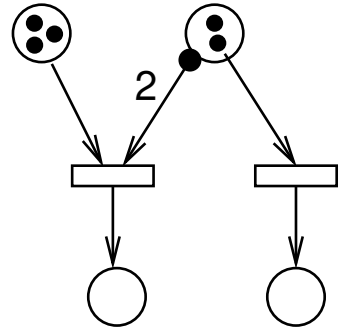
  $\Longrightarrow$ **Ceci est difficile !**
- **Solution choisie :**
  - Définir une **sémantique par traduction**
    - exprimer la sémantique de SimplePDL en s'appuyant sur un langage formel (ex. les réseaux de Petri).
  - et s'**appuyer sur les outils existants** (ex. le *model-checker de Tina*)

Les réseaux de Petri

- **Quelques exemples :**

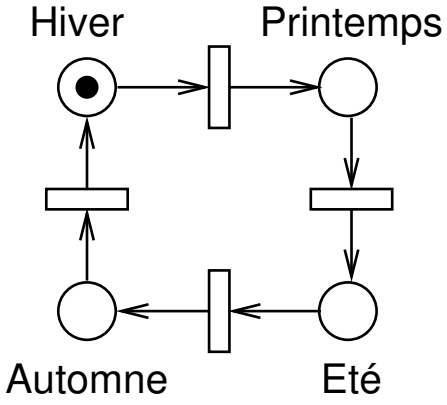






- **Vocabulaire :** place, transition, arc, read_arc, jeton
- Une transition est **franchissable** si toutes les places entrantes contiennent au moins le nombre de jetons indiqué sur l'arc
- **Tirer une transition :** enlever des places entrantes le nombre de jetons correspondant au poids de l'arc (sauf read_arc) et placer dans les places de sorties le nombre de jetons indiqué sur les arcs sortants

Syntaxe concrète des réseaux de Petri pour Tina




```
pl Hiver (1)
tr h2p Hiver -> Printemps
tr p2e Printemps -> Ete
tr e2a Ete -> Automne
tr a2h Automne -> Hiver
```

Expression de propriétés

- Propriétés exprimées en LTL (Logique Temporelle Linéaire) :

```
[] <> Ete;      # Toujours il y aura un été
— <> Ete;       # Il n'y aura pas d'été
```

- Pour vérifier ces propriétés, il suffit de taper :

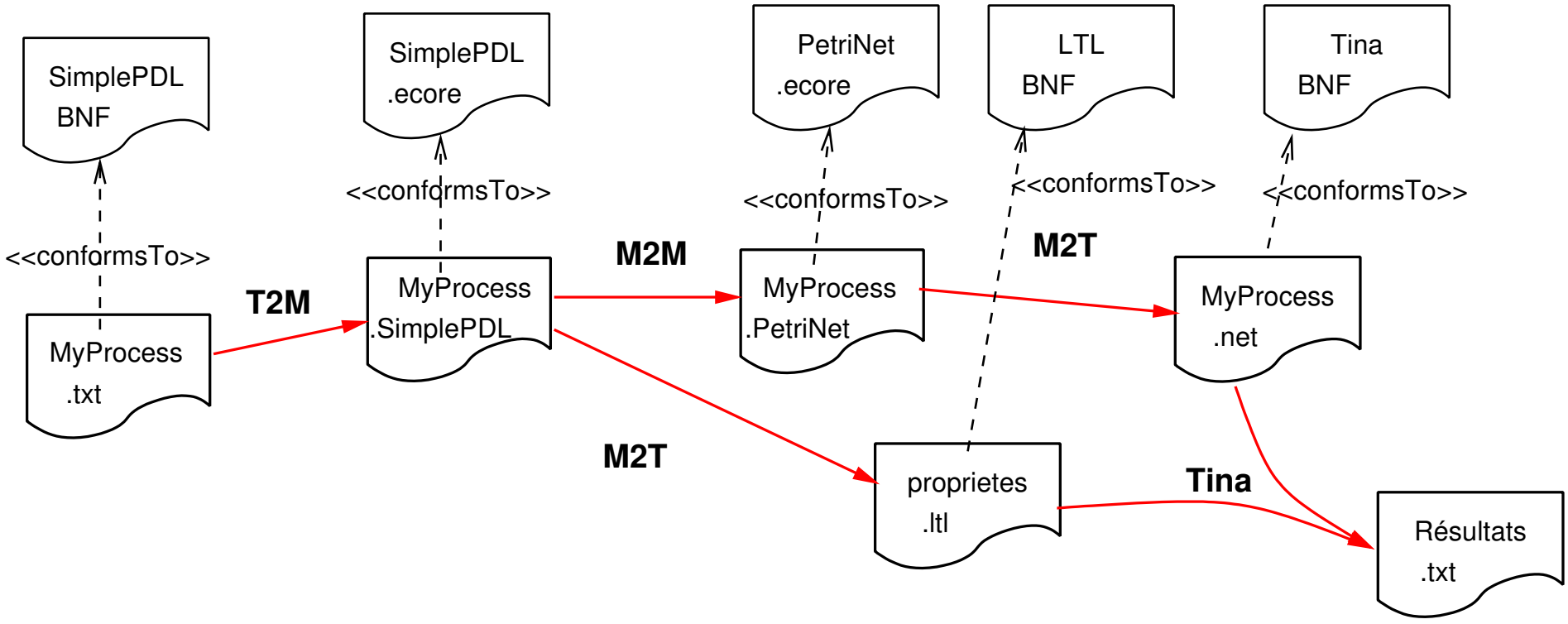
```
tina —s 3 saisons.net saisons.ktz
selt —S saisons.scn saisons.ktz —prelude saisons.ltl
```

- Le résultat est :

```
1  Selt version 2.9.4 —— 11/15/08 —— LAAS/CNRS
2  ktz loaded, 4 states, 4 transitions
3  0.000s
4
5  — source saisons.ltl;
6  TRUE
7  FALSE
8    state 0: Hiver
9    —h2p ... (preserving T)—>
10   state 2: Ete
11   —e2a ... (preserving Ete)—>
12   state 4: Automne
13   [accepting all]
14 0.000s
```

Propriété 1 vraie
Propriété 2 fausse
un contre-exemple fourni

Schéma général



Méta-modèles et transformations

Deux méta-modèles :

- SimplePDL
- PetriNet

Trois types de transformations :

- Transformations **texte à modèle** pour définir des syntaxes concrètes :
  - textuelles : par exemple avec Xtext
  - graphique : par exemple avec GMF ou Sirius
- Transformations de **modèle à modèle** :
  - traduire un modèle SimplePDL en un modèle PetriNet
- Transformations **modèle à texte** :
  - transformer un modèle PetriNet dans la syntaxe concrète de Tina
  - engendrer la propriété LTL de terminaison à partir d'un modèle de SimplePDL

Sommaire

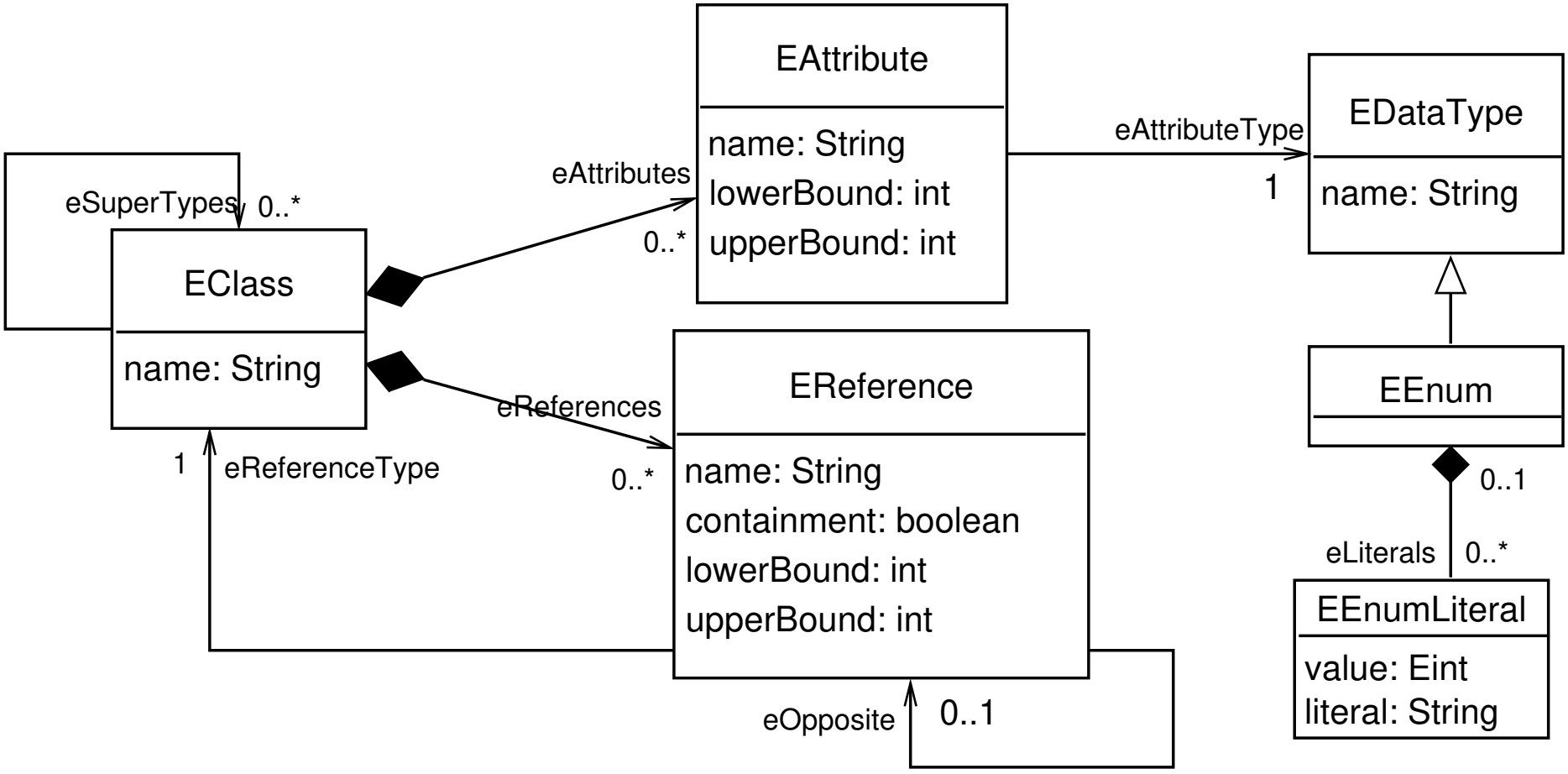
Les langages de méta-modélisation

Plusieurs langages proposés :

- MOF (Meta-Object Facility) proposé par l'OMG, variantes EMOF et CMOF
  Au départ description de UML en UML
  Extraction du minimum d'UML pour décrire UML $\Longrightarrow$ MOF
- **Ecore** : Eclipse/EMF (Eclipse Modelling Framework)
  Implantation de EMOF (équivalent)
- KM3 (Kernel MetaMetaModel) : Meta-modèle de AMMA/ATL, (LINA, Nantes)
- Kermeta : (IRISA, Rennes) extension de EMOF/Ecore pour permettre de décrire le comportement d'un méta-modèle (méta-programmation).
- GME (The Generic Modeling Environment), Vanderbilt.
  `http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/gme/`
- ...

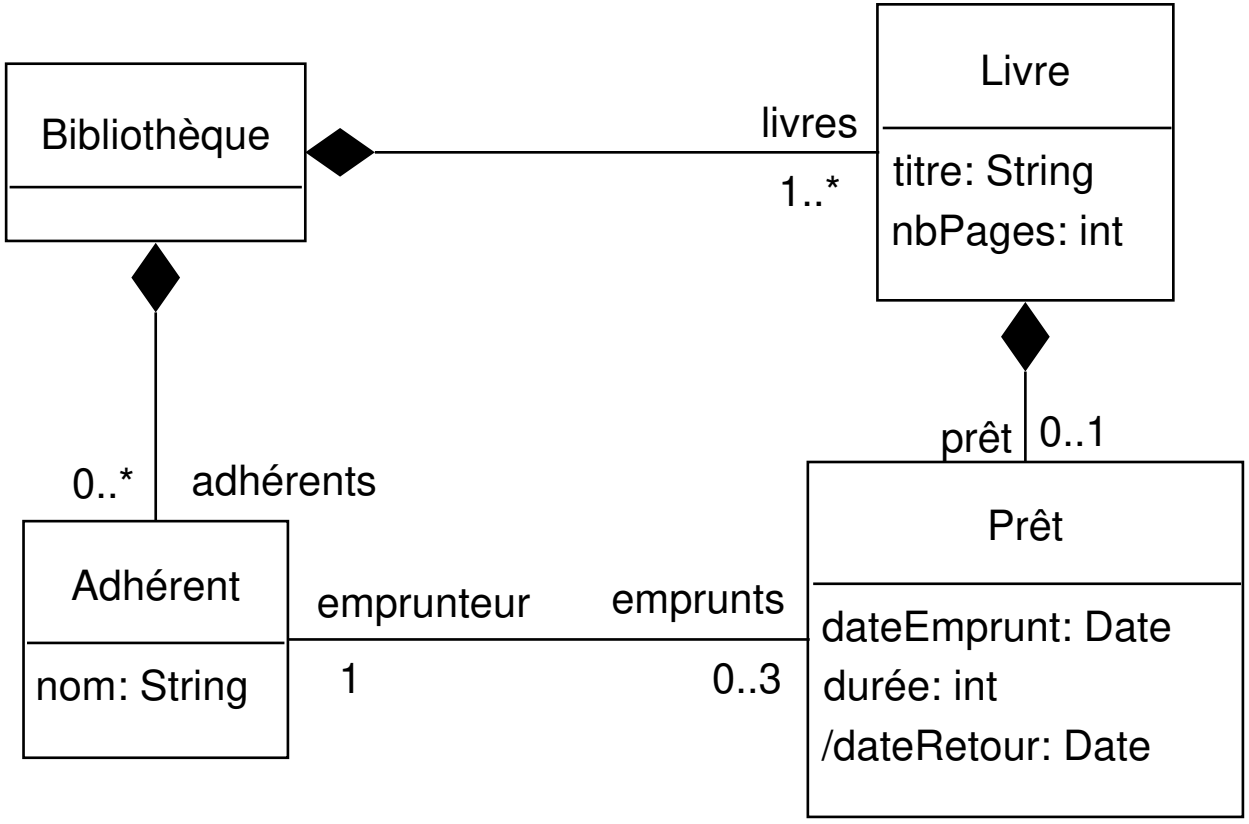
Le langage de méta-modélisation ECore (Eclipse/EMF)

Extrait du méta-modèle ECore : principales notions



Le langage de méta-modélisation ECore (Eclipse/EMF)

Exemple de modèle ECore : bibliothèque



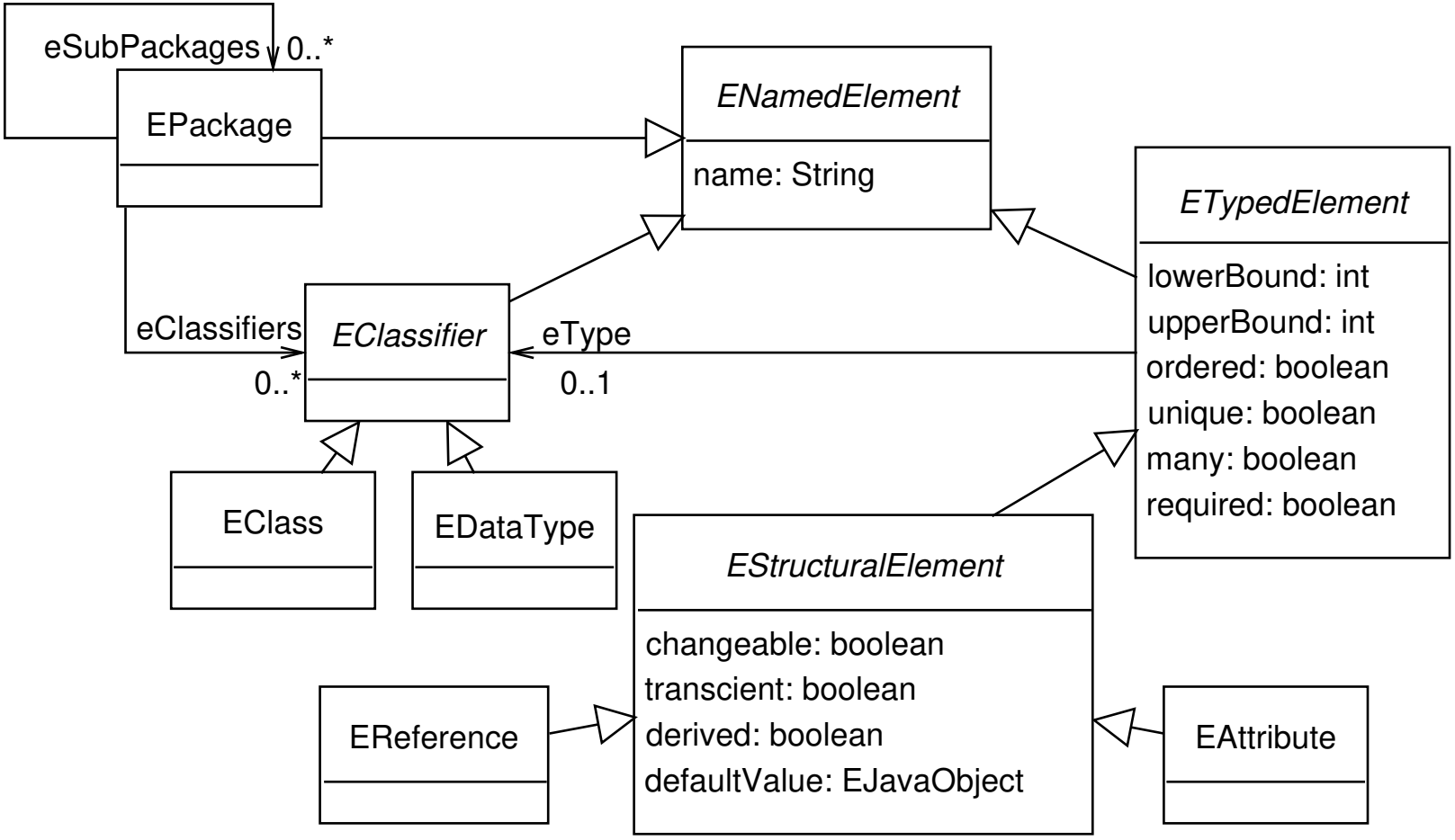
Le langage de méta-modélisation ECore (Eclipse/EMF)

Principaux constituants

- EClass : Description d'un concept
  caractérisé par des attributs et des références
- EAttribute : une propriété de l'objet dont le type est « élémentaire »
- EReference : une référence vers un autre concept (EClass)
  équivalent à une association UML avec sens de navigation
- La propriété *containment* indique s'il y a *composition* :
  - vrai : l'objet référencé est contenu (durées de vie liées)
  - faux : c'est une référence vers un objet contenu par un autre élément.
- multiplicité définie sur les attributs et les références (idem UML).
  Convention : on note -1 pour indiquer $*$ pour *upperBound*
- Héritage multiple : *eSuperTypes*
- Référence *eOpposite* pour indiquer que deux références opposées sont liées (équivalent association UML).

Le langage de méta-modélisation ECore (Eclipse/EMF)

Extrait méta-modèle ECore : propriétés structurelles



Le langage de méta-modélisation ECore (Eclipse/EMF)

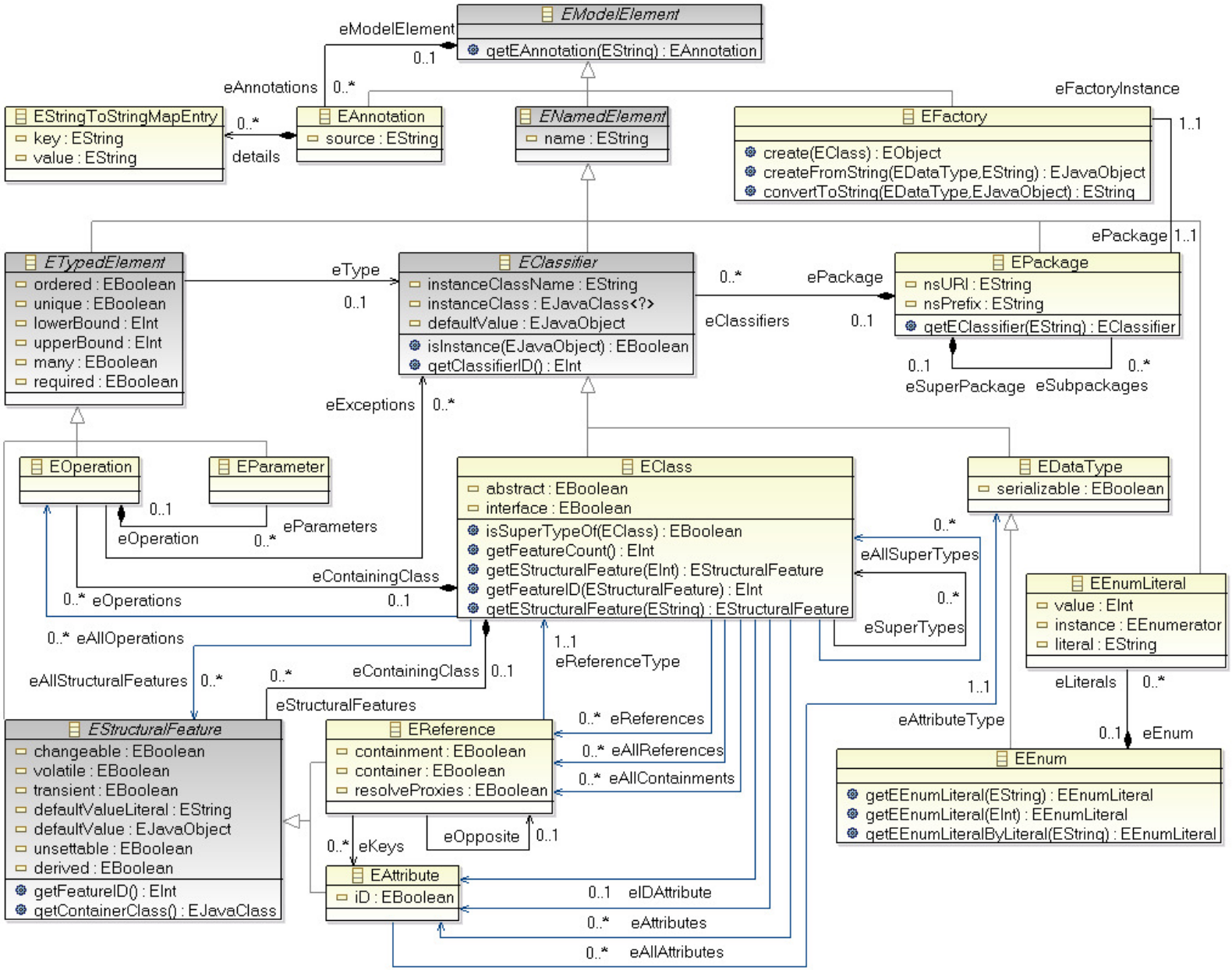
Autres caractéristiques de Ecore

- Méta-modèle : plus riche que le premier présenté.
- Éléments abstraits : ENamedElement, ETypedElement, etc.
- Paquetage : ensemble de classes et paquetages
- Caractéristiques liées à la multiplicité : ordered, unique...
- EEnum : énumération : lister les valeurs possibles d'un EDataType.
- Opération (non présentées) : décrit la signature des opérations, pas le code.

Remarque : Héritage multiple et classes abstraites favorisent la factorisation et la réutilisation (ex : ENamedElement, ETypedElement).

Métamodèle d'Ecore

https://dzone.com/refcardz/essential-emf

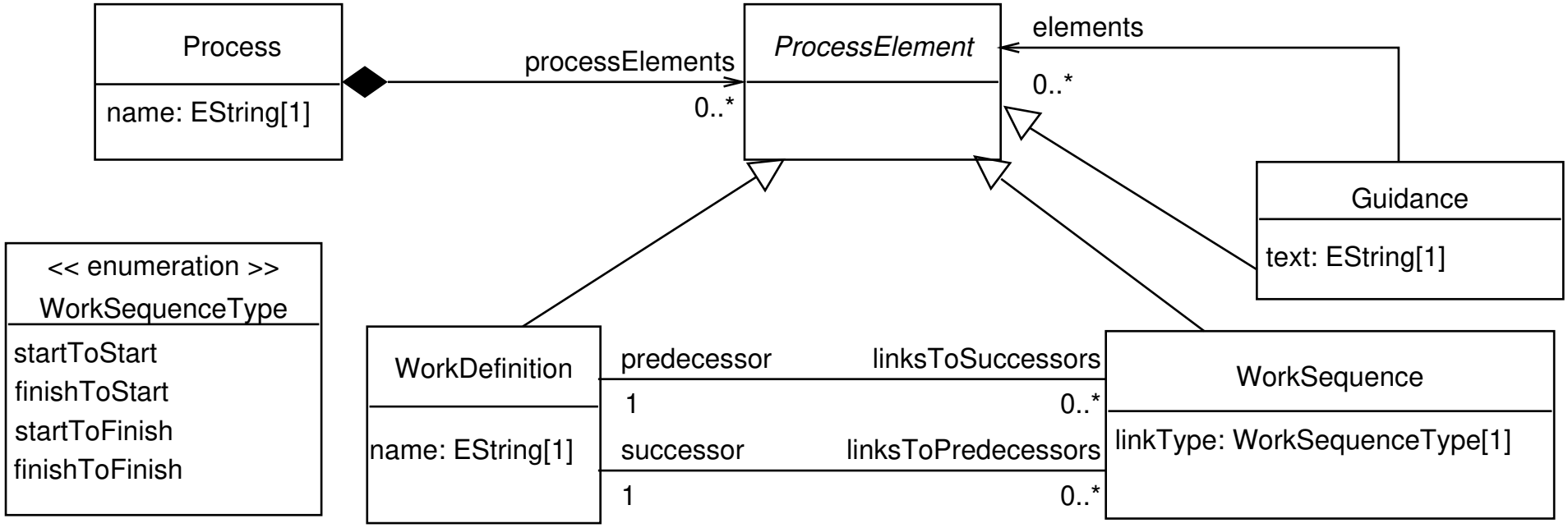


Intérêt de définir un modèle ECore

EMF permet d'engendrer :

- Le modèle Java correspondant :
  - chaque EClass donne une interface et une réalisation. Justification :
    - Bonne pratique que de définir des interfaces !
    - Permet de gérer l'héritage multiple
  - équipée d'observateurs (changement d'attribut ou de référence).
- Un schéma XML correspondant et les opérations de sérialisation/désérialisation associées.
- Un éditeur arborescent pour saisir un modèle.

Le métamodèle de SimplePDL



Attention : Toutes les propriétés ne sont pas capturées par le MM.

$\Longrightarrow$ Il faut donc le compléter : **sémantique statique**

Par exemple avec des propriétés OCL.

Contraintes OCL

```
1  context ProcessElement
2  def: process(): Process =
3          Process.allInstances()->select(p | p.processElements->includes(self))
4                  ->asSequence()->first()
5
6  context WorkSequence
7  inv previousWDinSameProcess: self.predecessor.process = self.process
8  inv nextWDinSameProcess: self.successor.process = self.process
```

Même métamodèle dans avec une syntaxe textuelle (OCLinECore) I

```
1   package simplepdl : simplepdl = 'http://simplepdl' {
2     enum WorkSequenceType { serializable } {
3       literal startToStart;
4       literal finishToStart = 1;
5       literal startToFinish = 2;
6       literal finishToFinish = 3;
7     }
8
9     class Process {
10      attribute name : String;
11      property processElements : ProcessElement[*] { ordered composes };
12      invariant nameForbidden: name <> 'Process';
13    }
14
15    abstract class ProcessElement {
16      property process : Process { derived readonly transient volatile !resolve } {
17        derivation: Process.allInstances()
18            ->select(p | p.processElements->includes(self))
19            ->asSequence()->first();
20      }
21    }
22
23    class WorkDefinition extends ProcessElement {
24      property linksToPredecessors#successor : WorkSequence[*] { ordered };
25      property linksToSuccessors#predecessor : WorkSequence[*] { ordered };
26      property suivantes : WorkDefinition[*] { derived readonly transient volatile !resolve
          }
27      {
```

Même métamodèle dans avec une syntaxe textuelle (OCLinECore) II

```
28          derivation: self.linksToSuccessors->select(successor);
29        }
30        attribute name : String;
31        invariant previousWSinSameProcess:
32          self.process.processElements->includesAll(self.linksToPredecessors);
33        invariant nextWSinSameProcess:
34          self.process.processElements->includesAll(self.linksToSuccessors);
35      }
36
37      class WorkSequence extends ProcessElement {
38        attribute linkType : WorkSequenceType;
39        property predecessor#linksToSuccessors : WorkDefinition;
40        property successor#linksToPredecessors : WorkDefinition;
41        invariant previousWDinSameProcess: self.process = self.predecessor.process;
42        invariant nextWDinSameProcess: self.process = self.successor.process;
43      }
44
45      class Guidance extends ProcessElement {
46        property element : ProcessElement[*] { ordered };
47        attribute text : String[?];
48      }
49    }
```

Le métamodèle PetriNet

Exercice : Proposer un métamodèle en langage ECore pour représenter un réseau de Petri.

Exercice : Lister les contraintes OCL à définir pour garantir que les modèles conformes correspondent à un réseau de Petri valide.

Sommaire

Objectif général

Objectif : OCL est avant tout un **langage de requête** pour calculer une *expression sur un modèle en s'appuyant sur sa syntaxe* (son méta-modèle).
$\Longrightarrow$ Une expression exprimée une fois, pourra être évaluée sur tout modèle conforme au méta-modèle correspondant.
Exemple : pour une bibliothèque particulière on peut vouloir demander :

- Livres possédés par la bibliothèque ? Combien y en a-t-il ?
- Auteurs dont au moins un titre est possédé par la bibliothèque ?
- Titres dans la bibliothèque écrits par Martin Fowler ?
- Nombre de pages du plus petit ouvrage ?
- Nombre moyen de pages des ouvrages ?
- Ouvrages de plus 100 pages écrits par au moins trois auteurs ?
- ...

Programmation par contrat

Principe : Établir formellement les responsabilités d'une classe et de ses méthodes.

Moyen : définition de propriétés (expressions booléennes) appelées :

- **invariant :** propriété définie sur une **classe** qui doit toujours être vraie, de la création à la disparition d'un objet.
  Un invariant lie les requêtes d'une classe (état externe).
- **précondition :** propriété sur une **méthode** qui :
  - doit être vérifiée par l'appelant pour que l'appel à cette méthode soit possible ;
  - peut donc être supposée vraie dans le code de la méthode.

  postconditions : propriété sur une **méthode** qui définit l'effet de la méthode, c'est-à-dire :
  - spécification de ce que doit écrire le programmeur de la méthode ;
  - caractérisation du résultat que l'appelant obtiendra.

Exercice : Invariant pour une Fraction (état = numérateur et dénominateur) ?

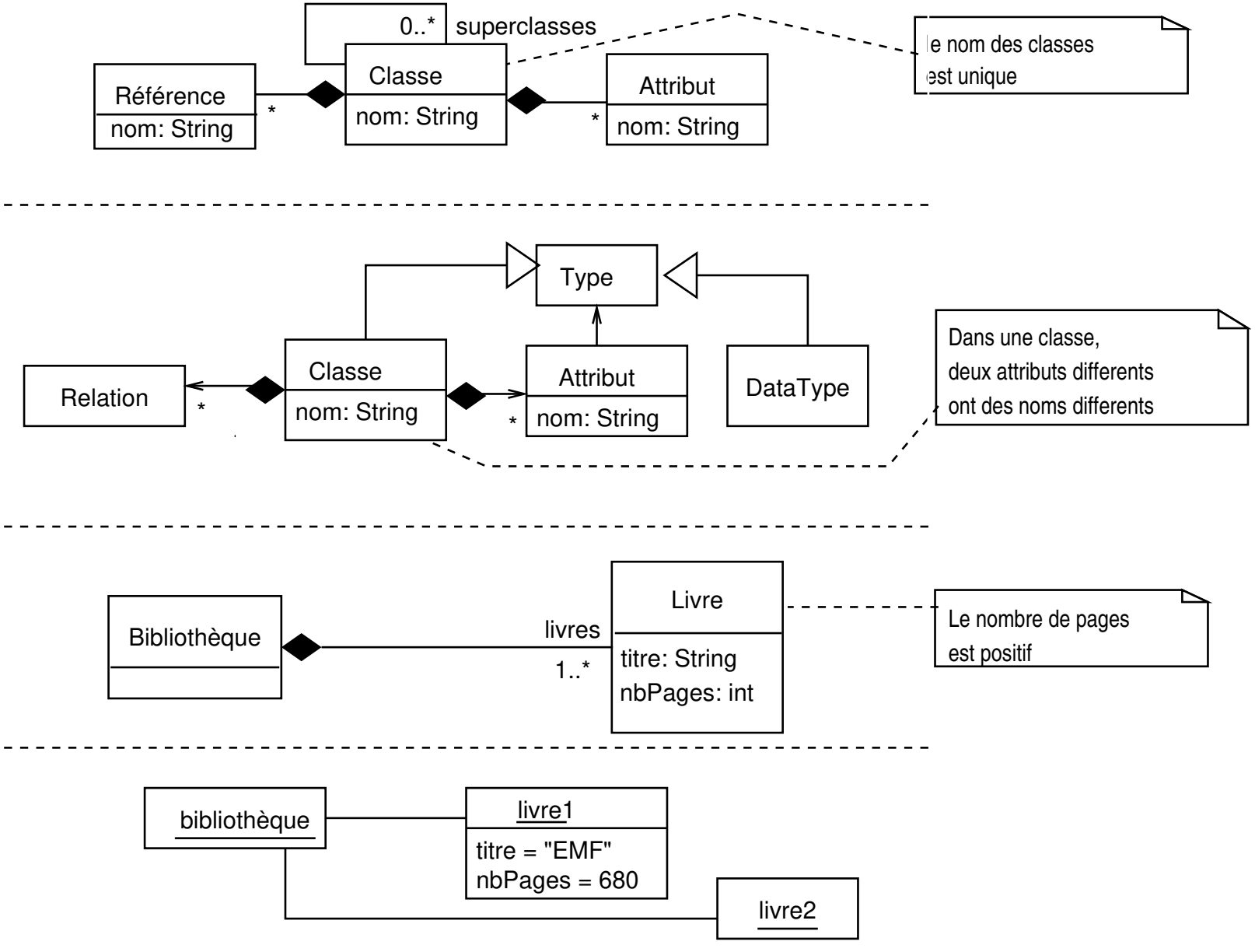
Exercice : Pré- et postconditions de racine carrée et de pgcd ?

OCL et Diagrammes d'UML

OCL peut être utilisé sur différents diagrammes d'UML :

- diagramme de classe :
  - définir des préconditions, postconditions et invariants :
    Stéréotypes prédéfinis : «precondition», «postcondition» et «invariant»
  - caractérisation d'un **attribut dérivé** (p.ex. le salaire est fonction de l'âge)
  - spécifier la **valeur initiale** d'un attribut (p.ex. l'attribut *salaire* d'un employé)
  - spécifier le **code d'une opération** (p.ex. le salaire annuel est 12 fois le salaire mensuel)
- diagramme d'état :
  - spécifier une garde sur une transition
  - exprimer une expression dans une activité (affectation, etc.)
  - ...
- diagramme de séquence :
  - spécifier une garde sur un envoi de message
- ...

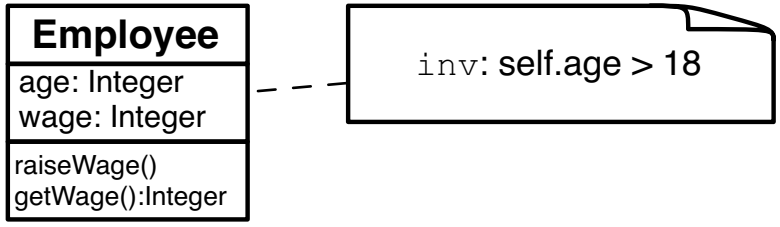
OCL et Méta-modélisation : préciser la sémantique statique d'un modèle



The *Object Constraint Language*

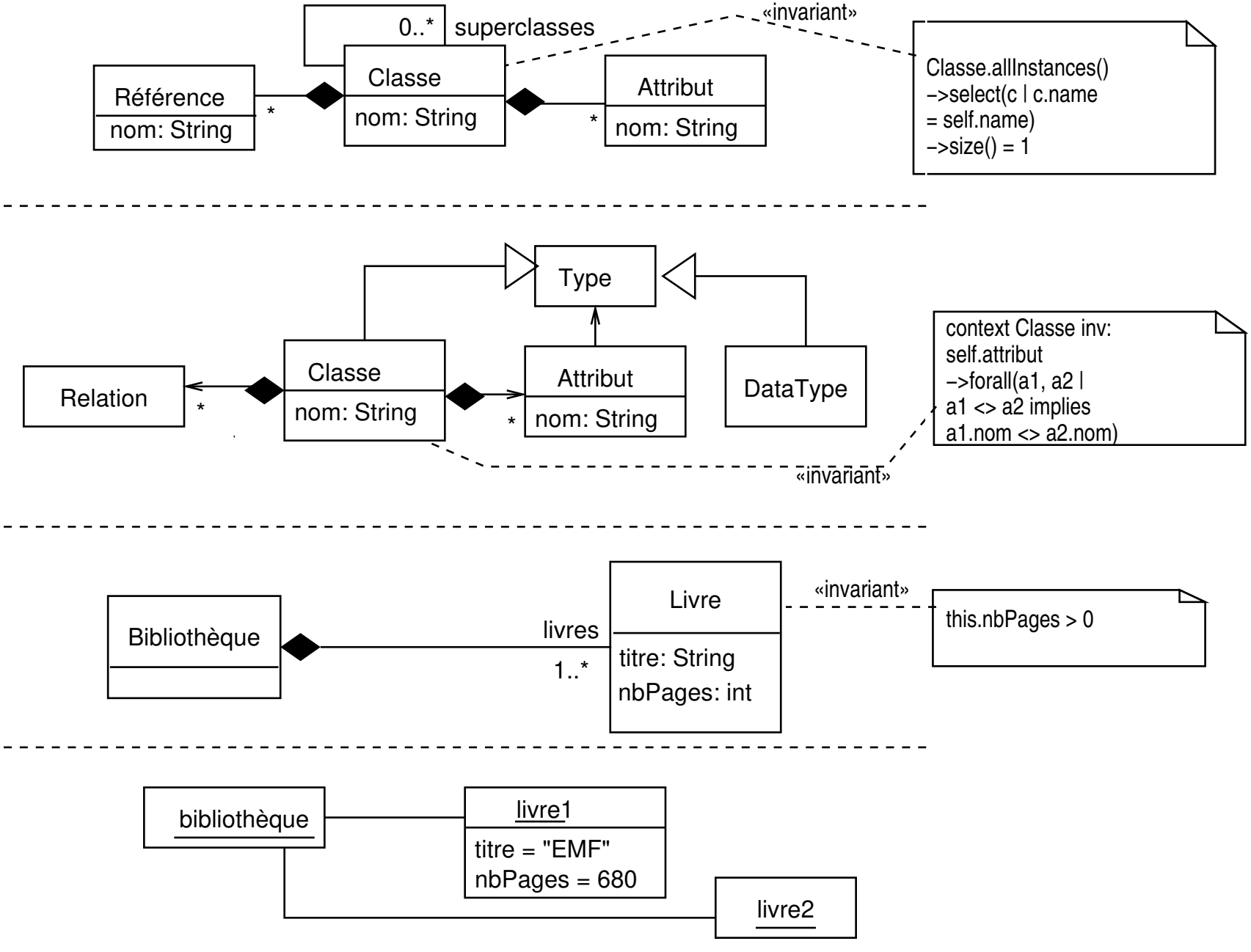
Objectifs initiaux

- Les langages formels traditionnels (e.g. Z) requièrent de la part des utilisateurs une bonne compréhension des fondements mathématiques.
- *Object Constraint Language (OCL)* a été développé dans le but d'être :
  - formel, précis et non ambigu,



  - utilisable par un large nombre d'utilisateurs,
  - un langage de spécification (et non de programmation !),
  - supporté par des outils.

Préciser la sémantique statique d'un modèle



The *Object Constraint Language*

Historique

- Développé en 1995 par IBM,
- Inclu dans le standard UML jusqu'à la version 1.1 (1997),
- OCL 2.0 *Final Adopted Specification* (ptc/06-05-01), May 2006.
- VErsion actuelle : OCL 2.3.1 (ptc/2009-05-03), January 2012.

The *Object Constraint Language*

Propriétés du langage

- **Langage de spécification sans effet de bord**
  - une expression OCL calcule une valeur... **et** laisse le modèle inchangé !
    - ⇒ l'état d'un objet ne peut pas être modifié **par** l'évaluation d'une expression OCL
  - l'évaluation d'une expression OCL est instantanée
    - ⇒ l'état des objets ne peut donc pas être modifié **pendant** l'évaluation d'une expression OCL
  - OCL n'est pas un langage de programmation !
- OCL est un **langage typé** :
  - Chaque expression OCL a un type
  - OCL définit des types primitifs : **Boolean**, **Integer**, **Real** et **String**
  - Chaque *Classifier* du modèle est un nouveau type OCL
  - *Intérêt :* vérifier la cohérence des expressions
    exemple : il est interdit de comparer un String et un Integer

Les types OCL de base

Les types de base (*Primitive*) sont **Integer**, **Real**, **Boolean** et **String**. Les opérateurs suivants s'appliquent sur ces types :

Opérateurs relationnels	$=, <>, >, <, >=, <=$
Opérateurs logiques	*and*, *or*, *xor*, *not*, *if* . . . *then* . . . *else* . . . *endif*
Opérateurs mathématiques	$+, -, /, *, min(), max()\ldots$
Opérateurs pour les chaînes de caractères	*concat*, *toUpper*, *substring*...

Attention : Concernant l'opérateur **if** ... **then** ... **else** ... **endif** :

- la clause **else** est nécessaire et,
- les expressions du **then** et du **else** doivent être de même type.

Attention : and, **or**, **xor** ne sont pas évalués en court-circuit !

Priorité des opérateurs

Liste des opérateurs dans l'ordre de priorité décroissante :

```
1  @pre
2  .    ->                  -- notation pointée et fléchée
3   not  -                   -- opérateurs unaires
4  *    /
5  +    -                   -- opérateurs binaires
6   if- then- else- endif
7  <    >    <=    >=
8  =    <>
9   and   or    xor
10 implies                  -- implication
```

Remarque : Les parenthèses peuvent être utilisées pour changer la priorité.

Les autres types OCL

- Tous les éléments du modèle sont des types (*OclModelElementType*),
  - y compris les énumérations : *Gender* :: *male*,
- Type *Tuple* : enregistrement (produit cartésien de plusieurs types)
  Tuple {a : Collection(Integer) = Set{1, 3, 4}, b : String = 'foo'}
- *OclMessageType* :
  - utilisé pour accéder aux messages d'une opération ou d'un signal,
  - offre un rapport sur la possibilité d'envoyer/recevoir une opération/un signal.
- *VoidType* :
  - a seulement une instance *oclUndefined*,
  - est conforme à tous les types.

Contexte d'une expression OCL

Une expression est définie sur un **contexte** qui identifie :

- une **cible** : l'élément du modèle sur lequel porte l'expression OCL

T	Type (Classifier : Interface, Classe...)	**context** Employee
M	Opération/Méthode	**context** Employee::raiseWage(inc:Int)
A	Attribut ou extrémité d'association	**context** Employee::job : Job

- le **rôle** : indique la **signification** de cette expression (pré, post, invariant...) et donc contraint sa **cible** et son **évaluation**.

rôle	**cible**	**signification**	**évaluation**
inv	T	invariant	toujours vraie
pre	M	précondition	avant tout appel de M
post	M	postcondition	après tout appel de M
body	M	résultat d'une requête	appel de M
init	A	valeur initiale de A	création
derive	A	valeur de A	utilisation de A
def	T	définir une méthode ou un attribut	

Syntaxe d'OCL

inv (invariant) doit toujours être vrai (avant et après chaque appel de méthode)

context Employee
inv: self.age > 18

context e : Employee
inv age_18: e.age > 18

pre (precondition) doit être vraie avant l'exécution d'une opération

post (postcondition) doit être vraie après l'exécution d'une opération

context Employee::raiseWage(increment : **Integer**)
pre: increment > 0
post my_post: self.wage = self.wage**@pre** + increment

context Employee::getWage() : **Integer**
post: result = self.wage

Remarques : result et **@pre** : utilisables seulement dans une postcondition

- **exp@pre** correspond à la valeur de expr avant l'appel de l'opération.
- result est une variable prédéfinie qui désigne le résultat de l'opération.

Syntaxe d'OCL

- **body** spécifie le résultat d'une opération

  context Employee::getWage() : **Integer**
  body: self.wage

- **init** spécifie la valeur initiale d'un attribut ou d'une association

  context Employee::wage : **Integer**
  init: 900

- **derive** spécifie la règle de dérivation d'un attribut ou d'une association

  context Employee::wage : **Integer**
  derive: self.age $*$ 50

- **def** définition d'opérations (ou variables) qui pourront être (ré)utilisées dans des expressions OCL.

  context Employee
  def: annualIncome : **Integer** = 12 $*$ wage

La navigation dans le modèle

Accès aux informations de la classe

- Une expression OCL est définie dans le contexte d'une classe
  - en fait : un type, une interface, une classe, etc.
- Elle s'applique sur un objet, instance de cette classe :

  $\Longrightarrow$ cet objet est désigné par le mot-clé **self**.
- Étant donné un accès à un objet (p.ex. self), une expression OCL peut :
  - accéder à la valeur des attributs :
    - self.nbPages
    - unLivre.nbPages
  - appeler toute requête définie sur l'objet :
    - self.getNbPages()
    - unLivre.getNbPages()

Rappel : Une requête (notée {isQuery} en UML) est une opération :

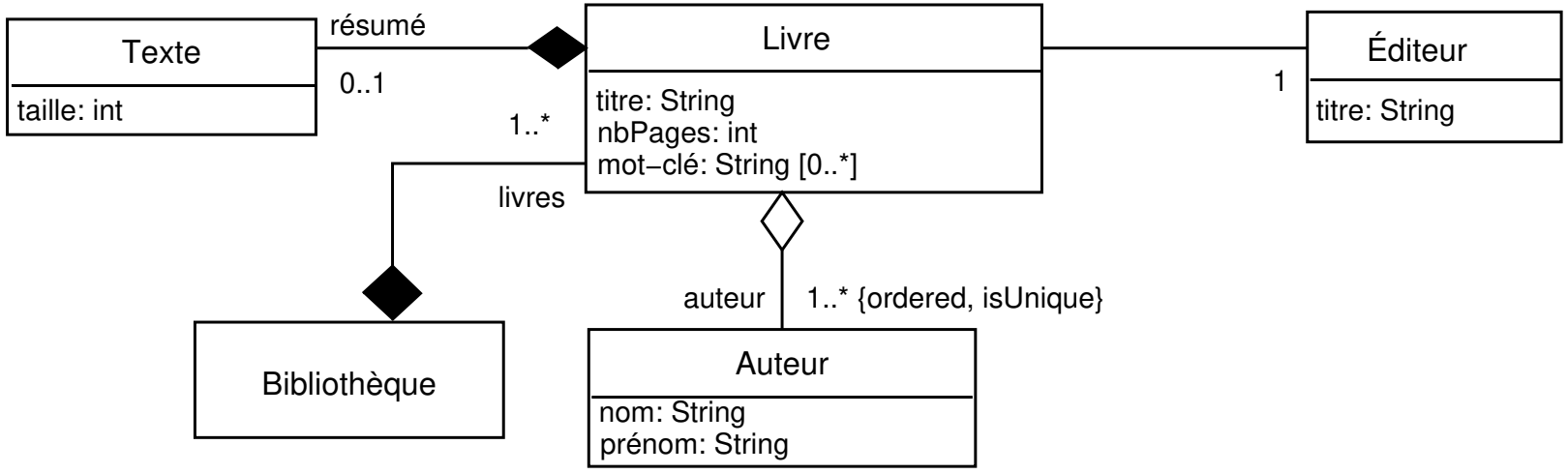
- *qui a un type de retour (calcule une expression) ;*
- *et n'a pas d'effet de bord (ne modifie pas l'état du système).*

Attention : une opération avec effet de bord est proscrite en OCL !

  - parcourir les associations...

Correspondance entre association et OCL

- Exemple de diagramme de classe



- pour atteindre l'autre extrémité d'une association, on utilise :
  - le rôle, p.ex. : unLivre.résumé
  - à défaut le nom de la classe en minuscule : unLivre.éditeur
- La manière dont une association est vue en OCL dépend :
  - de sa multiplicité : un exactement (1), optionnel (0..1), ≥ 2
  - de ses qualificatifs : { **isUnique**}, { **isOrdered**}

Correspondance entre association et OCL

association avec multiplicité ≤ 1

- multiplicité 1 : nécessairement un objet à l'extrémité (invariant implicite)
  - unLivre.éditeur
- multiplicité 0..1 (optionnel) :
  - utiliser l'opération **oclIsUndefined**()
  - unLivre.résumé. **oclIsUndefined**() est :
    - vraie si pas de résumé,
    - faux sinon
  - Exemple d'utilisation :

```
if unLivre.résumé.oclIsUndefined() then
    true
else
    unLivre.résumé.taille >= 60
endif
```

Correspondance entre association et OCL

association avec multiplicité ≥ 2

- les éléments à l'extrémité d'une association sont accessibles par une collection
- OCL définit quatre types de collection :
  - **Set** : pas de double, pas d'ordre
  - **Bag** : doubles possibles, pas d'ordre
  - **OrderedSet** : pas de double, ordre
  - **Sequence** : doubles possibles, ordre
- Lien entre associations UML et collections OCL

UML	Ecore	OCL
		Bag
isUnique	Unique	Set
isOrdered	Ordered	Sequence
isUnique, isOrdered	Unique, Ordered	OrderedSet

- Exemple : unLivre.auteur : la collection des auteurs de unLivre

Les collections OCL

- *Set* : ensemble d'éléments *sans* doublon et *sans* ordre

  Set {7, 54, 22, 98, 9, 54, 20..25}
  —— *Set{7,54,22,98,9,20,21,23,24,25} : Set(Integer)*
  —— *ou Set{7,9,20,21,22,23,24,25,54,98} : Set(Integer), ou...*

- *OrderedSet* : ensemble d'éléments *sans* doublon et *avec* ordre

  OrderedSet {7, 54, 22, 98, 9, 54, 20..25}
  —— *OrderedSet{7,9,20,21,22,23,24,25,54,98} : OrderedSet(Integer)*

- *Bag* : ensemble d'éléments *avec* doublons possibles et *sans* ordre

  Bag {7, 54, 22, 98, 9, 54, 20..25}
  —— *p.ex. : Bag{7,9,20,21,22,22,23,24,25,54,54,98} : Bag(Integer)*

- *Sequence* : ensemble d'éléments *avec* doublons possibles et *avec* ordre

  Sequence{7, 54, 22, 98, 9, 54, 20..25}
  —— *Sequence{7,54,22,98,9,54,20,21,22,23,24,25} : Sequence(Integer)*

Les collections sont génériques : Bag(Integer), Set(String), Bag(Set(Livre))

Opérations sur les collections (bibliothèque standard)

Pour tous les types de Collection

size(): **Integer** —— *nombre d'éléments dans la collection self*
includes(object: T): **Boolean** —— *est—ce que object est dans sefl ?*
excludes(object: T): **Boolean** —— *est—ce que object n'est pas dans self ?*
count(object: T): **Integer** —— *nombre d'occurrences de object dans self*
includesAll(c2: **Collection**(T)): **Boolean**
—— *est—ce que self contient tous les éléments de c2 ?*
excludesAll(c2: **Collection**(T)): **Boolean**
—— *est—ce que self ne contient aucun des éléments de c2 ?*
isEmpty(): **Boolean** —— *est—ce que self est vide ?*
notEmpty(): **Boolean** —— *est—ce que self est non vide ?*
sum(): T —— *la somme (+) des éléments de self*
—— *l'opérateur + doit être défini sur le type des éléments de self*
product(c2: **Collection**(T2)): **Set**(**Tuple**(premier: T, second: T2))
—— *le produit (∗) des éléments de self*

Opérations de la bibliothèque standard pour les collections

En fonction du sous-type de *Collection*, d'autres opérations sont disponibles :

- union
- intersection
- append
- flatten
- =
- ...

Une liste exhaustive des opérations de la bibliothèque standard pour les collections est disponible dans [OMG OCL 2.3.1, §11.7].

Opérations de la bibliothèque standard pour tous les objets

OCL définit des opérations qui peuvent être appliquées à tous les objets

- *oclIsTypeOf*(*t* : *OclType*) : *Boolean*
  Le résultat est vrai si le type de *self* et *t* sont identiques.

  context Employee
  inv: self. **oclIsTypeOf**(Employee) —— *is true*
  inv: self. **oclIsTypeOf**(Company) —— *is false*

- *oclIsKindOf*(*t* : *OclType*) : *Boolean*
  vrai si *t* est le type de *self* ou un super-type de de *self*.
- *oclIsNew*() : *Boolean*
  Uniquement dans les post-conditions
  vrai si le récepteur a été créé au cours de l'exécution de l'opération.
- *oclIsInState*(*t* : *OclState*) : *Boolean*
  Le résultat est vrai si l'objet est dans l'état *t*.

Opérations de la bibliothèque standard pour tous les objets

OCL définit des opérations qui peuvent être appliquées à tous les objets

- $oclAsType(t : OclType) : T$
  Retourne le même objet mais du type t
  Nécessite que $oclIsKindOf(t) = true$
- $allInstances()$
  - prédéfinie pour les classes, les interfaces et les énumérations,
  - le résultat est la collection de toutes les instances du type au moment de l'évaluation.

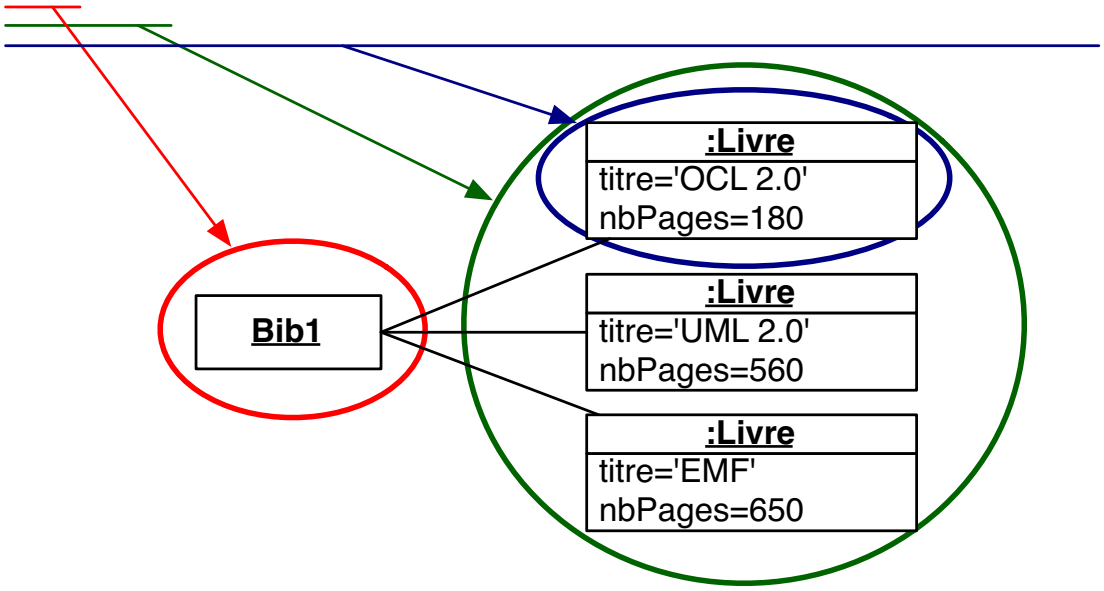
```
context Employee
    inv: Employee. allInstances()—> forAll(p1, p2
        | p1 <> p2 implies p1.name <> p2.name)
```

Opérateur *select* (resp. *reject*)

Permet de spécifier le sous-ensemble de tous les éléments de *collection* pour lesquels l'expression est vraie (resp. fausse pour *reject*).

- $collection \rightarrow select(elem : T|expr)$
- $collection \rightarrow select(elem|expr)$
- $collection \rightarrow select(expr)$

context Bibliothèque inv:
self.livres->select(name = 'OCL 2.0')->notEmpty()

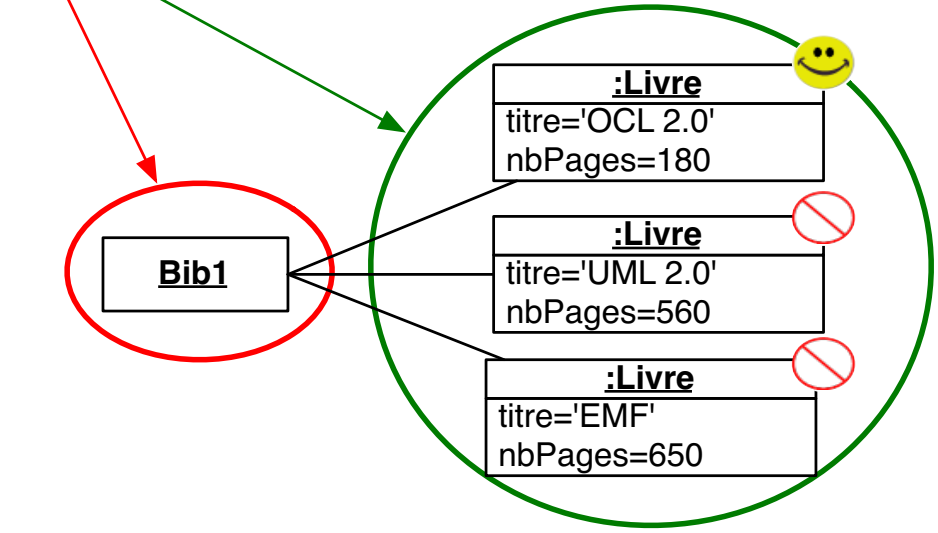


Opérateur *exists*

Retourne vrai si l'expression est vraie pour au moins un élément de la collection.

- $collection \rightarrow exists(elem : T|expr)$
- $collection \rightarrow exists(elem|expr)$
- $collection \rightarrow exists(expr)$

context Bibliothèque inv:
self.livres->exists(name = 'OCL 2.0')

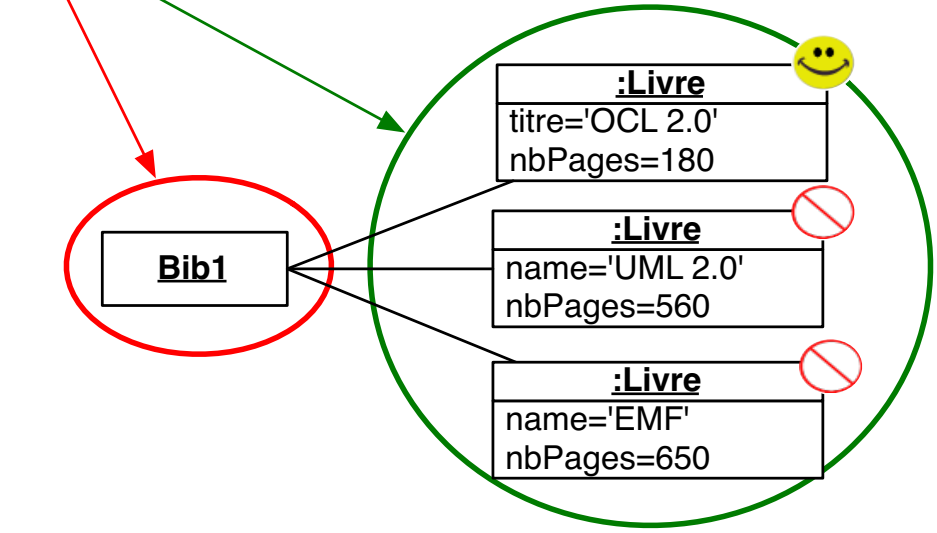


Opérateur *forAll*

Retourne vrai si l'expression est vraie pour tous les éléments de la collection.

- $collection \rightarrow forAll(elem : T|expr)$
- $collection \rightarrow forAll(elem|expr)$
- $collection \rightarrow forAll(expr)$

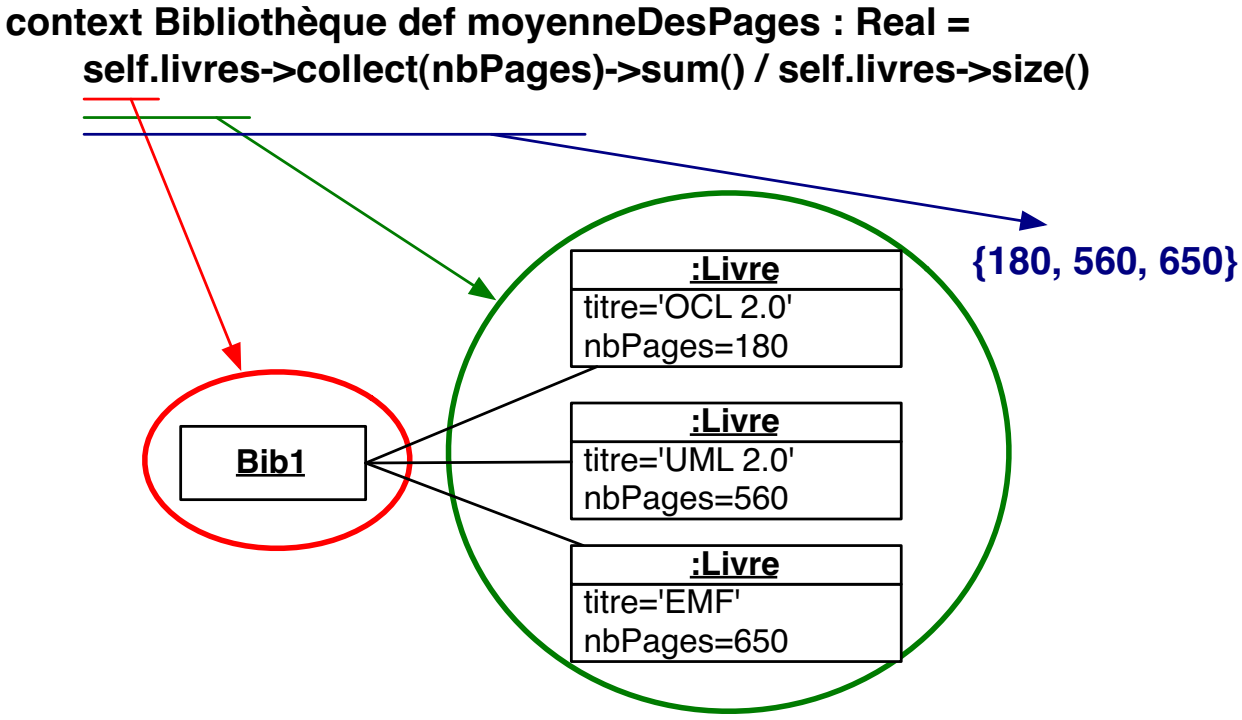
context Bibliothèque inv:
self.livres->forAll(nbPages < 200)



Opérateur *collect*

Retourne la collection des valeurs (*Bag*) résultant de l'évaluation de l'expression appliquée à tous les éléments de collection.

- $collection \rightarrow collect(elem : T|expr)$
- $collection \rightarrow collect(elem|expr)$
- $collection \rightarrow collect(expr)$



Opérateur *iterate*

Forme générale d'une itération sur une collection et permet de redéfinir les précédents opérateurs.

```
collection—> iterate(elem : Type;
        answer : Type = <value>
        | <expression_with_elem_and_answer>)
```

```
context Bibliothèque def moyenneDesPages : Real =
    self.livres—> collect(nbPages)—> sum() / self.livres—> size()
```

—— est identique à :

```
context Bibliothèque def moyenneDesPages : Real =
    self.livres—> iterate(l : Livre;
            lesPages : Bag{Integer} = Bag{}
            | lesPages—> including(l.nbPages))
        —> sum() / self.livres—> size()
```

Plusieurs itérateurs pour un même opérateur

Remarque : les opérateurs *forAll*, *exist* et *iterate* acceptent plusieurs itérateurs :

```
Auteur. allInstances()—> forAll(a1, a2 |
        a1 <> a2 implies
            a1.nom <> a2.nom  or a1.prénom <> a2.prénom)
```

Bien sûr, dans ce cas il faut nommer tous les itérateurs !

Conseils

- **OCL ne remplace pas les explications en langage naturel.**
  - Les deux sont *complémentaires* !
  - *Comprendre* (informel)
  - *Lever les ambiguités* (OCL)
- **Éviter les expressions OCL trop compliquées**
  - éviter les navigations complexes (utiliser **let** ou **def**)
  - bien choisir le contexte (associer l'invariant au bon type !)
  - éviter d'utiliser **allInstances**() :
    - rend souvent les invariants plus complexes
    - souvent difficile d'obtenir toutes les instances dans un système (sauf BD !)
  - décomposer une conjonction de containtes en plusieurs (inv, post, pre)
  - Toujours nommer les extrémités des associations (rôle des objets)

Sommaire

Transformation texte à modèle

- **Objectif :** définir une syntaxe concrète textuelle pour un méta-modèle
- **Intérêt :** pouvoir utiliser tous les outils classiques pour les textes :
  - éditeurs de texte
  - outils de gestion de version et configuration
  - recherche de texte, remplacement de texte
  - ...
- **Xtext** : `http://www.eclipse.org/Xtext`
  - définit un pont entre modelware et grammarware
  - syntaxe concrète définit par une grammaire LL(k)
  - engendre un outil de transformation à la demande des fichiers texte
  - engendre un éditeur syntaxique pour Eclipse

Syntaxe concrète textuelle pour SimplePDL

- Un exemple de syntaxe concrète textuelle :

```
process ExempleProcessus {
        wd RedactionDoc
        wd Conception
        wd Programmation
        wd RedactionTests
        ws Conception f2f RedactionDoc
        ws Conception s2s RedactionDoc
        ws Conception f2s Programmation
        ws Conception s2s RedactionTests
        ws Programmation f2f RedactionTests
}
```

- De nombreuses autres syntaxes sont possibles !
- Qui pourraient être plus pratiques pour l'utilisateur !

Description de la syntaxe concrète avec Xtext I

```
1  grammar fr.n7.PDL1 with org.eclipse.xtext.common.Terminals
2  generate pDL1 "http://www.n7.fr/PDL1"
3
4  Process : 'process' name=ID '{'
5                processElements+=ProcessElement*
6          '}' ;
7
8  ProcessElement : WorkDefinition | WorkSequence | Guidance ;
9
10 WorkDefinition : 'wd' name=ID ;
11
12 WorkSequence : 'ws' linkType=WorkSequenceType
13         'from' predecessor=[WorkDefinition]
14         'to' successor=[WorkDefinition] ;
15
16 enum WorkSequenceType : start2start = 's2s'
17         | finish2start = 'f2s'
18         | start2finish = 's2f'
19         | finish2finish = 'f2f' ;
20
21 Guidance : 'note' texte=STRING ;
```

Transformation modèle à modèle

- **Objectif :** définir une transformation d'un modèle A à un modèle B
- **Intérêt :**
  - Transformer des données d'un formalisme à un autre
  - Modifier un modèle
  - Extraire une vue d'un modèle
  - ...
- **ATL :** `http://www.eclipse.org/atl/`
  - Définition de rêgles de transformation
  - Propose un moteur d'execution de transformations

Propriétés d'une transformation modèle à modèle

- Transformations :
  - **endogènes :** mêmes méta-modèles source et cible,
  - **exogènes :** méta-modèles source et cible différents
- Transformations **unidirectionnelles** ou **bidirectionnelles**
- **Traçabilité :** garder un lien (une trace) entre les éléments cibles et les éléments sources correspondants.
- **Incrémentalité :** une modification du modèle source sera répercutée immédiatement sur le modèle cible.
- **Réutilisabilité :** mécanismes de structuration, capitalisation et réutilisation de transformation.

Le langage de transformation ATL

- ATL (ATLAS Transformation Language) est le langage de transformation développé dans le cadre du projet ATLAS.
- ATL a été développé au LINA à Nantes par l'équipe de Jean Bézivin.
- Fait desormais partie du projet EMP (Eclipse Modeling Project) : `http://www.eclipse.org/modeling/`
- ATL se compose :
  - d'un langage de transformation (déclaratif et impératif) ;
  - d'un compilateur et d'une machine virtuelle ;
  - d'un IDE s'appuyant sur Eclipse
- Pages principales : `http://www.eclipse.org/atl/`
- Manuel utilisateur et autres documentations accessibles sur `http://www.eclipse.org/atl/documentation/`

Transformation en ATL : helper et règle I

```
1  module SimplePDL2PetriNet;
2  create OUT: PetriNet from  IN: SimplePDL;
3
4  -- Obtenir le processus qui contient ce process element.
5  -- Remarque: Ce helper ne serait pas utile si une référence opposite
6  -- avait été placée entre Process et ProcessElement
7  helper context SimplePDL!ProcessElement
8  def: getProcess(): SimplePDL!Process =
9    SimplePDL!Process. allInstances()
10     -> select(p | p.processElements-> includes(self))
11     -> asSequence()-> first();
12
13 -- Traduire un Process en un PetriNet de même nom
14 rule Process2PetriNet {
15   from p: SimplePDL!Process
16   to pn: PetriNet!PetriNet (name <- p.name)
17 }
```

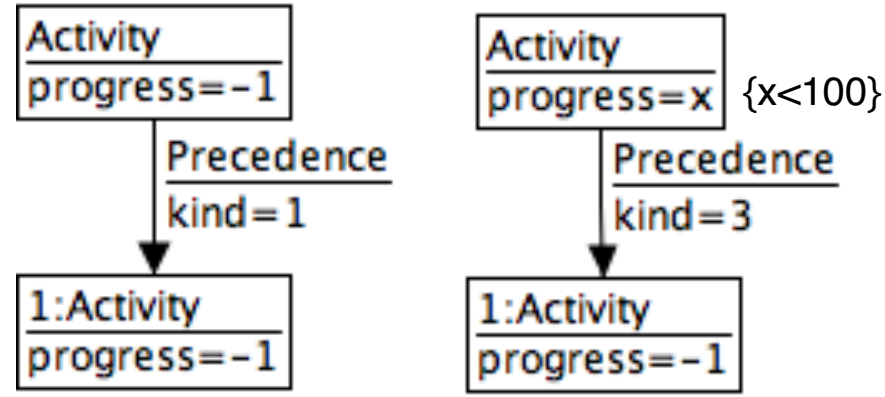
Transformation en ATL : principe I

```
1  -- Traduire une WorkDefinition en un motif sur le réseau de Petri
2  rule WorkDefinition2PetriNet {
3    from wd: SimplePDL!WorkDefinition
4    to
5      -- PLACES d'une WorkDefinition
6      p_ready: PetriNet!Place (name <- wd.name + '_ready',
7          marking <- 1,
8          net <- wd.getProcess())
9      -- TRANSITONS du RdP d'une WorkDefinition
10     , t_start: PetriNet!Transition (name <- wd.name + '_start', net <- wd.
                    getProcess()  )
11     -- ARCS du RdP d'une WorkDefinition
12     , a_nsed2s: PetriNet!Arc (
13         kind <- #normal
14         , weight <- 1
15         , source <- p_ready
16         , target <- t_start
17         , net <- wd.getProcess()
18       )
```

Transformation en ATL : resolveTemp et conditions

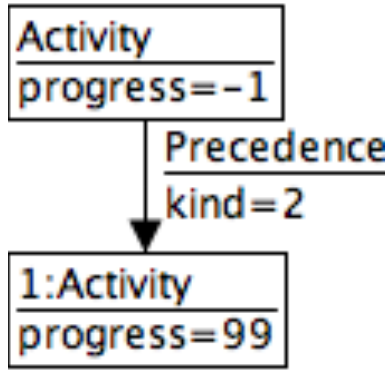
```
1  -- Traduire une WorkSequence
2  rule WorkSequence2PetriNet {
3    from ws: SimplePDL!WorkSequence
4    to a_ws: PetriNet!Arc (
5        kind <- #read_arc
6        , weight <- 1
7        , source <-
8           if ( (ws.linkType = #finishToStart)
                    or (ws.linkType = #finishToFinish) )
9             then thisModule.resolveTemp(ws.predecessor,'p_finished')
10            else thisModule.resolveTemp(ws.predecessor,'p_started')
11          endif
12       , target <-
13          if ( (ws.linkType = #finishToStart)
                    or (ws.linkType = #startToStart) )
14            then thisModule.resolveTemp(ws.successor,'t_start')
15            else thisModule.resolveTemp(ws.successor,'t_finish')
16          endif
17       , net <- ws.getProcess()
18     )
19 }
```

Transformation de graphe (AGG)

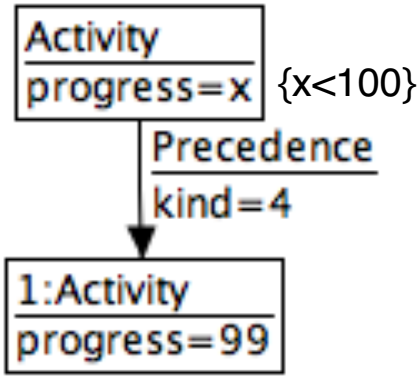


NAC 1.1 : StartToStart

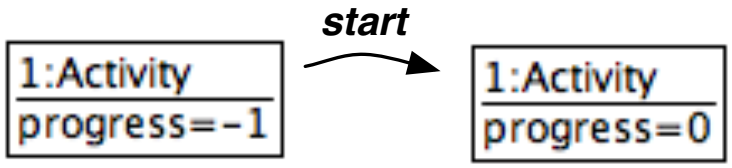
NAC 1.2 : FinishToStart



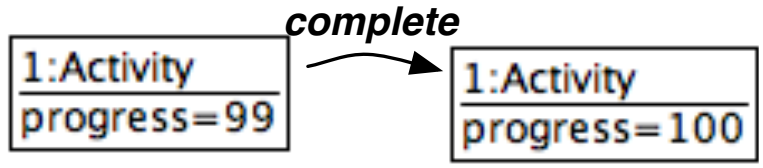
NAC 2.1 : StartToFinish



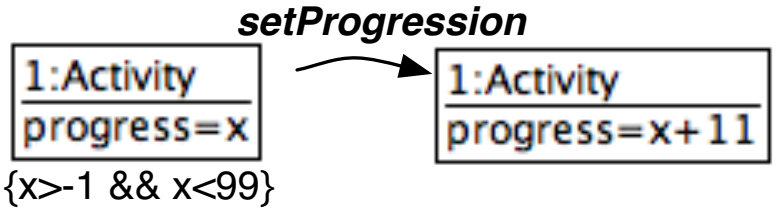
NAC 2.2 : FinishToFinish



Rule 1 : Start



Rule 2 : Complete



Rule 3 : SetProgression

Autres langages pour les transformation

- Spécification QVT de l'OMG
- Les langages de méta-programmation
  - **Kermeta**
  - Epsilon
  - ...
- En fait tout langage, y compris les plus généralistes ! mais sont-ils adaptés ?
  - pouvoir d'expression ?
  - structuration de la transformation ?
  - factorisation / réutilisation ?
  - vérification ?

Transformation modèle à texte

- **Objectif :** Engendrer un texte à partir d'un modèle.
- **Intérêt :**
  - engendrer du code (ex : code Java à partir de diagramme UML)
  - engendrer de la documentation
  - engendrer un texte d'entrée d'un outil
    ex : engendrer la représentation Tina d'un réseau de Petri
- **Outils :**
  - Langage de programmation généraliste
  - Langage de transformation (plus précisément de requête)
  - Langage de template, en particulier ceux de `http://www.eclipse.org/modeling/m2t/`
    - le texte de la page intègre des morceaux de scripts.
  - Nous verrons l'exemple de **Acceleo** : `http://www.eclipse.org/acceleo/`

Sérialisation d'un modèle SimplePDL avec Acceleo I

```
1  [comment encoding = UTF−8 /]
2  [module toPDL('http://simplepdl') /]
3
4  [comment Generation de la syntaxe PDL1 à partir d'un modèle de processus/]
5
6  [template public toPDL(proc : Process)]
7  [comment @main/]
8  [file  (proc.name.concat('.pdl1'), false, 'UTF−8')]
9  process [proc.name/]{
10 [for (wd : WorkDefinition | proc.processElements−>getWDs())]
11   wd [wd.name/]
12 [/for]
13 [for (ws : WorkSequence | proc.processElements−>getWSs())]
14   ws [ws.predecessor.name/] [ws.getWSType()/] [ws.successor.name/]
15 [/for]
16 }
17 [/file]
18 [/template]
19
20 [query public getWDs(elements : OrderedSet(ProcessElement)) : OrderedSet(
                                  WorkDefinition) =
21   elements−>select( e | e.oclIsTypeOf(WorkDefinition) )
22     −>collect( e | e.oclAsType(WorkDefinition) )
23     −>asOrderedSet()
24 /]
```

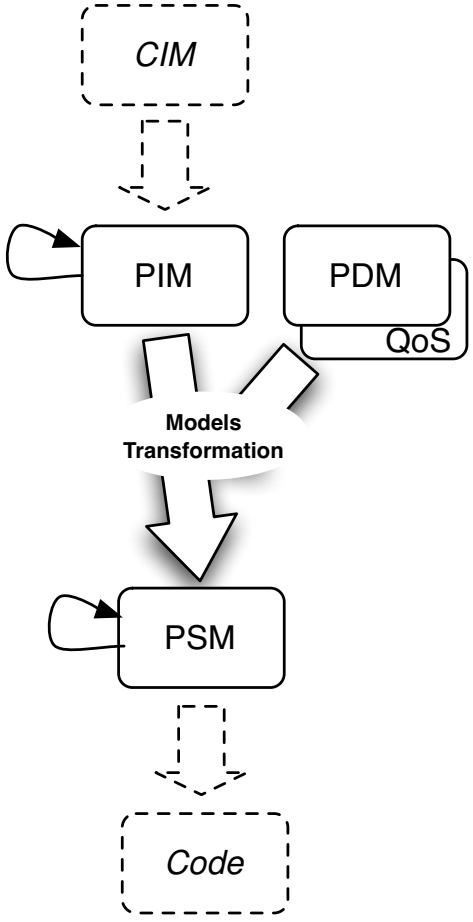
Sérialisation d'un modèle SimplePDL avec Acceleo II

```
25
26  [query public getWSs(elements : OrderedSet(ProcessElement)) : OrderedSet(
                                  WorkSequence) =
27    elements->select( e | e.oclIsTypeOf(WorkSequence) )
28      ->collect( e | e.oclAsType(WorkSequence) )
29      ->asOrderedSet()
30  /]
31
32  [template public getWSType(ws : WorkSequence)]
33  [if  (ws.linkType = WorkSequenceType::startToStart)]
34  s2s[elseif (ws.linkType = WorkSequenceType::startToFinish)]
35  s2f[elseif (ws.linkType = WorkSequenceType::finishToStart)]
36  f2s[elseif (ws.linkType = WorkSequenceType::finishToFinish)]
37  f2f[/if]
38  [/template]
```

Le modèle au centre du développement

- Partir de CIM (Computer Independant Model) :
  - aucune considération informatique n'apparaît
- Faire des modèles indépendants des plateformes (PIM)
  - rattaché à un paradigme informatique ;
  - indépendant d'une plateforme de réalisation précise
- Spécifier des règles de passage (transformation) vers ...
- ... les modèles dépendants des plateformes (PSM)
  - version modélisée du code ;
  - souvent plus facile à lire.
- Automatiser au mieux la production vers le code
  PIM $\rightarrow$ PSM $\rightarrow$ Code

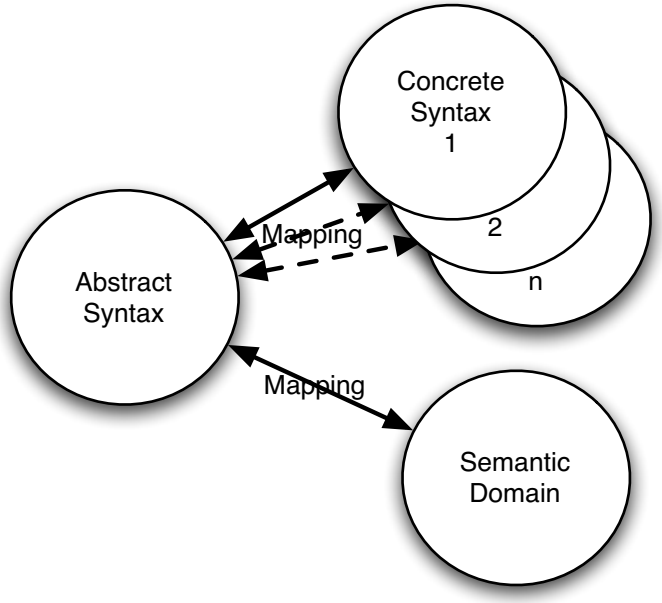
$\Longrightarrow$ Processus en Y

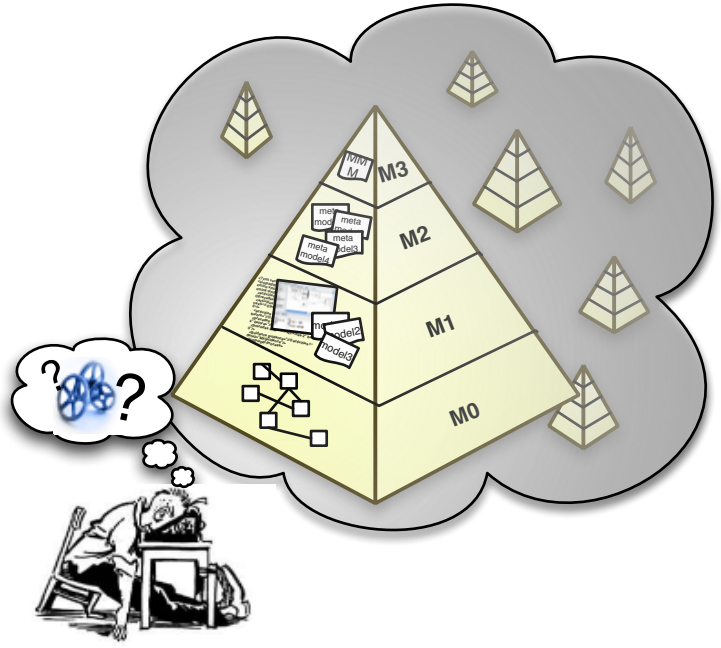


Définition d'un DSL

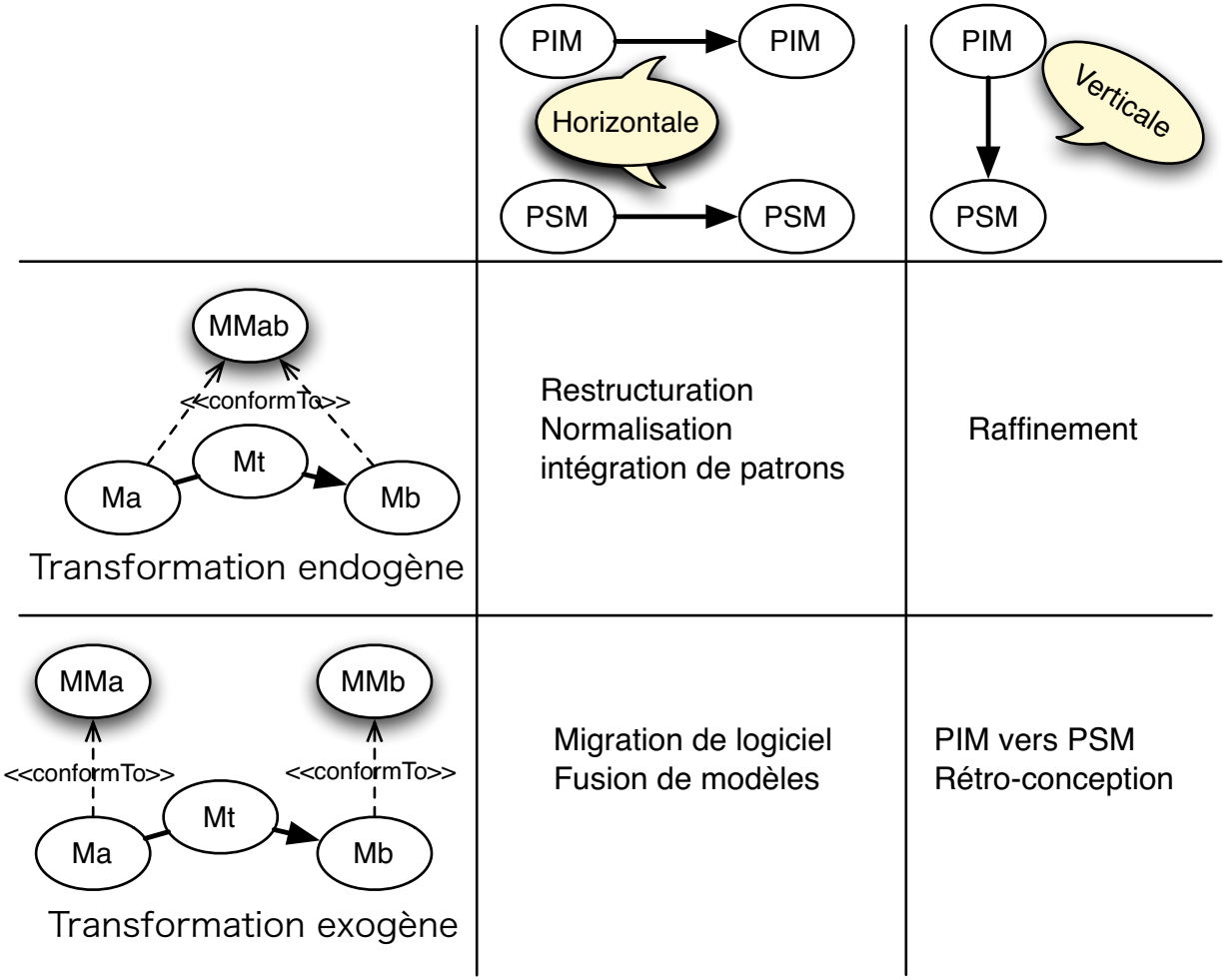
Un DSL c'est :

- une syntaxe abstraite (concepts et relations)
- des syntaxes concrètes (graphiques et textuelles)
- des domaines sémantiques





Classes de transformation



Propriétés d'une transformation

- Transformations endogènes, exogènes
- Transformations unidirectionnelles ou bidirectionnelles
- Réversibilité
- Traçabilité
- Incrémentabilité
- Réutilisabilité

Exemple : Transformation de structures séquentielles

d'enregistrements

Le système Unix :

- une commande peut être constituée d'autres commandes
- les commandes peuvent être chaînées (pipe)
- structures de contrôle possibles sur l'exécution des commandes
- tester le résultat d'une commande

AWK : un générateur de rapports par Aho, Kernighan et Weinberg

- recherche de motifs
- exécution d'actions

$\Rightarrow$ style déclaratif

```
BEGIN {
  profondeur = 0;
  nb_blocs = 0;
  max_p = 0;
}
/^6.*/ {
  profondeur++;
  nb_blocs++;
   if (profondeur > max_p)
    max_p = profondeur;
}
/^−6.*/ {
   if (profondeur == 0)
    print "ERREUR";
   else
    profondeur−−;
}
END {
  print "nb_blocs = "  nb_blocs;
  print "max_p = "  max_p;
}
```

Exemple : Transformations d'arbres

Principe : Exploiter des dommaines structurés en arbre. Le parcours est guidé par la structure d'arbre.

Exemples :

- XSLT ou XQuery
- Compilation et grammaires attribuées

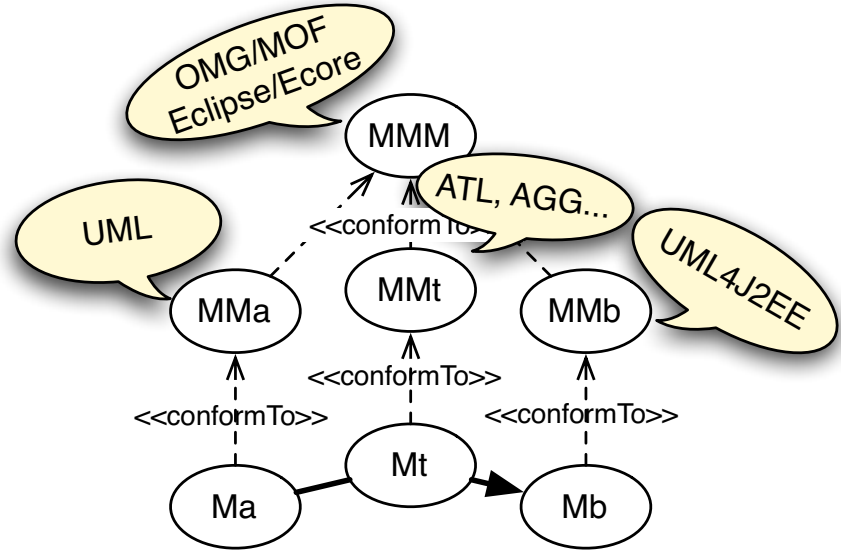
Exemple : Transformations de graphes

Principe : Un modèle en entrée (un graphe orienté étiqueté) est transformé en un modèle de sortie. La transformation est spécifiée par un autre modèle.

Transformation :
Mb* ← **f** (MMa*, MMb*, Mt, Ma*)

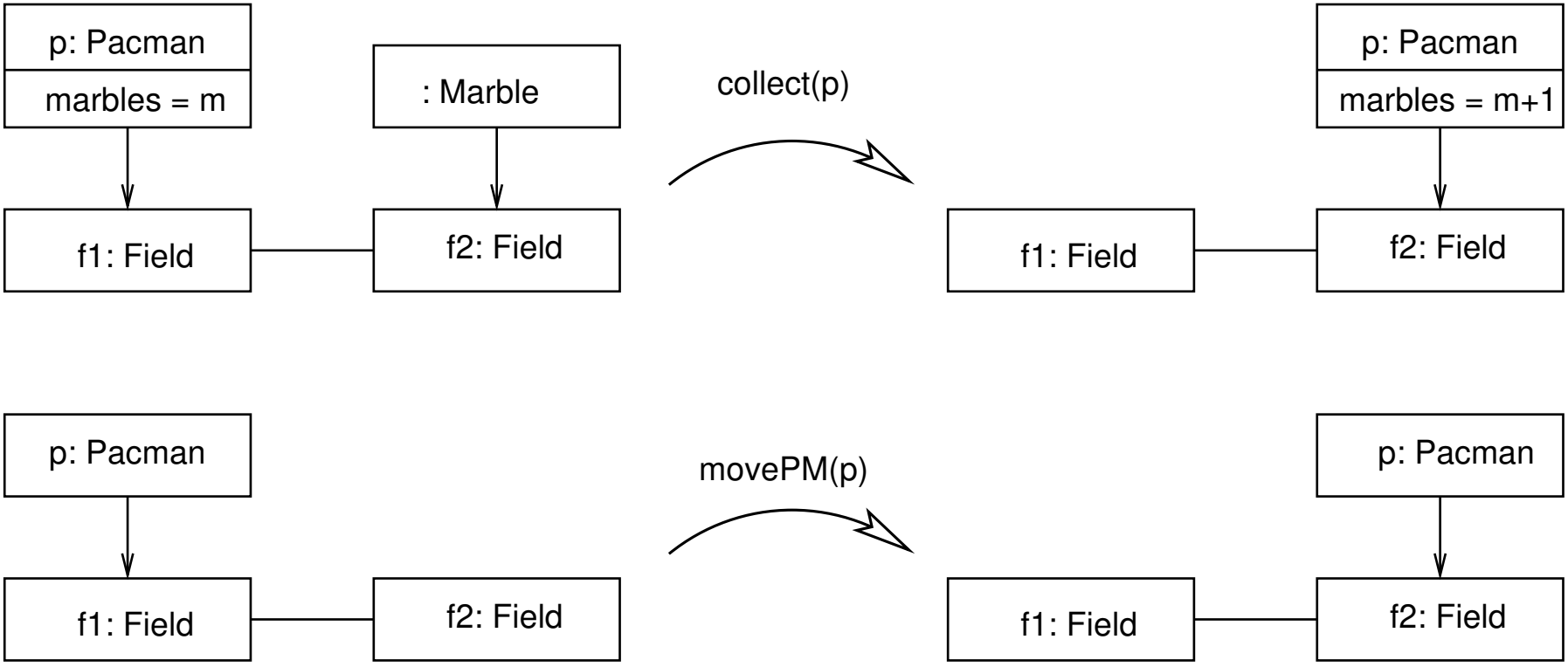
Remarque : Il pourrait y avoir plusieurs Ma et Mb.

Exemples : AGG, MDA/QVT, ATL...



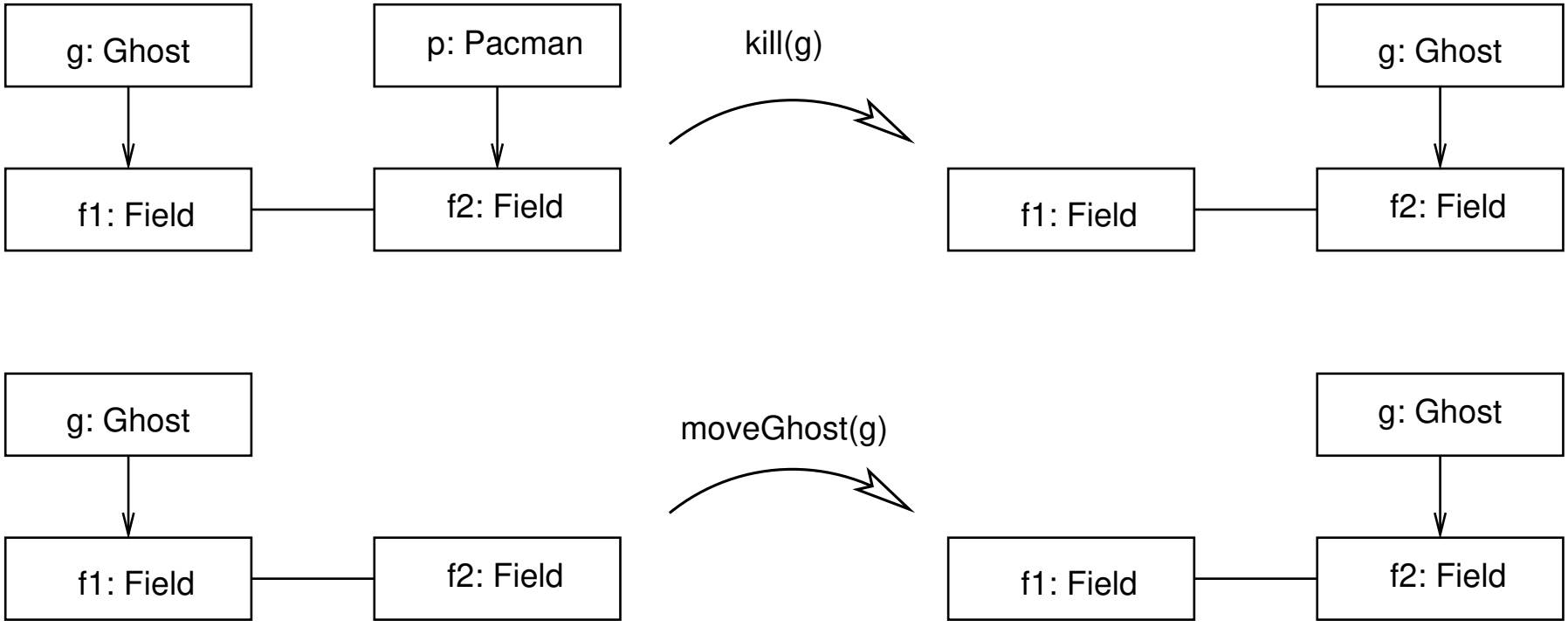
Génération 3 : Transformations de graphes

Exemple avec AGG et le pacman : règles du pacman



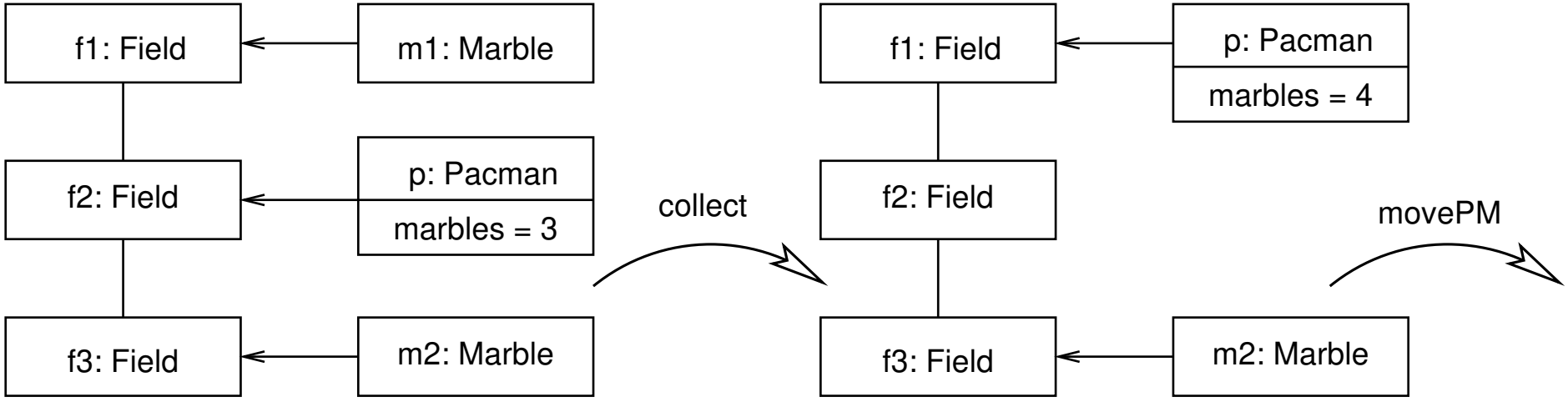
Génération 3 : Transformations de graphes

Exemple avec AGG et le pacman : règles du fantôme

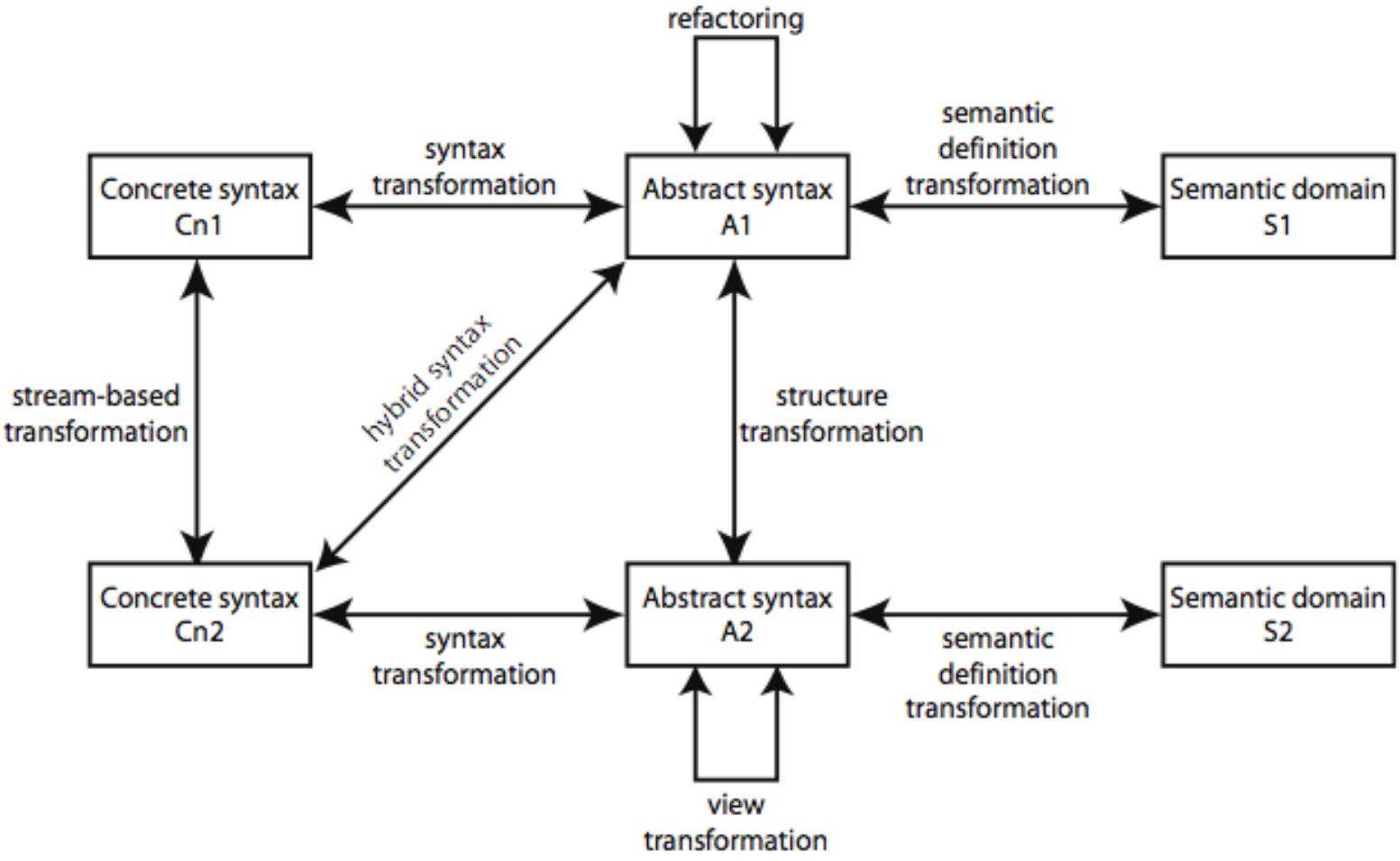


Génération 3 : Transformations de graphes

Exemple avec AGG et le pacman : exemple



Types de transformation



L'appel à propositions pour QVT

Description du problème

QVT = Query / Views / Transformations

Description du problème au quel doivent répondre les propositions de l'OMG QVT Request for Proposals (QVT RFP, ad/02-04-10) de 2002 :

- normaliser un moyen d'exprimer des correspondances (transformations) entre langages définis avec MOF
- exprimer des requêtes (***Queries***) pour filtrer et sélectionner des éléments d'un modèle (y compris sélectionner les éléments source d'une transformation.)
- proposer un mécanisme pour créer des vues (***Views***).
  Vue = modèle déduit d'un autre pour en révéler des aspects spécifiques.
- formaliser une manière de décrire des transformations (***Transformations***) qui sont actuellement décrites en langage naturel, BNF, etc.

L'appel à propositions pour QVT

Exigences obligatoires

- définir un **langage de requêtes** sur des modèles ;
- définir un **langage de transformation** entre un méta-modèle source S et un méta-modèle cible T qui à partir d'un modèle source conforme à S engendre un modèle cible conforme à T.
- la **syntaxe abstraite** des langages de transformation, requête et vues, doit être définie comme un **méta-modèle MOF 2.0**.
- le langage de transformation doit permettre d'exprimer toute information nécessaire pour **engendrer automatiquement** le modèle cible depuis le source.
- le langage de transformation doit permettre de **créer une vue** d'un méta-modèle.
- le langage de transformation doit être **déclaratif**.
  Intérêt : pouvoir répercuter les changements sur les modèles.
- tous les mécanismes spécifiés dans la réponse doivent **opérer sur des modèles conformes aux méta-modèles définis avec MOF 2.0**.

L'appel à propositions pour QVT

Exigences optionnelles

- Les définitions de transformations peuvent être **bidirectionnelles**.
- **Traçabilité** entre les éléments source et destination lors de l'exécution d'une transformation.
- Mécanismes pour **réutiliser les définitions de transformation** (templates, pattern, redéfinition, surcharge).
- Utilisation de données supplémentaires à celle des modèles source et destination (**données intermédiaires**).
- Possibilité d'avoir **même modèle source et destination** (mise à jour d'un modèle, exemple : information dérivée).

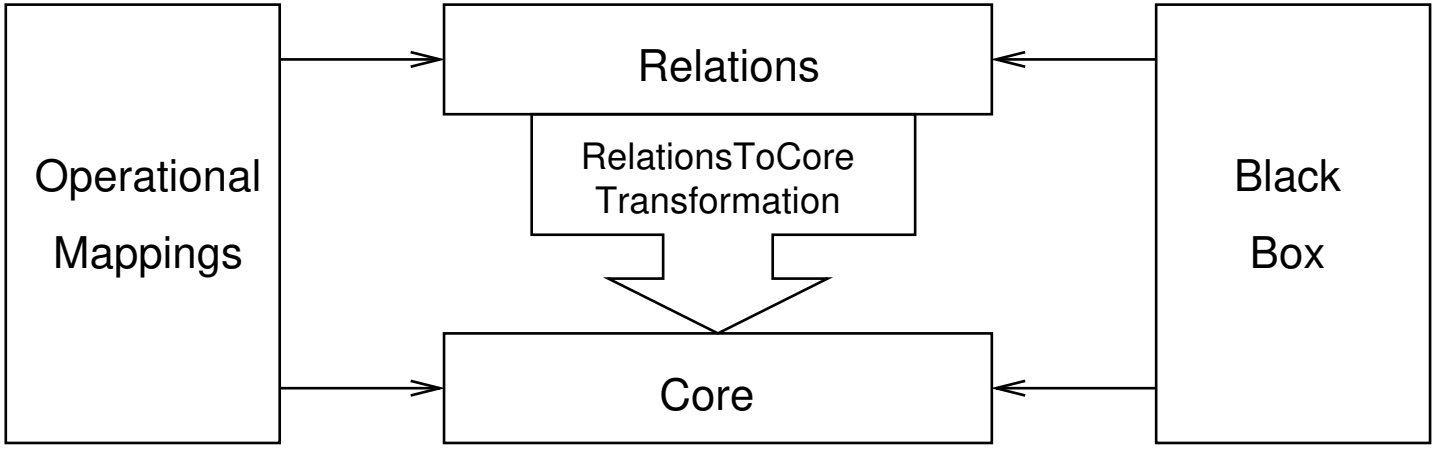
Le standard QVT

Informations générales

- **Standard OMG :** *MOF QVT final adopted specification* (ptc/05-11-01).
- Syntaxe abstraite en MOF 2.0 (et syntaxe concrète textuelle et graphique)
- Possibilité de plusieurs modèles (conformes à des méta-modèles issus de MOF)
- Langage de requête s'appuyant sur OCL
- Gestion automatique des liens de traçabilité
- Plusieurs scénarios d'exécution :
  - check-only : vérifier si les modèles donnés respectent une relation
  - transformations unidirectionnelles
  - transformations multi-directionnelles
  - répercutions sur les modèles cibles des modifications progressives sur les modèles sources (transformation incrémentale)

Le standard QVT

Architecture



- **Style déclaratif :**
  - *Relations :* spécification déclarative de haut niveau entre modèles MOF
  - *Core :* expressivité équivalente à *Relations* mais simplifié ($\equiv$ JVM)
- **Style impératif :**
  - *Operational Mappings Language* : étend *Relations* avec des constructions impératives (extension d'OCL)
  - *Black Box :* mécanisme pour appeler un programme externe

$\Rightarrow$ 3 langages qui ensemble constituent un « langage hybride ».

Le standard QVT

Transformations

transformation umlRdbms (uml: SimpleUML, rdbms: SimpleRDBMS) {
...

- Une transformation a un **nom** : umlRdbms
- Elle porte sur des **modèles candidats**. Ici deux modèles candidats uml et rdbms
- Chaque modèle candidat est **typé** par un **méta-modèle** : SimpleUML et SimpleRDBMS
  $\Longrightarrow$ Le modèle candidat doit être conforme à son méta-modèle.
- Une transformation contient des **relations** qui doivent être vraies sur les modèles candidats pour que la transformation soit réussie.
- Une **direction de transformation** peut être précisée (en choisissant un modèle qui devient cible). Si la transformation n'est pas réussie, le modèle cible sera modifié en conséquence : ajout, suppression ou modification d'éléments.

Le standard QVT

Relations

```
relation PackageToSchema {      /* map each package to a schema */
    domain uml   p:Package { name = pn }
    domain rdbms s:Schema  { name = pn }
}
```

- Une **relation** spécifie des contraintes qui doivent être satisfaites sur les éléments de modèles candidats d'une transformation.
- **Domaine** = motif typé qui correspond à une partie d'un modèle candidat.
  - un paquetage p de uml qui a pour nom pn
  - un schéma s de rdbms de nom pn
  - p, s et pn sont des variables libres
- Les différents domaines (2 ici) doivent pouvoir être mis en correspondance.
  - Pour chaque paquetage, il doit y avoir un schéma de même nom
  - Pour chaque schéma, il doit y avoir un paquetage de même nom

Le standard QVT

Les clauses **when** et **where**

```
relation ClassToTable {
/* map each persistent class to a table */
  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
    }
  }
  domain uml c:Class {
    namespace = p:Package {},
    kind = 'Persistent',
    name = cn
  }
  when {
    PackageToSchema(p, s);
  }
  where {
    AttributeToColumn(c, t);
  }
}
```

- Clause **when** : condition sous laquelle la relation doit être vérifiée.
- Clause **where** : condition que doivent vérifier tous les éléments de modèle participant à la relation. Permet de contraindre les variables libres de la relation et ses domaines.

Le standard QVT

Top—level relations

```
transformation umlRdbms (uml: SimpleUML, rdbms: SimpleRDBMS) {
  top relation PackageToSchema  { ... }
  top relation ClassToTable     { ... }
  relation AttributeToColumn    { ... }
}
```

- une transformation contient deux types de relation : **top** et non-**top**
- l'exécution d'une transformation nécessite que toutes les **top** soient satisfaites. Les non-**top** ne doivent l'être que si elles sont invoquées directement ou transitivement dans une clause **where**.

Le standard QVT

Mise à jour d'objet déjà créés : **resolveIn**

```
transformation JClass2JPackage(inout javamodel:JAVA);
    main () {
        javamodel—> objectsOfType(JClass)—>jclass2jpackage();
    }

    mapping Class::jclass2jpackage() : JPackage () {
        init {
            result := resolveIn(jclass2jpackage, true)
                    // all JPackage objet created using jclass2jpackage
                —>select(p| self.package=p.name)—>first();
                    // select those named p.name and take the first one
            if result then return;
                // avoid creating two packages with the same name
        }
        name := self.package;
            // set the name of the new created JPackage object
        }
}
```

Conclusion

Les transformations : un complément nécessaire pour l'IDM

Gains espérés :

- mise en œuvre des processus en Y
- automatiser (au moins partiellement) le passage entre modèles et/ou espaces technologiques
- favoriser l'interopérabilité entre outils
- capitaliser le savoir faire
- plus haut niveau d'abstraction $\rightarrow$ meilleure maîtrise, vérification, validation

État actuel :

- manque de maturité des outils disponibles ;
- comment tester une transformation ?
- nombreuses contraintes techniques ;
- écrire une transformation en Java a encore un sens. Mais vérifier son programme Java est difficile !

Sommaire

Origines d'ATL

- ATL (ATLAS Transformation Language) est le langage de transformation développé dans le cadre du projet ATLAS.
- ATL a été développé au LINA à Nantes par l'équipe de Jean Bézivin.
- Fait desormais partie du projet EMP (Eclipse Modeling Project) : `http://www.eclipse.org/modeling/`
- ATL se compose :
  - d'un langage de transformation (déclaratif et impératif) ;
  - d'un compilateur et d'une machine virtuelle ;
  - d'un IDE s'appuyant sur Eclipse
- Pages principales : `http://www.eclipse.org/atl/`
- Manuel utilisateur et autres documentations accessibles sur `http://www.eclipse.org/atl/documentation/`

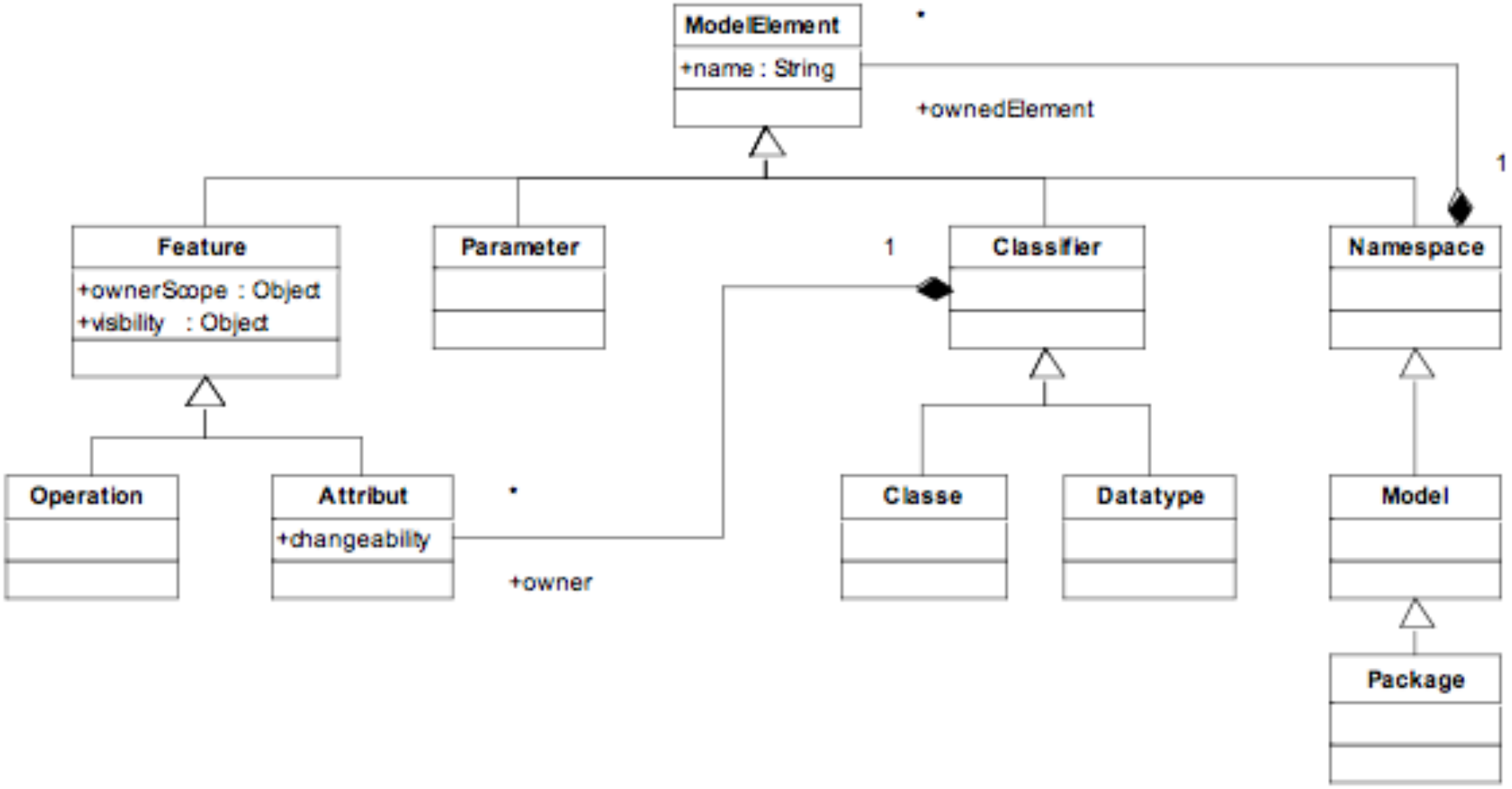
Transformation UML vers Java

Transformer notre modèle UML vers notre modèle Java consiste à :

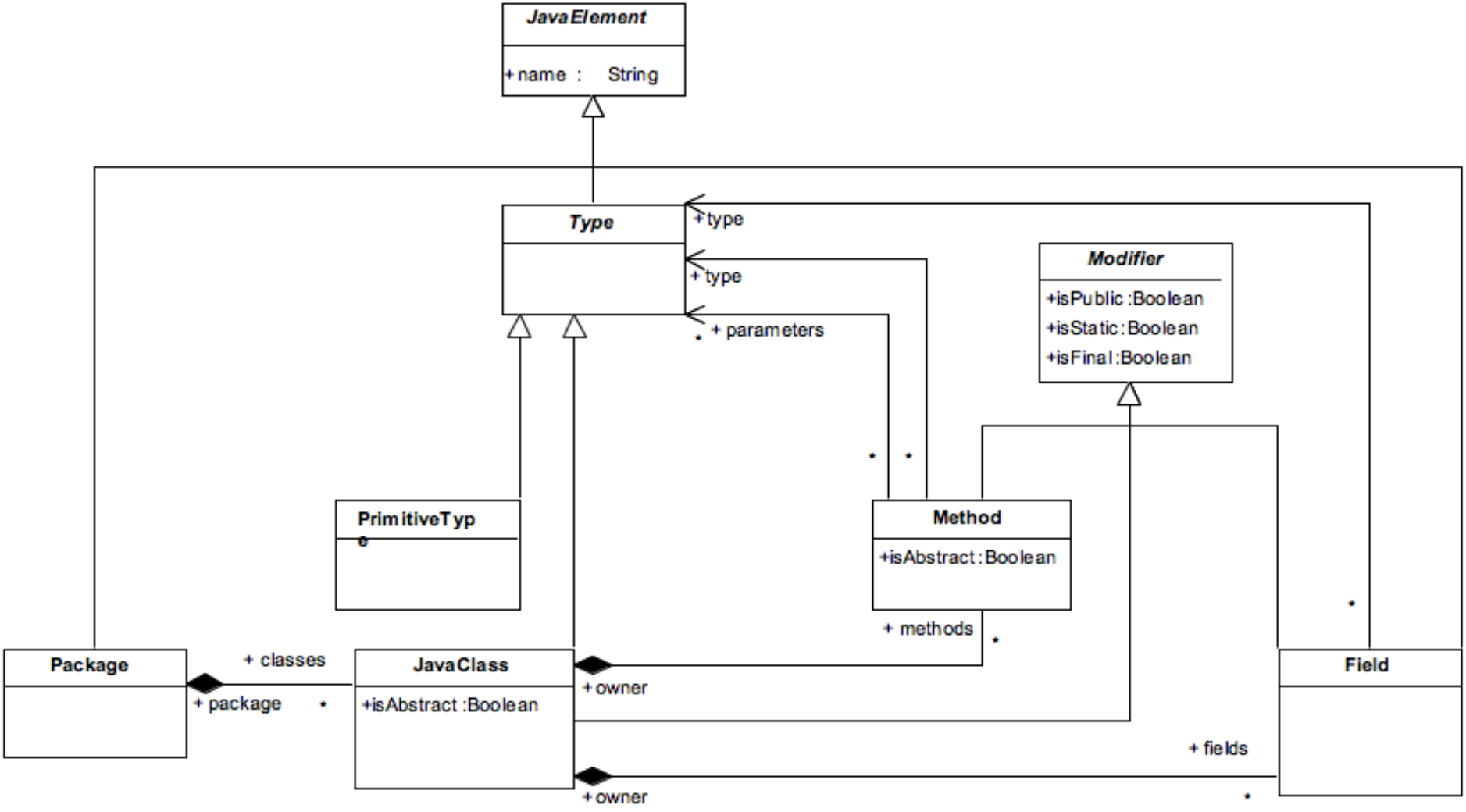
- Chaque paquetage UML donne un paquetage Java :
  - les noms sont les mêmes mais en Java, le nom est complètement qualifié.
- Chaque classe UML donne une classe Java :
  - de même nom ;
  - dans le paquetage correspondant ;
  - avec les mêmes *modifiers*.
- Chaque DataType UML donne un type primitif correspondant en Java
  - de même nom ;
  - dans le paquetage correspondant ;
- Chaque attribut UML donne un attribut Java respectant le nom, le type, la classe d'appartenance et les *modifiers*.
- Idem pour les opérations.

Voir `http://www.eclipse.org/atl/atlTransformations/#UML2Java`.

Méta-modèle UML (diagramme de classe simplifié)



Méta-modèle Java (simplifié)



Exemple de transformation d'un modèle vers du texte

- Exemple 1 : Transformer le modèle Java vers du code Java.
- Exemple 2 : Contrôler la cohérence du modèle UML en écrivant une transformation qui affiche un diagnostic :
  - Tous les éléments d'un Namespace doivent avoir des noms différents.
  - Un Namespace ne peut contenir que des Classifier et des Namespace.

Remarque : Dans ce dernier cas, il serait possible d'aller vers un modèle d'erreur plutôt que simplement vers du texte !

Génération vers un modèle d'erreur puis affichage du modèle d'erreur.

Entête d'une transformation modèle à modèle

```
module UML2JAVA;
create OUT : JAVA from IN : UML;
```

- La convention veut qu'une transformation d'un modèle à un autre, soit nommée d'après les méta-modèles avec un 2 (to) ajouté entre les deux !
- OUT et IN sont les noms données aux modèles. Ils ne sont pas utilisés par la suite (sauf dans le cas d'une utilisation avec MDR) !
- Les modèles sources et cibles sont typés, ici UML et JAVA.
  Ils doivent donc être conformes au méta-modèle définissant leur type.

Helpers : méthodes auxiliaires

```
helper context UML!ModelElement def: isPublic(): Boolean =
        self.visibility  = #vk_public;

helper context UML!Feature def: isStatic(): Boolean =
        self.ownerScope = #sk_static;

helper context UML!Attribute def: isFinal(): Boolean =
        self.changeability = #ck_frozen;


helper context UML!Namespace def: getExtendedName(): String =
        if  self.namespace.oclIsUndefined() then
                ''
        else if  self.namespace.oclIsKindOf(UML!Model) then
                ''
        else
                self.namespace.getExtendedName() + '.'
        endif endif +  self.name;
```

Helpers : définition

- Un helper est l'équivalent d'une méthode auxiliaire ;
- Il est défini sur un contexte et pourra être appliqué sur toute expression ayant pour type ce contexte (comme une méthode dans une classe en Java)
- Le contexte peut être celui du module :

  helper def : carre(x: Real): Real = x ∗ x;

- Un helper peut prendre des paramètres et possède un type de retour
- Le code d'un helper est une expression OCL.
- **Remarque :** Il existe des helpers sans paramètre (et donc sans les parenthèses), appelés *attribut helper*.

Matched rule : règle déclenchée sur un élément du modèle

```
rule P2P {
        from e: UML!Package (e.oclIsTypeOf(UML!Package))
        to out: JAVA!Package (
                name <− e.getExtendedName()
        )
}
```

Une règle est caractérisée par deux éléments obligatoires :

- un motif sur le modèle source (**from**) avec une éventuelle contrainte ;
- un ou plusieurs motifs sur le modèle cible (**to**) qui explique comment les éléments cibles sont initialisés à partir des éléments sources correspondant.

Une règles peut aussi définir :

- une contrainte sur les éléments correspondant au motif source
- une partie impérative
- des variables locales

Matched rule : lien entre éléments cibles et sources

```
rule C2C {
        from e: UML!Class
        to out: JAVA!JavaClass (
                name <— e.name,
                isAbstract <— e.isAbstract,
                isPublic <— e.isPublic(),
                package <— e.namespace
        )
}
```

- Lors de la création d'un élément cible à partir d'une élément source, ATL conserve un lien de traçabilité entre les deux.
- Ce lien est utilisé pour initialiser un élément cible dans la partie **to**.
- le package d'une JavaClass est initialisé avec l'élément du modèle cible construit pour l'élément e.namespace.
  $\Longrightarrow$ Il doit y avoir une *match rule* qui porte sur UML!Package et qui crée un JAVA!Package

Matched rule : avec condition sur l'élément filtré

Supposons que l'on veut traduire différemment un attribut UML suivant qu'il est déclaré public ou non. On peut alors écrire deux règles.

```
rule A2F {
        from e : UML!Attribute ( not e.isPublic() )
        to out : JAVA!Field (
                name <— e.name,
                isStatic <— e.isStatic(),
                isPublic <— e.isPublic(),
                isFinal <— e.isFinal(),
                owner <— e.owner,
                type <— e.type
        )
}
```

Attention : Pour un même élément source, on ne peut avoir deux règles s'applicant à une même instance d'un objet. Les filtres de règles doivent être exclusifs.

Matched rule : avec condition sur l'élément filtré (suite)

```
rule A2F {
  from e : UML!Attribute
           ( e.isPublic() )
  to out : JAVA!Field (
    name <− e.name,
    isStatic <− e.isStatic(),
    isPublic <− e. false,
    isFinal <− e.isFinal(),
    owner <− e.owner,
    type <− e.type
  ),
  accesseur: JAVA!Method (
    name <− 'get'
      + e.name.toCapitalize(),
    isStatic <− e.isStatic(),
    isPublic <− true,
    owner <− e.owner,
    parameters <− Sequence{}
  ),
  modifieur: JAVA!Method(...)
}
```

- Si l'attribut est déclaré public en UML, il est transformé en attribut privé en Java avec un accesseur et un modifieur.

⇒ Cette règle crée donc plusieurs éléments cibles.

Matched rule : partie impérative (**do**)

```
rule C2C {
        from e: UML!Class
        to out: JAVA!JavaClass (
                name <— e.name,
                isAbstract <— e.isAbstract,
                isPublic <— e.isPublic()
        )
        do {
                package <— e.namespace ;
        }
}
```

- la clause **do** est optionnelle ;
- **do** contient des instructions (partie impérative d'une règle) ;
- ces instructions sont exécutées après l'initialisation des éléments cibles.

Matched rule : variables locales (**using**)

```
from
  c: GeometricElement!Circle
using {
  pi: Real = 3.14;
  area: Real = pi ∗ c.radius.square();
}
```

- la clause **using** est optionnelle ;
- elle permet de déclarer des variables locales à la règle ;
- les variables peuvent être utilisées dans les clauses **using**, **to** and **do** ;
- une variable est caractérisée par son nom, son type et doit être initialisée avec une expression OCL.

Called rules

```
rule newPackage(qualifiedName: String) {
    to
        p: JAVA!Package (
            name <− qualifiedName
        )
}
```

- équivalent d'un helper qui peut créer des éléments dans le modèle cible
- doit être appelée depuis une *matched rule* ou une autre *called rule*
- ne peut pas avoir de partie **from**
- peut avoir des paramètres

Utilisation du module

- Pour appeler un **Helper** ou une **Called rule**, il faut utiliser :

thisModule.<nom de l'élément à appeler>[(<parametres eventuels>)]

Operation particulière : **resolveTemp**

- Récupérer un élément crée dans une rêgle de transformation différente
- Deux arguments
  - Un objet : cibler une rêgle de transformation
  - Une chaine de caractère : spécifier l'élément de la rêgle ciblée à retourner

```
rule A2B {
  from a : MMA!TypeA
  to
    b : MMB!TypeB (
      [...]
    ),
    obj: MMB!TypeObj (
      [...]
    )
}
```

```
rule C2D {
  from c : MMA!TypeC
  to
    d : MMB!TypeD (
      attr1 <- thisModule.resolveTemp(
                  c.attributeA, "obj")
    )
}
```

Exécution d'un module ATL

L'exécution d'un module se fait en trois étapes :

1. initialisation du module
   - initialisation des attributs définis dans le contexte du module ;
2. mise en correspondance des éléments sources des *matched rules* :
   - quand une règle correspond à un élément du modèle source, les éléments cibles correspondants sont créés (mais pas encore initialisés)
3. initialisation des éléments du modèle cible.
   Le code impératif des règles (**do**) est exécuté après l'initialisation de la règle correspondante. Il peut appeler des *called rules*.

Requête (Query)

```
query JAVA2String_query = JAVA!JavaClass.allInstances()->
    select(e | e.oclIsTypeOf(JAVA!JavaClass))->
        collect(x | x.toString().writeTo('/tmp/'
                + x.package.name.replaceAll('.', '/')
                + '/' + x.name + '.java'));
...
```

- une requête (**query**) est une tranformation d'un modèle vers un type primitif
- Exemple classique : construire une chaîne de caractères.
- Une requête a :
  - un nom ;
  - un type ;
  - une expression ATL qui calcule la valeur de la requête.
- Comme un module, une requête peut définir des helpers et des attributs.

Bibliothèques (libraries)

```
library JAVA2String;
-- definition of helpers
...
```

- Une bibliothèque permet de définir des helpers qui pourront être (ré)utilisés dans dans des modules, requêtes ou autres bibliothèques (clause uses).
- Tout helper doit être attaché à un contexte car pas de contexte par défaut.
- Une bibliothèque peut utiliser une autre bibliothèque (clause uses)

```
query JAVA2String_query = JAVA!JavaClass.allInstances()->
    select(e | e.oclIsTypeOf(JAVA!JavaClass))->
        collect(x | x.toString().writeTo('/tmp/'
                + x.package.name.replaceAll('.', '/')
                + '/' + x.name + '.java'));

uses JAVA2String;
```

Types primitifs

- OclAny décrit le type le plus général
- Ses opérations sont :
  - comparaisons : = (égalité) <> (différence)
  - oclIsUndefined() : *self* est-il défini ?
  - oclIsKindOf(t: oclType) : *self* est-il une instance de t ou d'un de ses sous-type (équivalent instanceof de Java) ?
  - oclIsTypeOf(t: oclType) : *selft* est-il une instance de t ?
  - **Remarque : oclIsNew()** et **oclAsType()** ne sont pas définies en ATL
  - Autres opérations :
    - toString
    - oclType() : Le type de *self*
    - output(s : String) : affiche s sur la console Eclipse
    - debug(s : String) : affiche s + ' : ' + self.toString() dans la console

Types primitifs

- Boolean : **true** et **false**
  - opérateurs : and, or, **not**, xor, implies(b : Boolean) ($\equiv$ self $\Rightarrow$ b)
- Number : Integer (0, 10, -412) ou Real (3.14)
  - binaire : $*$ + $-$ / div(), max() , min()
  - unaire : abs()
  - Integer : mod() ;
  - Real : floor(), round()
  - cos(), sin(), tan(), acos(), asin(), toDegrees(), toRadians(), exp(), log(), sqrt()
- String : 'bonjour', 'aujourd\'hui'
  - les caractères sont numérotés de 1 à size()
  - opérations : size(), concat(s : String) (ou +), substring(lower : Integer, upper : Integer), toInteger(), toReal()
  - toUpper(), toLower(), toSequence() (of char), trim(), startsWith(s : String), indexOf(s : String), lastIndexOf(s : String), split(regexp : String), replaceAll(c1 : String, c2 : String), regexReplaceAll(c1 : String, c2 : String)
  - writeTo(fileName : String)
  - println() : écrire la chaîne dans la console d'Eclipse

Collections

- Quatre types de collection :
  - Set : sans ordre, ni double
  - OrderedSet : avec ordre, sans double
  - Bag : sans ordre, doubles possibles
  - **Sequence** : avec ordre, doubles possibles
- Les collections sont génériques :
  - **Sequence**(Integer) : déclarer une séquence d'entiers
  - **Sequence**{1, 2, 3} : Sequence d'entiers contenant {1, 2, 3}
  - Set(**Sequence**(String)) : un ensemble de séquences de String
- Opérations sur les collections :
  - size()
  - includes(o : oclAny), excludes(o : oclAny)
  - count(o : oclAny)
  - includesAll(c : Collections), excludesAll(c : Collections)
  - isEmpty(), nonEmpty()
  - sum() : pour les types qui définissent l'opérateur +
  - asSequence(), asSet(), asBag() : obtenir une collection du type précisé
- pour les opérations spécifiques d'un type de collection, voir ATL User Guide

Collections

Itérer sur les collections

source—>operation_name(iterators | body)

- source : collection itérées ;
- iterators : variables qui prennent leur valeur dans source
- body : l'expression fournie à l'opération d'itération
- operation_name : l'opération d'itération utilisée

exists	body vraie pour au moins un élément de source
forAll	body vraie pour tous les éléments de source
isUnique	body a une valeur différente pour chaque élément de source
any	un élément de source qui satisfait body (OclUndefined sinon)
one	un seul élément de source satisfait body
collect	collection des éléments résultant de l'application de body sur chaque élément de source
select	collection des éléments de source satisfaisant body
reject	collection des éléments de source NE satisfaisant PAS body
sortedBy	collection d'origine ordonnée suivant la valeur de body. Les éléments doivent posséder l'opérateur <.

Autres types

- Le type **énumération** doit être défini dans les méta-modèles.
  La notation ATL pour accéder à une valeur du type est #female au lieu de la forme OCL qui est Gender::female
- **Tuple**
  - Un tuple définit un produit cartésien (un enregistrement) sous la forme de plusieurs couples (nom, type).
  - Déclaration d'un Tuple

    Tuple{a: MMAuthor!Author, title: String, editor: String}

  - Instanciation d'un tuple (les deux sont équivalentes) :

    Tuple{editor: String = 'ATL Manual', a: MMAuthor!Author = anAutohor,
    editor: String = 'ATL Eds.'}
    Tuple{a = anAutohor, editor = 'ATL Manual', editor = 'ATL Eds.'}

Autres types

Map

- **Map**(type_clé, type_élément) : définit un tableau associative muni des opérations :
  - *get(clé : oclAny)* : la valeur associées à la clé (sinon OclUndefined)
  - *including(clé : oclAny, val : oclAny)* : copie de *self* avec le couple (clé, cal) ajouté
  - *union(m : Map)* : l'union de *self* et m
  - *getKeys()* : l'ensemble des clés de *self*
  - *getValues()* : le sac (bag) des valeurs de *self*
- Ne fait pas partie de la spécification d'OCL

Types issus des méta-modèles cibles et sources

- Tout type défini dans le méta-modèle source ou cible est aussi un type
- **Notation :** metamodel !class
  Exemples : JAVA !Class, UML !Package...
- Un tel type a des caractéristiques (attributs ou références) accessibles avec la notation pointée : self.name, self.package, etc.
- oclIsUndefined() : permet pour une caractéristique de multiplicité [0..1] de savoir si elle n'est pas définie.
  Ne marche pas pour multiplicité $>$ 1 car représentée par une collection.
- allInstances() : obtenir toutes les instances de la méta-classe self

Expressions d'ATL déclaratif (issues d'OCL)

- Expression **if**
  - expression **else** obligatoire
  - mot clé **endif** obligatoire

```
if condition then
    exp1 ;
else
    exp2 ;
endif
```

- Expression **let**

```
let var : Type = init in exp
```

```
let x: Real =
    if aNumber > 0 then
        aNumber.sqrt()
    else
        aNumber.square()
    endif
in let y: Real = 2 in X/y ;
```

Code impératif d'ATL

- **Affectation**

  target <— expr;

- instruction **if**

  if (condition) {
  instructions
  }

  if (condition) {
  instructions$_1$;
  } **else** {
  instructions$_2$;
  }

- instruction **for**

  for (iterator **in** collection) {
  instructions ;
  }

Conclusion : Vers les langages dédiés (DSL)

- DSL : (Domain Specific Language) Langage dédié à un domaine métier
- Définir le méta-modèle qui capture les concepts du métier.
  - Utilisation de langage de méta-modélisation : Ecore, EMOF, etc.
- Exprimer les propriétés non capturées par le méta-modèle.
  - Utilisation d'OCL ou autre (transfo vers modèle d'erreur, Kermeta, ...)
- Définir une syntaxe concrète textuelle et/ou graphique.
- Ajouter des outils autour de ce DSL :
  - outils de simulation : animer le modèle pour le valider, mesurer ses performances, etc.
  - outils de vérification : vérifier des propriétés sur le modèle métier
  - outils de génération (vers code ou autres modèles)
- Une solution consiste à réutiliser des outils existants
  - transformer le modèle métier en un modèle exploitable par l'outil cible