1ère année Master GLSD

Département d'Informatique

Université de Biskra

Année 2020/2021

Ingénierie des Modèles
Méta-modélisation

Dr. Mohamed Lamine Kerdoudi

Email: l.kerdoudi@univ-biskra.dz

Principales normes de OMG

- **MOF** : Meta-Object Facilities
  - Langage de définition de méta-modèles
- **UML** : Unified Modelling Language
  - Langage de modélisation
- **CWM** : Common Warehouse Metamodel
  - Modélisation ressources, données, gestion d'une Entreprise
- **OCL** : Object Constraint Language
  - Langage de contraintes sur modèles
- **XMI** : XML Metadata Interchange
  - Standard pour échanges de modèles et méta-modèles entre outils

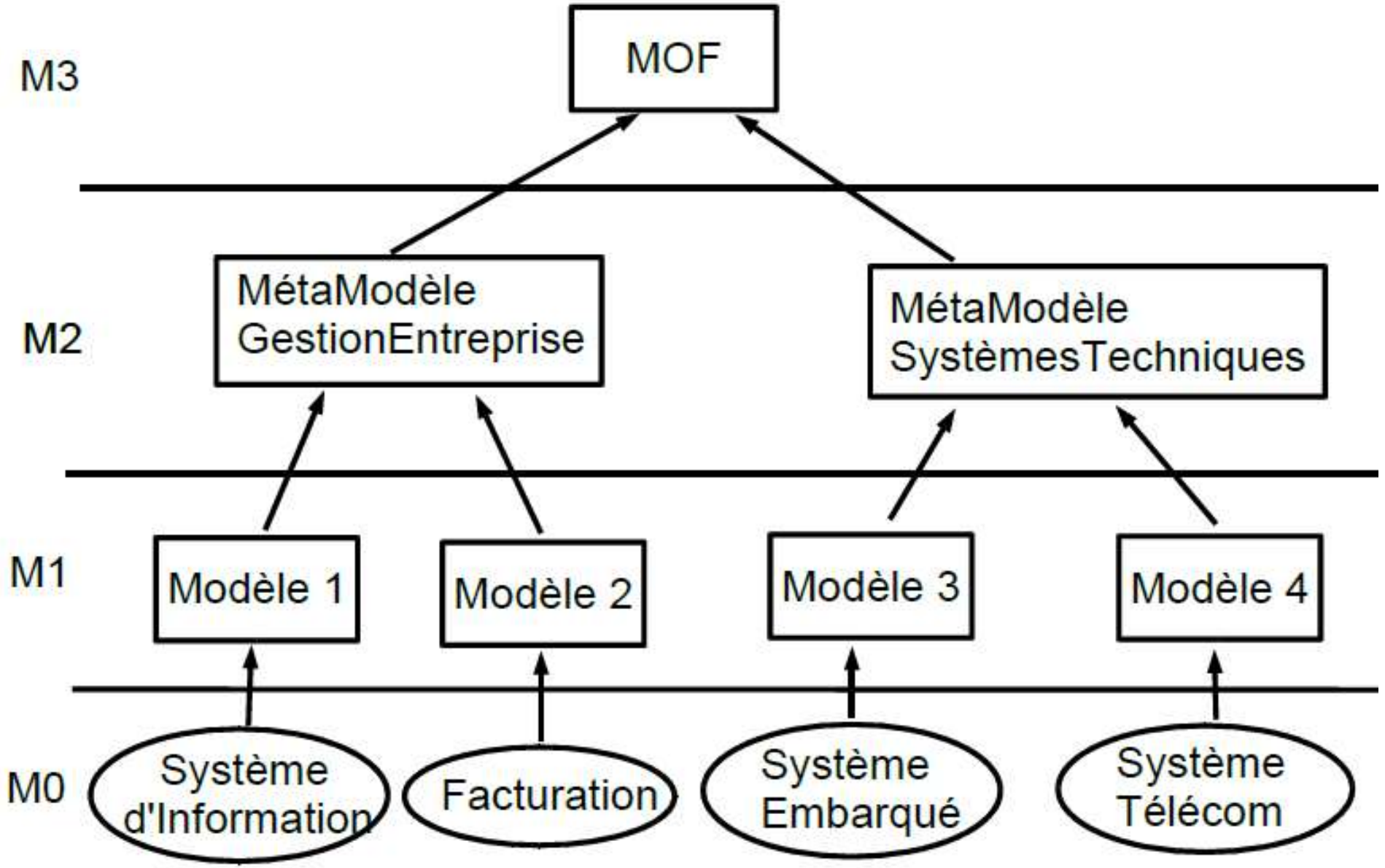
Normes OMG de modélisation

- Plusieurs de ces normes concernent la définition et l'utilisation de méta-modèles
  - **MOF** : but de la norme
  - **UML** et **CWM** : peuvent être utilisés pour en définir
  - **XMI** : pour échange de (méta-)modèles entre outils
- **MOF**
  - C'est un **méta-méta-modèle**
    - Utilisé pour définir des méta-modèles
  - Définit les concepts de base d'un méta-modèle
    - Entité/classe, relation/association, type de données, référence, package ...
  - Le MOF peut définir le MOF

Hiérarchie de modélisation à 4 niveaux

- L'OMG définit 4 niveaux de modélisation
  - M0 : système réel, système modélisé
  - M1 : modèle du système réel défini dans un certain langage
  - M2 : méta-modèle définissant ce langage
  - M3 : méta-méta-modèle définissant le méta-modèle
    - Le niveau M3 est le **MOF**
    - Dernier niveau, il est méta-circulaire : il peut se définir lui même
- Le MOF est – pour l'OMG – le méta-méta-modèle unique servant de base à la définition de tous les méta-modèles

Hiérarchie de modélisation à 4 niveaux



Hiérarchie de modélisation à 4 niveaux

- Hiérarchie à **4 niveaux** existe en dehors du MOF et d'UML, dans d'autres espaces technologiques que celui de l'OMG

- Exemple: Langage de programmation
  - M0 : l'exécution d'un programme
  - M1 : le programme
  - M2 : la grammaire du langage dans lequel est écrit le programme
  - M3 : le concept de grammaire EBNF:

    Extended Backus-Naur Form (BNF: est une notation permettant de décrire les règles syntaxiques des langages de programmation.)

Méta-modélisation UML

- Avec UML, on retrouve également les **4 niveaux**
- **Mais,** le **niveau M3** est définit en UML directement à la place du MOF
- Exemple de **système réel** à modéliser (**niveau M0**)

Spécification

- Une pièce possède 4 murs, 2 fenêtres et une porte
- Un mur possède une porte ou une fenêtre mais pas les 2 à la fois
- Deux **actions** sont associées à une porte ou une fenêtre : **ouvrir** et **fermer**
- Si on ouvre une porte ou une fenêtre fermée, elle devient ouverte
- Si on ferme une porte ou une fenêtre ouverte, elle devient fermée

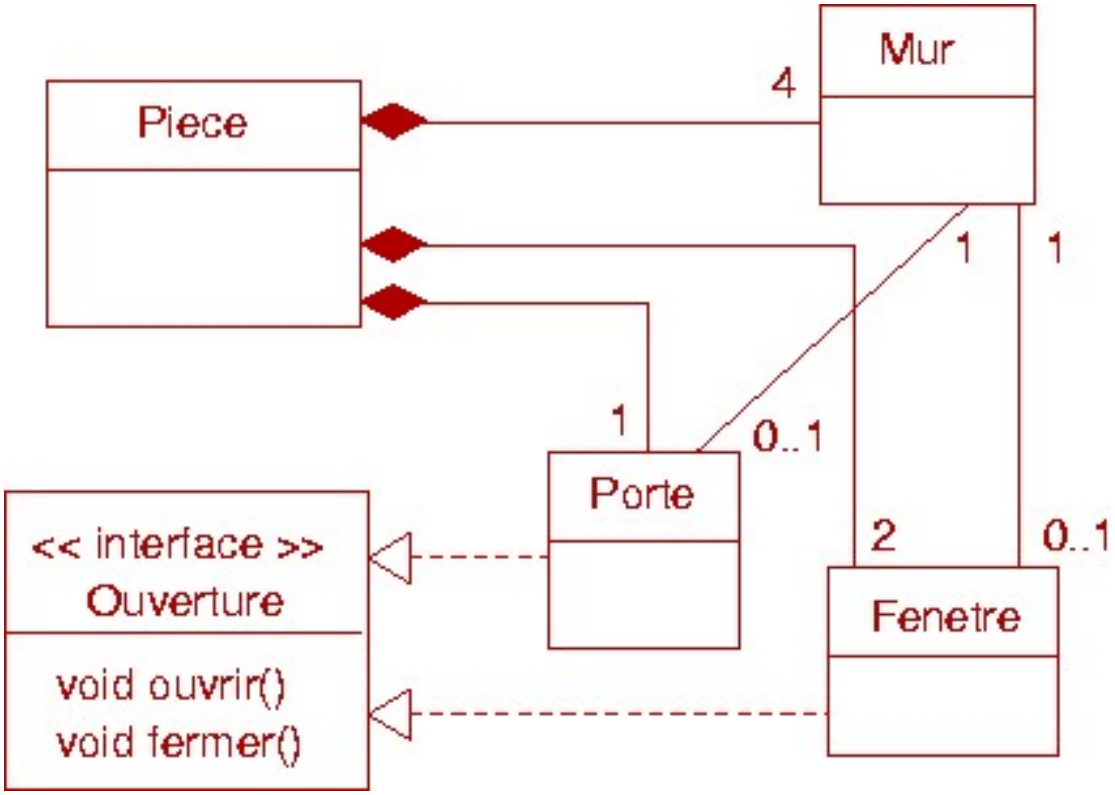
Méta-modélisation UML

- Pour modéliser ce système, on a besoin de définir 2 diagrammes UML :

Niveau M1

- Un **diagramme de classe** pour représenter les relations entre les éléments (portes, murs, pièce)
- Un **diagramme d'état** pour spécifier le comportement d'une porte ou d'une fenêtre (ouverte, fermée)
- On peut **abstraire** le comportement des portes et des fenêtres en spécifiant les opérations d'ouverture/fermeture dans **une Interface**
  - Le diagramme d'état est associé à cette interface
- Il faut également ajouter des contraintes OCL pour préciser les contraintes entre les éléments d'une pièce

Méta-modélisation UML



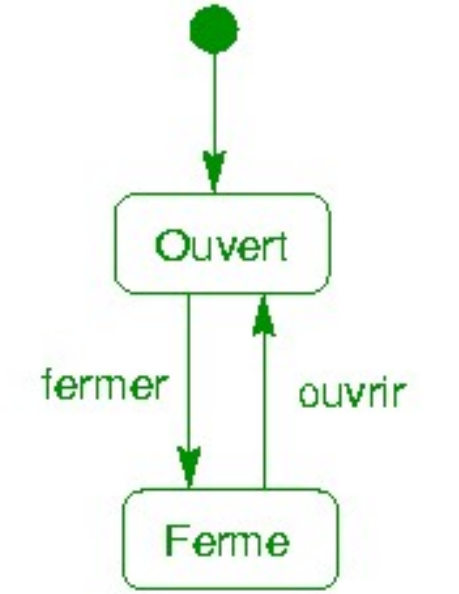


diagramme d'etat associe a l'interface Ouverture

context Piece **inv:**

mur.fenetre -> size() = 2 -- 2 murs de la pièce ont une fenêtre
mur.porte -> size() = 1 -- 1 mur de la pièce a une porte

context Mur **inv:**

fenetre -> union(porte) -> size() <= 1

-- un mur a soit une fenêtre soit une porte (soit rien)

Méta-modélisation UML

- Les 2 diagrammes de ce modèle de **niveau M1** sont des diagrammes UML valides

- Les contraintes sur les **éléments des diagrammes** UML et **leurs relations** sont définies dans le méta-modèle UML : **niveau M2**

  - Un diagramme UML (de classes, d'états ...) doit être conforme au **méta-modèle UML**

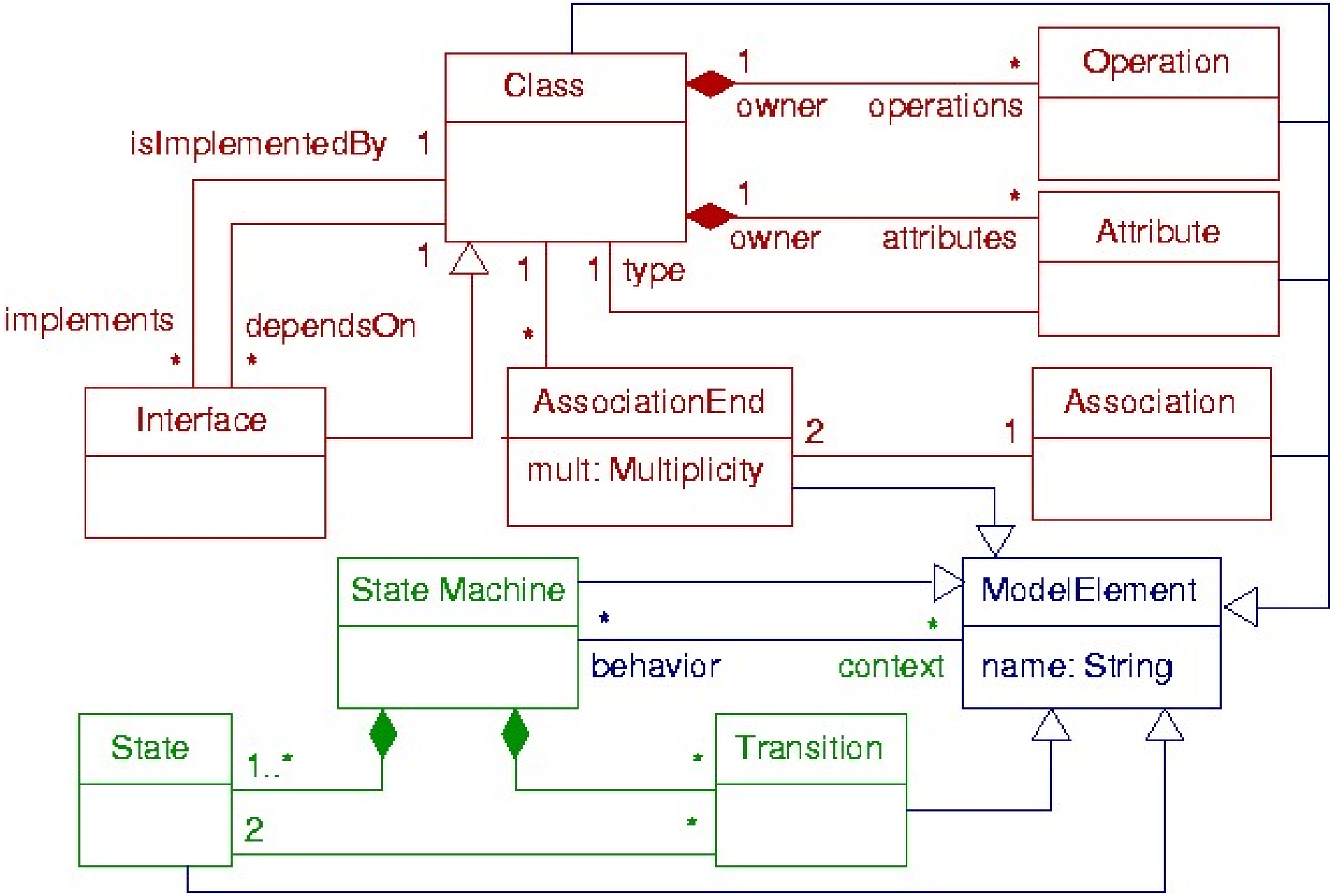
- **Méta-modèle UML**

  - Est un diagramme de classe spécifiant la structure de tous types de diagrammes UML

    - Diagramme de classe car c'est le diagramme UML permettant de définir **des éléments/concepts** (via des classes) et **leurs relations** (via des associations)

  - Avec des **contraintes OCL** pour une spécification précise

M2 : Méta-modèle UML (très simplifié)



M2 : Méta-modèle UML (très simplifié)

- Contraintes OCL, quelques exemples

context Interface **inv**: attributes -> isEmpty()

-- Une interface est une classe sans attribut

context Class **inv**: attributes -> forAll (a1, a2 |

a1 <> a2 implies a1.name <> a2.name)

-- 2 attributs d'une même classe n'ont pas le même nom

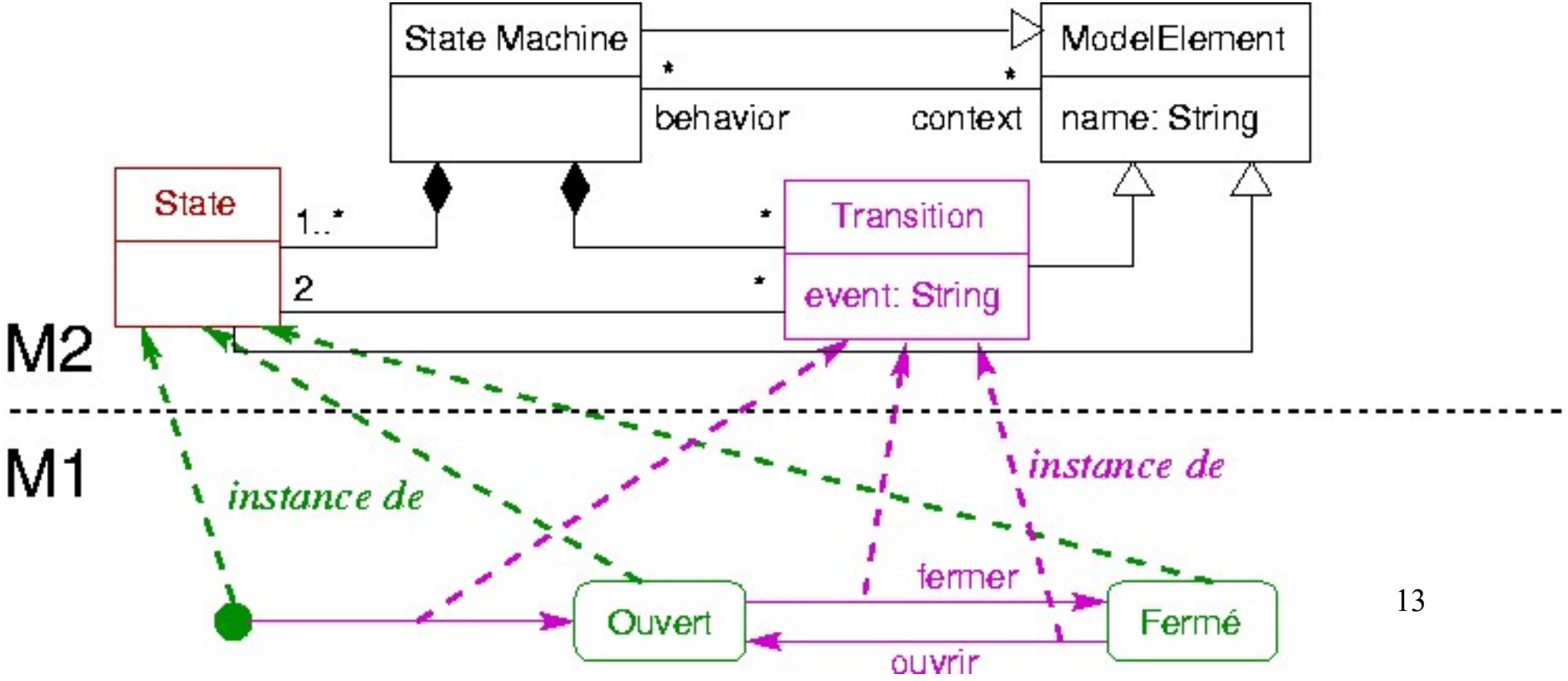
context StateMachine **inv**: transition -> forAll (t |

self.state -> includesAll(t.state))

-- Une transition d'un diagramme d'état connecte 2 états de ce diagramme d'état

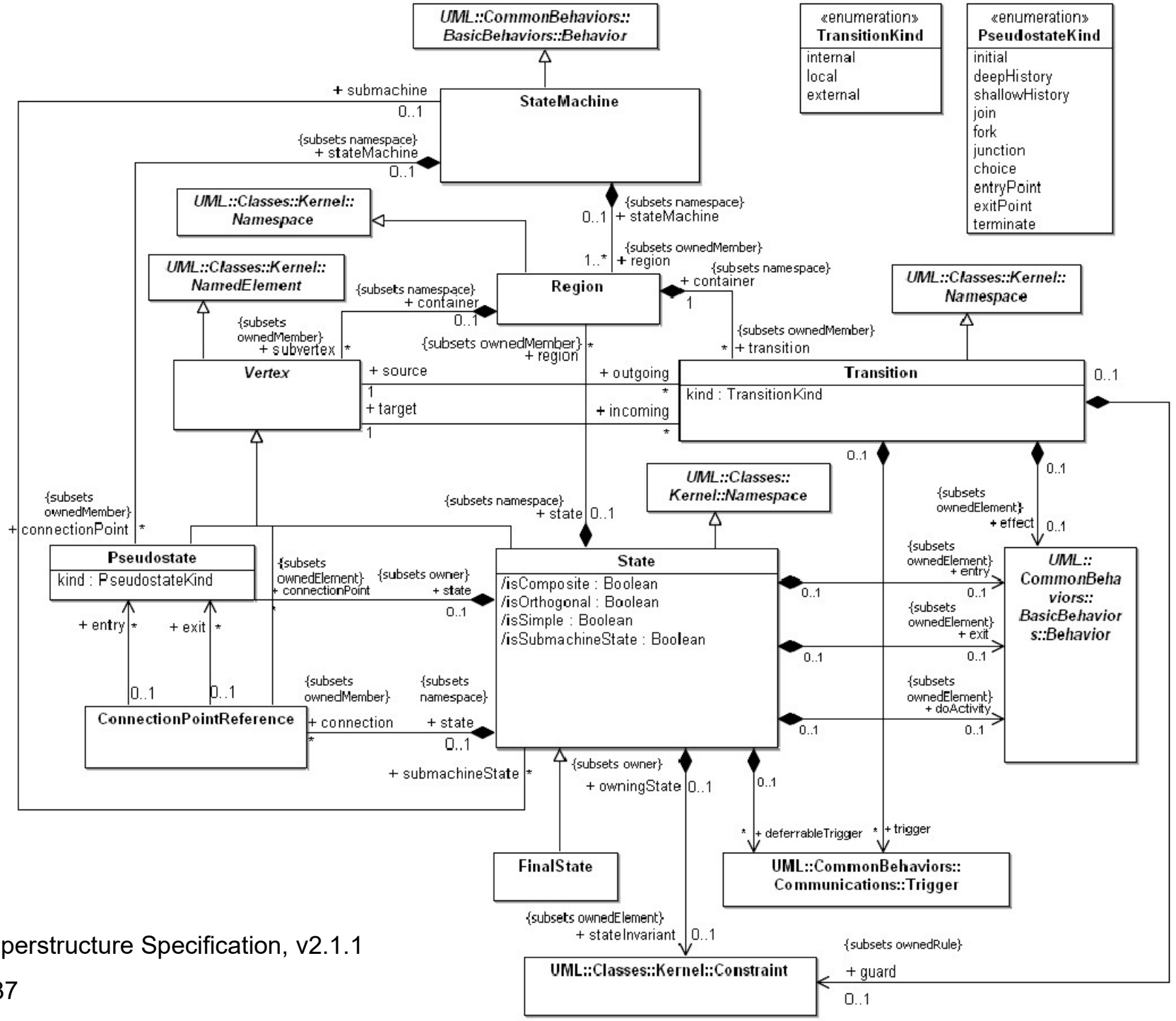
Liens éléments modèle/méta-modèle

- Chaque élément du modèle
  - ➢ *Est une « instance » d'un élément du méta-modèle (d'un méta-élément)*
  - ➢ *En respectant les contraintes définies dans le méta-modèle*
- **Exemple** avec diagramme état



Extrait méta-modèle UML 2.0

- Partie spécifiant les machines à états



Extrait méta-modèle UML 2.0

- Exemples de contraintes OCL pour la spécification des machines à états
  - Invariant pour de la classe **StateMachine**
    - Les points de connexion d'une machine d'état sont des pseudo de type point d'entrée ou point de sortie.

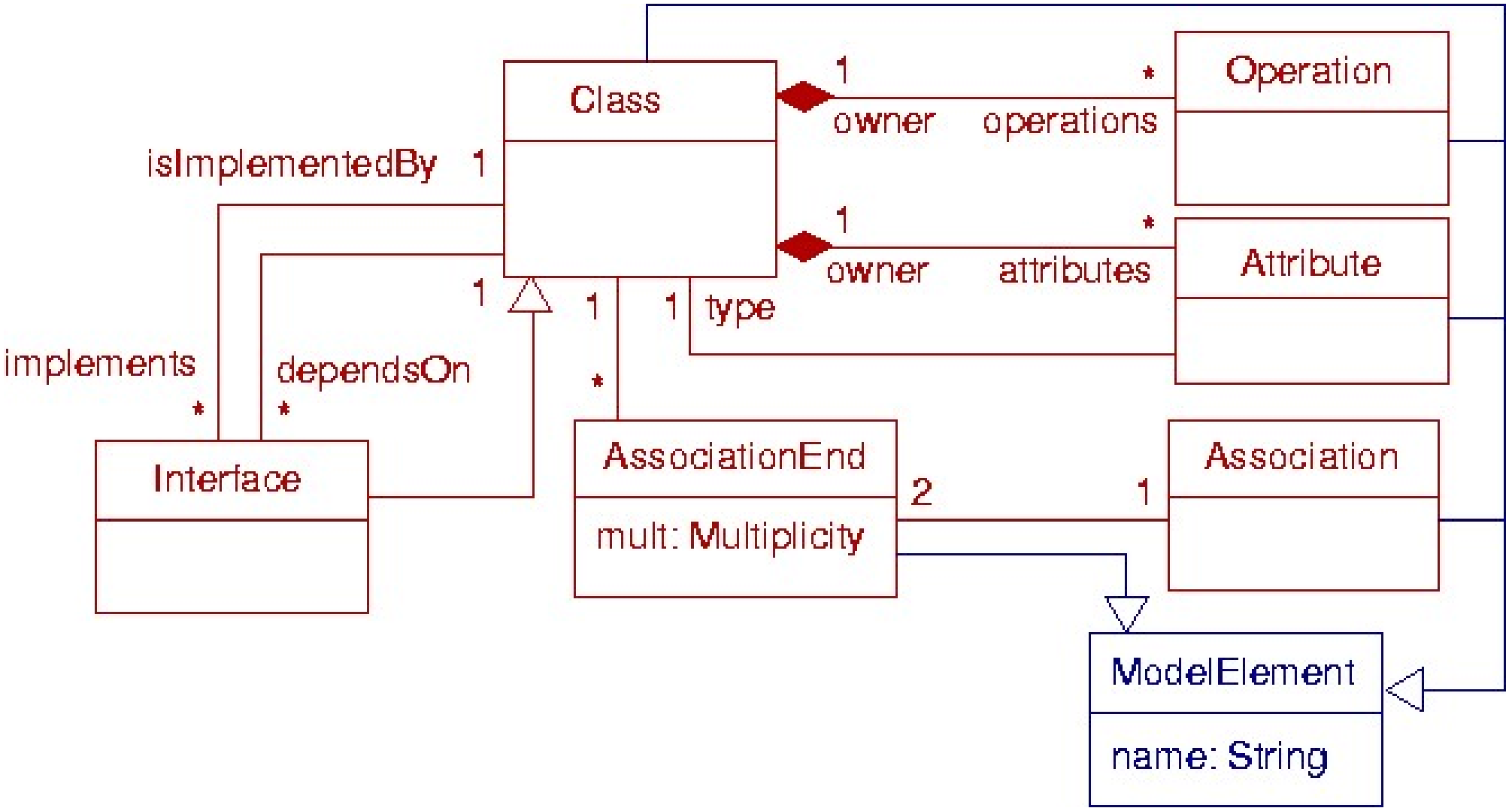
```
connectionPoint->forAll (c |
c.kind = #entryPoint or c.kind = #exitPoint)
```

Méta-modélisation UML

- Le **méta-modèle** UML doit aussi être précisément défini
  - Il doit être conforme à un **méta-modèle**
  - C'est le **méta-méta-modèle** UML

    ➔ **Niveau M3**
- **Qu'est ce que le méta-modèle UML ?**
  - Un diagramme de classe UML (avec contraintes OCL)
- **Comment spécifier les contraintes d'un diagramme de classe UML ?**
  - Via le méta-modèle UML
  - **Ou plus précisément** : via la partie du méta-modèle UML spécifiant les diagrammes de classes
- **Méta-méta-modèle UML** = copie partielle du « **méta-modèle de UML »**

M3 : Méta-méta-modèle UML (simplifié)



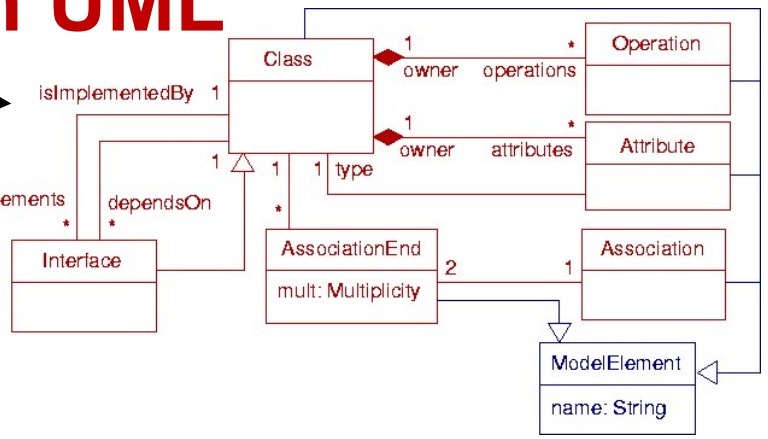
Méta-modélisation UML

- **Méta-méta-modèle** UML doit aussi être clairement défini
  - Il doit être conforme à un **méta-modèle**
- Le méta-méta-modèle UML peut donc se définir lui-même
  - Méta-circulaire
  - Pas besoin de niveau méta supplémentaire

Méta-modélisation UML

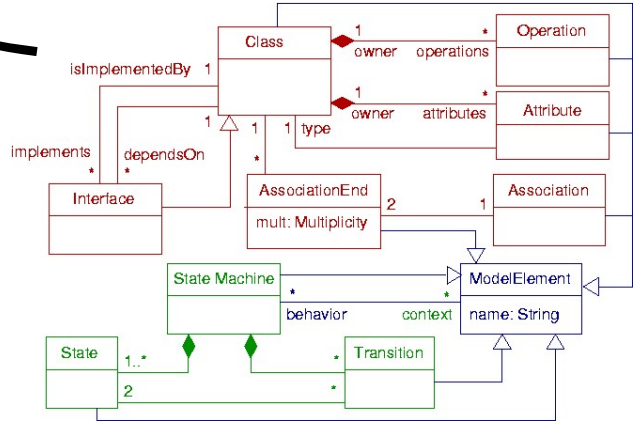
Niveau M3

conforme à



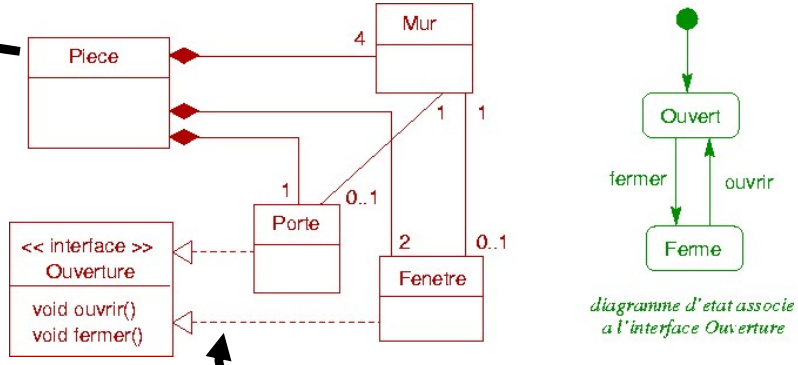
Niveau M2

conforme à



Niveau M1

conforme à

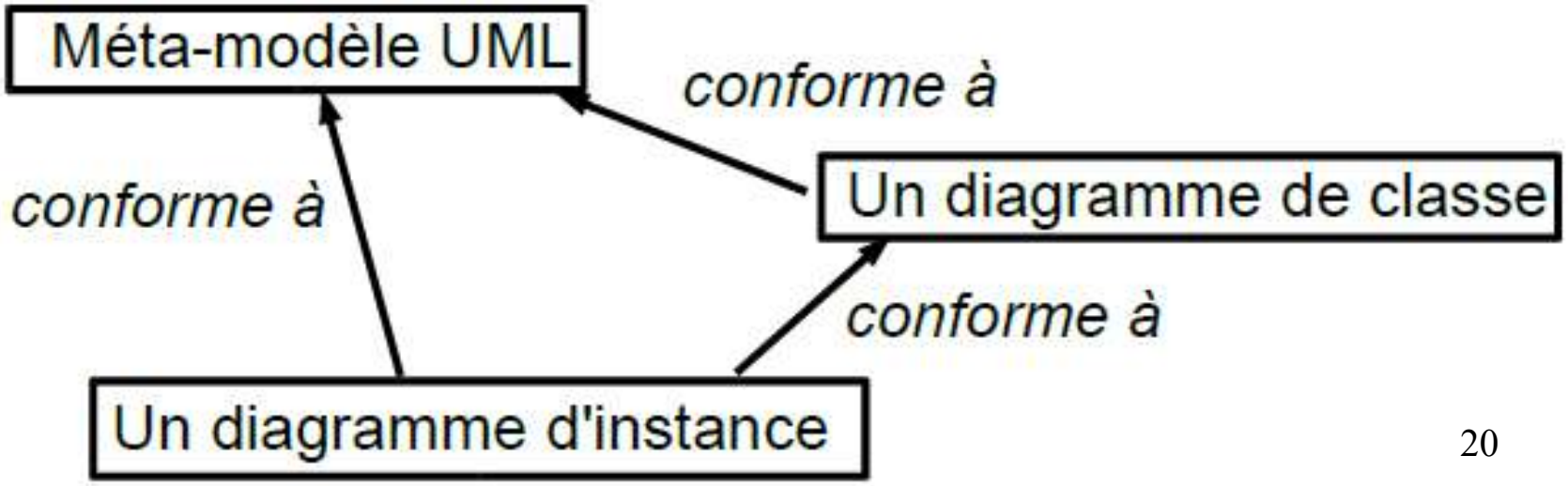


Niveau M0

conforme à

Diagrammes d'instance UML

- Un **diagramme d'instance** **est particulier** car
  - Doit être conforme au méta-modèle UML
    - ➢ Qui définit la structure générale des diagrammes d'instances
  - Doit aussi être conforme à un diagramme de classe
    - ➢ Ce diagramme de classe est un méta-modèle pour le diagramme d'instance
    - ➢ Diagramme de classe est conforme également au méta-modèle UML



Hiérarchie de modélisation

- **Architecture à 4 niveaux**
  - Conceptuellement **pertinente**
- **En pratique**
  - ***Certains niveaux sont difficiles*** à placer les uns par rapport aux autres
  - ***Cas du diagramme d'instance***
    - Diagramme d'instance de l'application : **niveau M1**
    - Méta-modèle UML : **niveau M2**
    - Diagramme de classe de l'application : **niveau M1 ou M2 ?**
    - **M1** normalement car, il modélise l'application et il est conforme au méta-modèle de niveau **M2**
    - Mais devrait être **M2** rapport au diagramme d'instance qui est de niveau **M1**
  - ***Conclusion***
    - Pas toujours facile ni forcément pertinent de chercher à placer absolument les modèles à tel ou tel niveau
    - **L'important** est de **savoir quel rôle (modèle / méta-modèle)** joue un modèle dans une **relation de conformité**

Syntaxe

- Un langage est défini par un **méta-modèle**
- Un langage possède une **syntaxe**
  - Définit comment représenter chaque type **d'élément** d'un modèle
  - Elément **d'un modèle** = instance d'un **méta-élément**
- **Syntaxe textuelle**
  - Ensemble de mots-clé et de mots respectant des contraintes défini selon des règles précises

    ➔ Notions de syntaxe et de grammaire dans les langages
- **Exemple** : pour le **langage Java** :

  public class MaClasse **implements** MonInterface { ... }

  ➔ Grammaire Java pour la déclaration d'une classe :

  class_declaration ::= { modifier } "**class**" identifier
  ["**extends**" class_name] ["**implements**" interface_name
  { "," interface_name }] "{" { field_declaration } "}"

Syntaxe

- **Syntaxe graphique**
  - Notation graphique, chaque type d'élément a une forme graphique particulière
  - **Exemple** : relations entre classes/interfaces dans les diagrammes de classe UML
    - Trait normal : **association**

    - Flèche, trait pointillé : **dépendance**

    - Flèche en forme de triangle, trait en pointillé : **implémentation**

    - Flèche en forme de triangle, trait plein : **spécialisation**

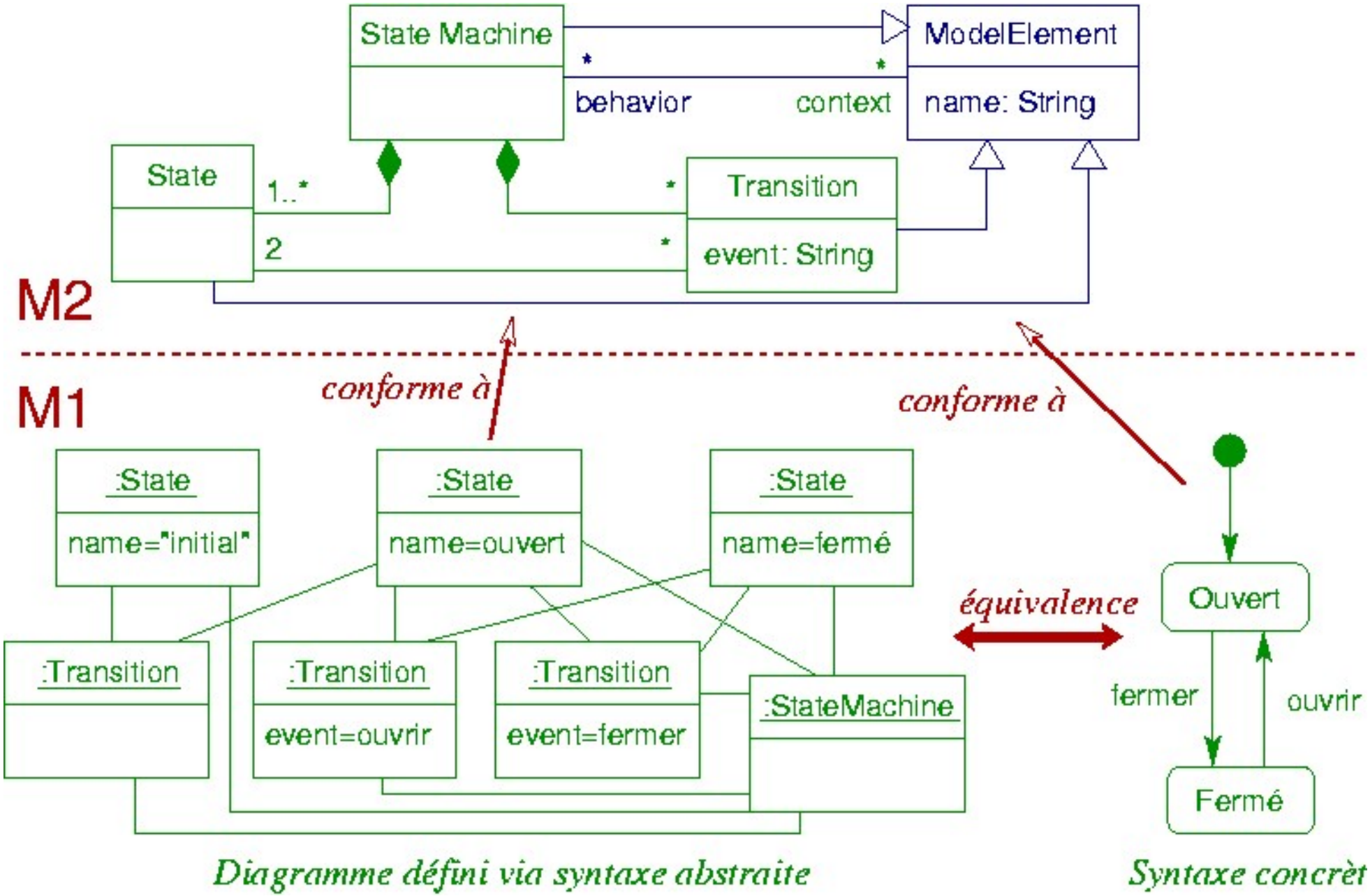
Syntaxe

- **Syntaxe abstraite/concrète**
  - **Abstraite**
    - Les éléments et leurs relations **sans** une notation spécialisée
    - Correspond à ce qui est défini au niveau du méta-modèle, à des instances de méta-éléments
  - **Concrète**
    - **Syntaxe graphique** ou **textuelle** définie pour un type de modèle
    - **Plusieurs syntaxes concrètes** possibles pour une même syntaxe abstraite
- Un modèle peut être défini via n'importe quelle syntaxe
  1. L'abstraite
  2. Une des concrètes

Syntaxe

- **Exemple** de la modélisation de la **pièce**
  - **Syntaxe concrète**
    - 2 diagrammes UML (**classes et états**) avec syntaxes graphiques spécifiques à ces types de diagrammes
  - **Via la syntaxe abstraite**
    - Diagramme d'instance (conforme au méta-modèle) précisant les instances particulières de classes, d'associations, d'états...
  - **Pour la partie diagramme d'états**
    - Diagramme défini via syntaxe **concrète** : diagramme d'états de l'exemple
    - Diagramme défini via syntaxe **abstraite** : diagramme d'instances conforme au méta-modèle UML

Syntaxe : Exemple diagramme état



Définition de méta-modèles

- **But** : définir un type de modèle avec tous ses types d'éléments et leurs contraintes de relation

- Plusieurs approches possibles:

  1. **Définir** un méta-modèle nouveau à partir de « rien », sans base de départ (from scratch)

     - On se basera alors sur un **méta-méta-modèle** existant comme **MOF** ou **Ecore**

  2. **Modifier** un méta-modèle existant : **ajout, suppression, modification** d'éléments et des contraintes sur leurs relations

  3. **Spécialiser** un méta-modèle existant en **rajoutant** des éléments et des contraintes (**sans en enlever**)

     - **Correspond aux profils UML**

Profils UML

- Un **profil** est **une spécialisation du méta-modèle UML**
  - **Ajouts de nouveaux types** d'éléments
    - Et des contraintes sur leurs relations entre eux et avec les éléments d'UML
  - **Ajouts de contraintes sur éléments** existants d'UML
  - **Ajouts de contraintes sur relations** existantes entre les éléments d'UML
  - **Aucune suppression** de contraintes ou d'éléments

- **Profil** : mécanisme d'extension d'UML pour l'adapter à un contexte métier ou technique particulier
- Profil pour **composants EJB**
- Profil pour **gestion banquaire**
- Profil pour **architecture logicielle**
- ...

Profils UML : éléments de spécialisation

- **Stéréotype**
  - Extension, spécialisation d'un élément du méta-modèle
    - **Classe, association, attribut, opération ...**
    - Le nom d'un stéréotype est indiqué entre **<< ... >>**
    - Il existe déjà des stéréotypes définis dans UML:

    ➔ **Ex:** **<< interface >>** : une interface est un **classifier** particulier (sans attribut)

- **Tagged value (valeur marquée)**
  - Pour marquer des attributs d'une classe pour préciser une contrainte ou un rôle particulier
  - **Exemple** : {unique} id: int

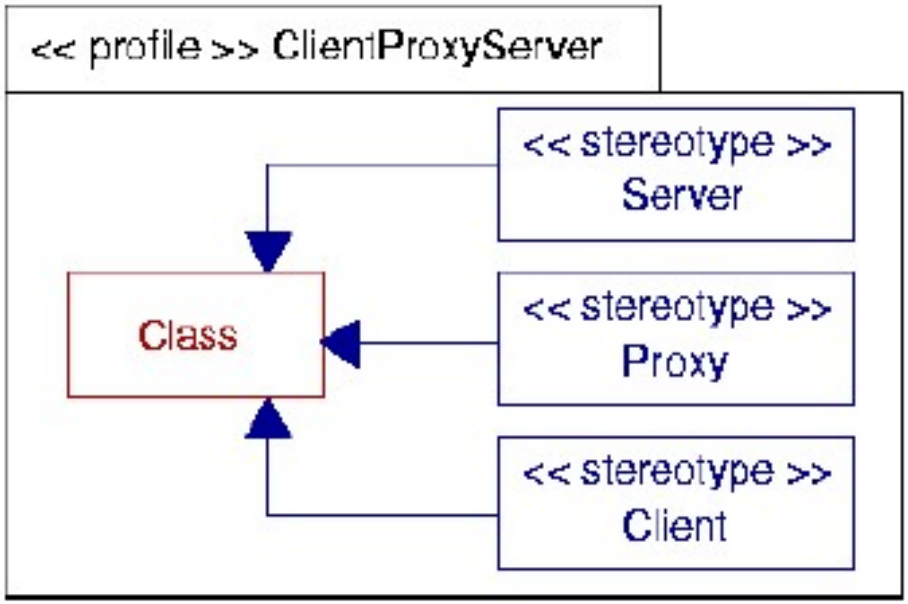
Profils UML : éléments de spécialisation

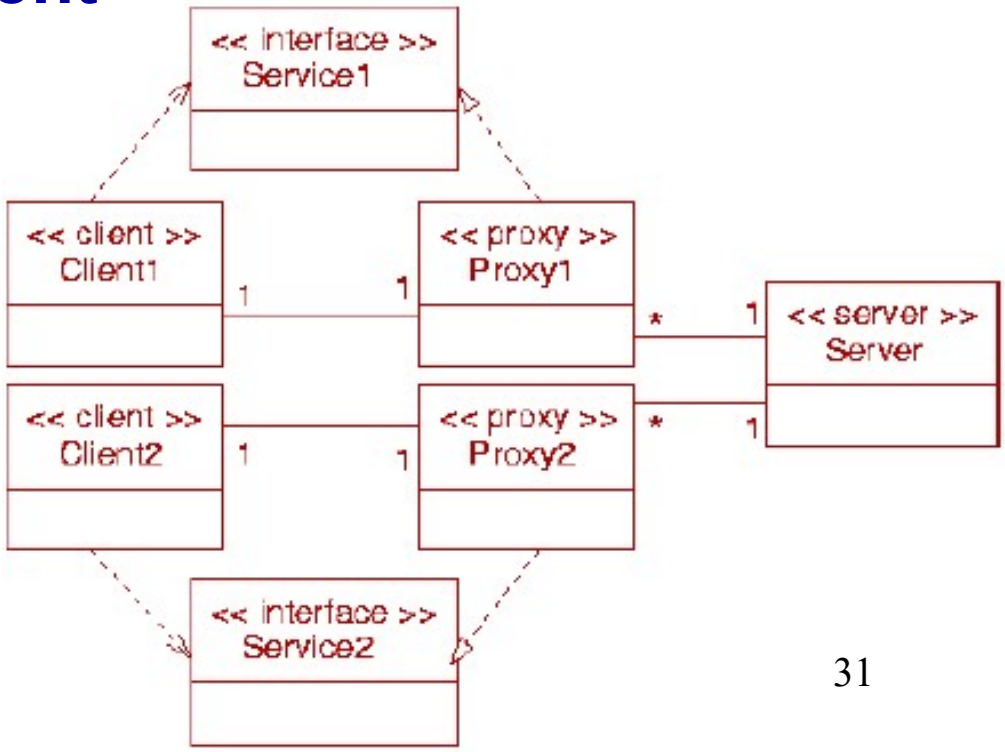
- Un **profil UML** est composé de **3 types** d'éléments:
  - Des **stéréotypes**
  - Des **tagged values**
  - Des **contraintes** (exprimables en OCL):
    - **Sur** ces stéréotypes, tagged values
    - **Sur** des éléments du méta-modèle existant
    - **Sur** les relations entre les éléments
- Un profil UML est défini sous la forme d'un package stéréotypé **<< profile >>**
- **Exemple de profil** : architecture logicielle
  - Des composants **client** et **serveur**
  - Un **client** est **associé** à un **serveur** via une **interface** de service par l'intermédiaire d'un **proxy**

Exemple profil UML

- **Profil défini**:
  - nommé **ClientProxyServer**
  - Définit trois stéréotypes:
    - Trois classes jouant un rôle particulier : **extensions** de la **méta-classe Class** du méta-modèle UML

➢ **Server, Proxy, Client**





Questions ?