

Modélisation du comportement des systèmes 1

Frédéric Boulanger

Novembre 2019

Objectifs de ce cours

Les modèles

- ▶ À quoi sert un modèle ?
- ▶ Qu'est-ce qu'un modèle ?
- ▶ Comment construire un modèle ?
- ▶ Qu'est-ce qu'un métamodèle ?

Objectifs de ce cours

L'ingénierie dirigée par les modèles

- ▶ Pourquoi utiliser des modèles ?
- ▶ Quand utiliser des modèles ?
- ▶ Comment choisir un outil de modélisation ?
- ▶ Comment utiliser au mieux les modèles ?

Objectifs de ce cours

Syntaxe et sémantique

- ▶ Systèmes, modèles, langages et métamodèles
- ▶ Modélisation structurelle / modélisation comportementale
- ▶ Syntaxe concrète, syntaxe abstraite
- ▶ Sémantique concrète, sémantique abstraite
- ▶ Modèles de calcul

Objectifs de ce cours

Composabilité et compositionnalité

- ▶ Approche système pour les systèmes complexes
- ▶ Décomposition, implémentation, recomposition
- ▶ Propriétés émergentes
- ▶ Vérification, validation, correction par construction

Objectifs de ce cours

Paradigmes de modélisation

- ▶ Langages, modèles de calcul, modèles d'exécution
- ▶ Paradigmes usuels :
 - ▶ Temps continu
 - ▶ Événements discrets
 - ▶ Réseaux à flots de données (SDF, KPN)
 - ▶ Automates
 - ▶ Modèles du parallélisme : synchrone, threads
 - ▶ Sémantique constructive du synchrone

Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée

Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ **augmentation de la complexité des systèmes**
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ **augmentation de la complexité des systèmes**
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique
- ▶ plus de fonction pour une énergie



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

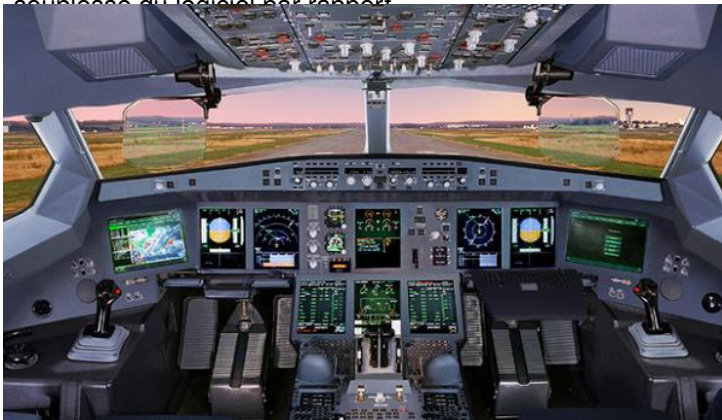
- ▶ **augmentation de la complexité des systèmes**
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique
- ▶ plus de... pour un...



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ **augmentation de la complexité des systèmes**
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ couplage du logiciel par rapport



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ **numérisation des données** \Rightarrow **traitement uniforme**
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ **numérisation des données** \Rightarrow **traitement uniforme**
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ **numérisation des données** \Rightarrow **traitement uniforme**
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

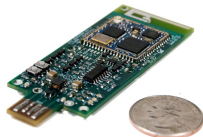
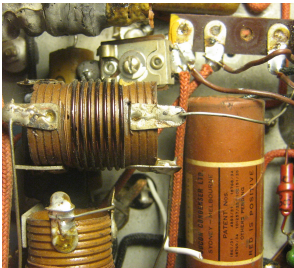
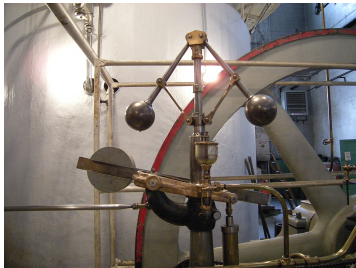
- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ **numérisation des données** \Rightarrow **traitement uniforme**
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

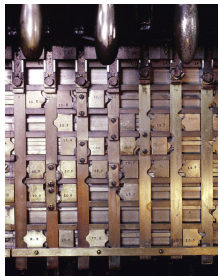
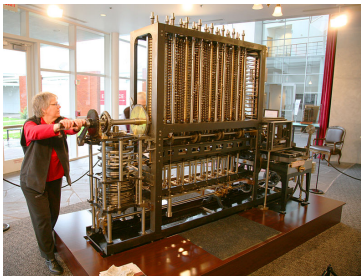
- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ **souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique**
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Modèles, ingénierie dirigée par les modèles

Importance croissante des modèles informatiques

- ▶ augmentation de la complexité des systèmes
- ▶ numérisation des données \Rightarrow traitement uniforme
- ▶ souplesse du logiciel par rapport à la mécanique ou l'électronique
- ▶ plus de fonctionnalités dans un volume donné, pour une énergie donnée



Sources de la complexité

Nombre de composants d'un système ?

- ▶ montre mécanique, cockpit d'avion de ligne → complexes
- ▶ cristal de silicium → simple

Sources de la complexité

Nombre de composants d'un système ?

- ▶ montre mécanique, cockpit d'avion de ligne → complexes
- ▶ cristal de silicium → simple

Interactions entre les composants ?

- ▶ montre mécanique, cockpit d'avion de ligne → complexes
- ▶ neurones, fourmis → complexes
- ▶ circuit RLC → simple

Sources de la complexité

Nombre de composants d'un système ?

- ▶ montre mécanique, cockpit d'avion de ligne → complexes
- ▶ cristal de silicium → simple

Interactions entre les composants ?

- ▶ montre mécanique, cockpit d'avion de ligne → complexes
- ▶ neurones, fourmis → complexes
- ▶ circuit RLC → simple

Complexité

- ▶ interactions non linéaires entre les composants
- ▶ exemples : trois aimants

Complexité

Gestion de la complexité

- ▶ décomposition en sous-systèmes
- ▶ réalisation des sous-systèmes
- ▶ recomposition des sous-systèmes (intégration)

Abstraction

- ▶ ignorer les détails au niveau global
- ▶ ajouter des détails lors de la réalisation
- ▶ définir des interfaces, masquer les détails internes

Modélisation

- ▶ outil pour l'abstraction
- ▶ permet de ne considérer que les détails pertinents

Ingénierie dirigée par les modèles (IDM)

Model Driven Engineering (MDE)

- ▶ centrer la conception sur les modèles
- ▶ raffinement = transformation de modèle
- ▶ conception = raffinement des spécifications jusqu'à l'implémentation

Model Driven Architecture (MDA)

- ▶ approche MDE proposée par l'OMG
- ▶ modèle indépendant de la plateforme (PIM)
- ▶ + modèle de la plateforme
⇒ modèle spécifique à la plateforme (PSM)

Qu'est-ce qu'un modèle ?

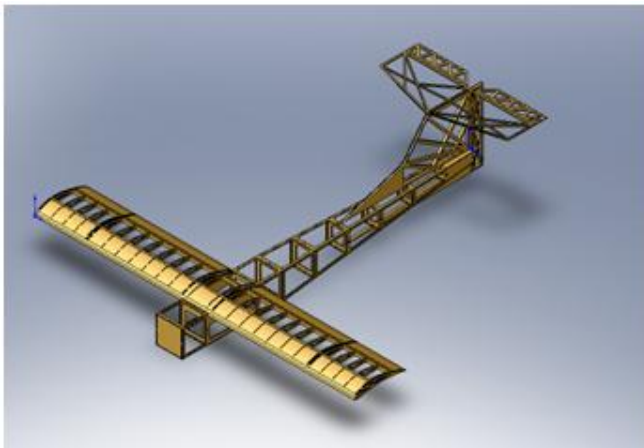
Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand



Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose



Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système



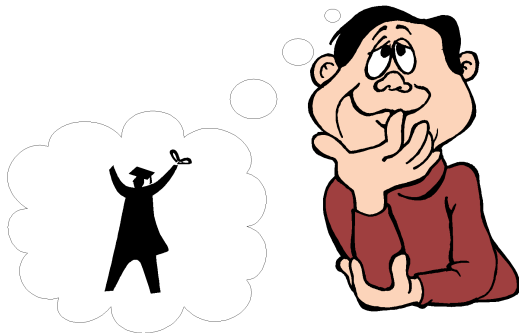
Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système
4. **Le style ou la conception d'un équipement**



Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système
4. Le style ou la conception d'un équipement
5. Exemple à imiter, référence



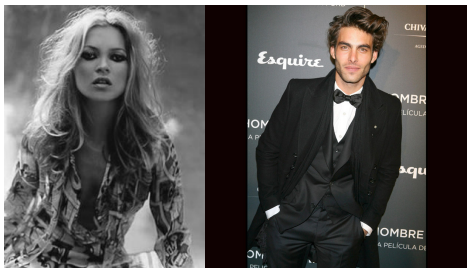
Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système
4. Le style ou la conception d'un équipement
5. Exemple à imiter, référence
6. Ce qui sert de sujet à un artiste



Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système
4. Le style ou la conception d'un équipement
5. Exemple à imiter, référence
6. Ce qui sert de sujet à un artiste
7. Une personne employée à présenter des articles de mode



Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Un petit objet qui représente un objet plus grand
2. Une maquette qui sert de plan pour construire quelque chose
3. Une description schématique permettant de répondre à des questions sur un système
4. Le style ou la conception d'un équipement
5. Exemple à imiter, référence
6. Ce qui sert de sujet à un artiste
7. Une personne employée à présenter des articles de mode

Un modèle est une **représentation simplifiée** d'un système, établie dans un certain **objectif**. Un modèle doit permettre de répondre à des questions que l'on se pose sur le système.

Typologie des modèles

Aspect modélisé

- ▶ modèle structurel (diagramme de classes)
- ▶ modèle comportemental (automate)

Objectif

- ▶ modèle explicatif
- ▶ modèle prédictif

Utilisation

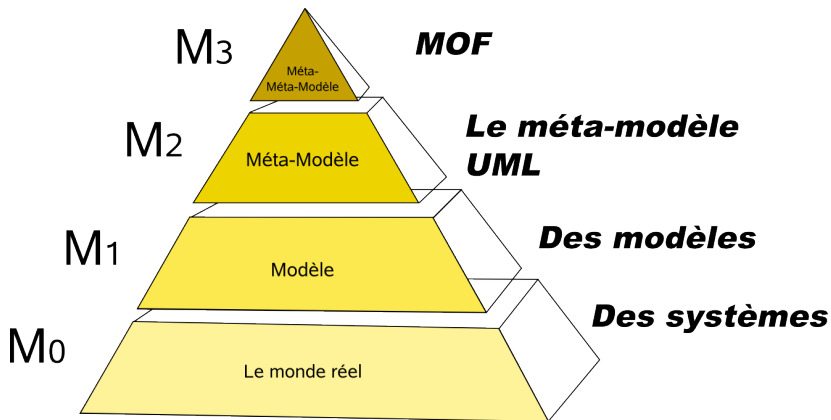
- ▶ modèle constructif (exécutable ou approximable)
- ▶ modèle d'analyse (système pré-existant)
- ▶ modèle de conception (système à concevoir)

Un modèle d'un modèle est-il un métamodèle ?

Systèmes, modèles, langages

- ▶ un modèle est une représentation d'un système
- ▶ un modèle peut être étudié en tant que système (ingénierie des modèles)
- ▶ il existe des modèles de modèles
- ▶ un modèle est décrit dans un langage de modélisation
- ▶ un langage de modélisation peut être étudié en tant que système (ingénierie des langages)
- ▶ il existe des modèles de langages de modélisation
- ▶ un langage de modélisation est décrit par une grammaire (syntaxe concrète) ou un métamodèle (syntaxe abstraite)

La pyramide UML



Systèmes, modèles, langages

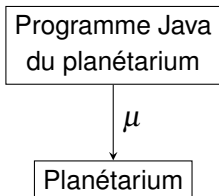
Planétarium

Systèmes, modèles, langages

Programme Java
du planétarium

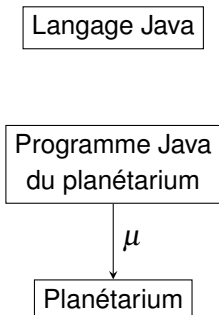
Planétarium

Systèmes, modèles, langages



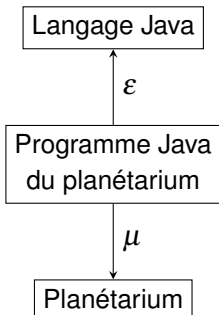
$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

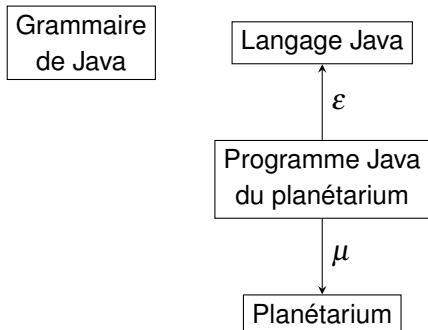
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

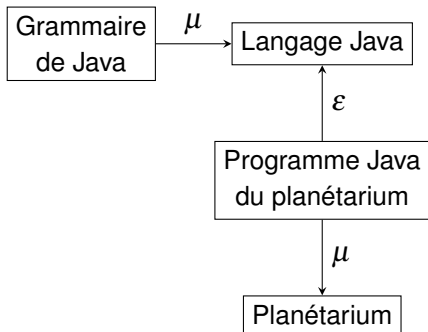
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

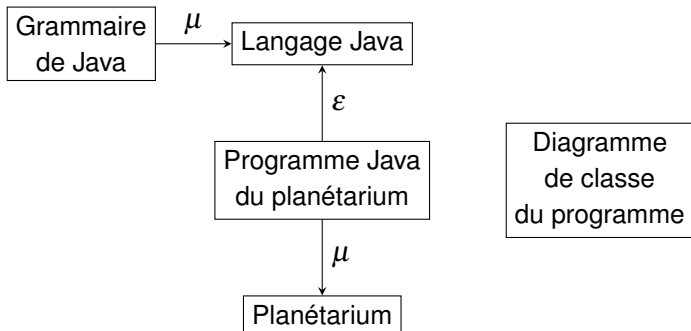
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

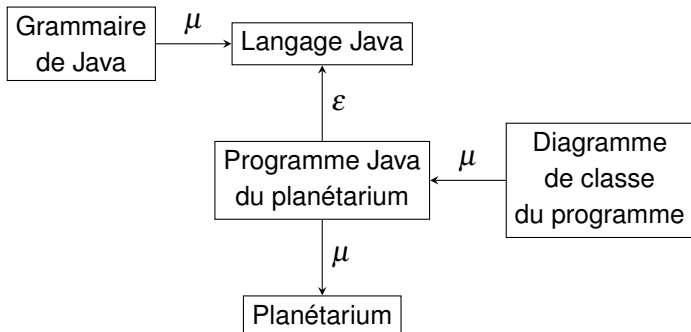
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

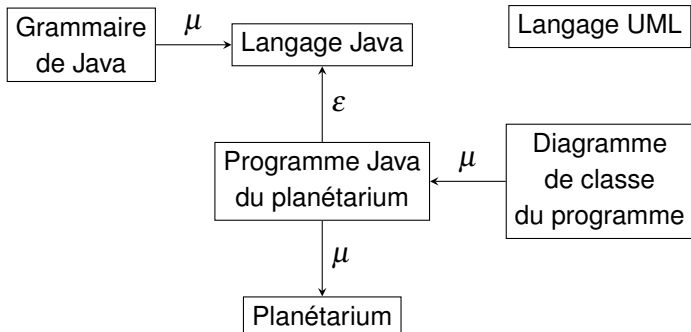
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

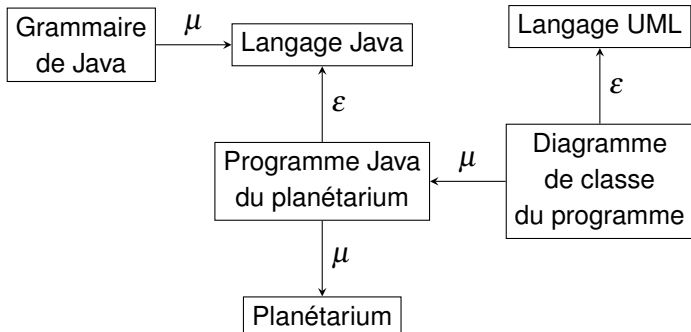
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

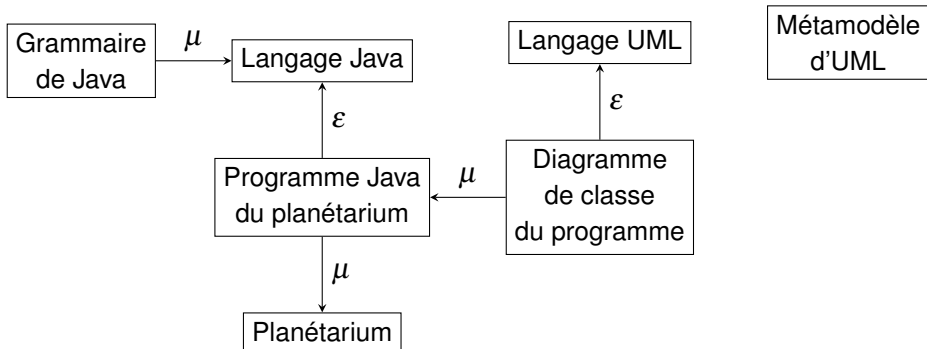
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\epsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

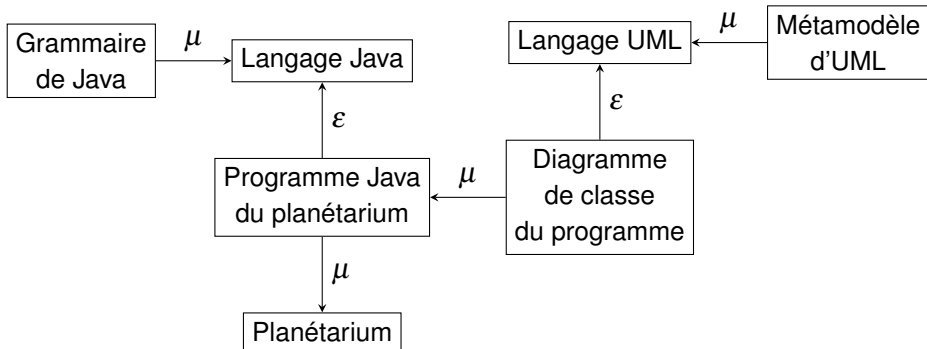
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\epsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

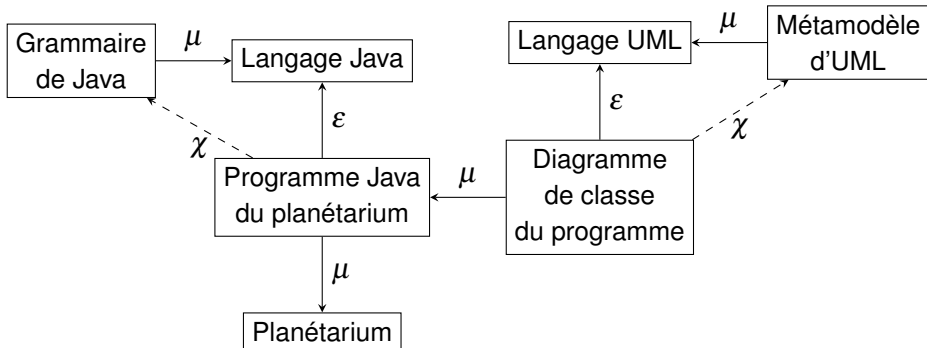
Systèmes, modèles, langages



$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

Systèmes, modèles, langages

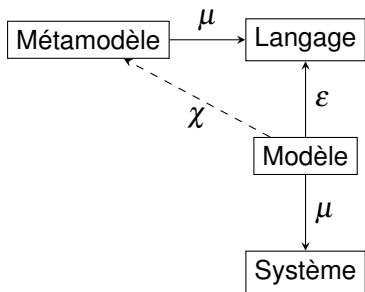


$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

$M \xrightarrow{\chi} MM$ M est conforme au métamodèle MM

Systèmes, modèles, langages

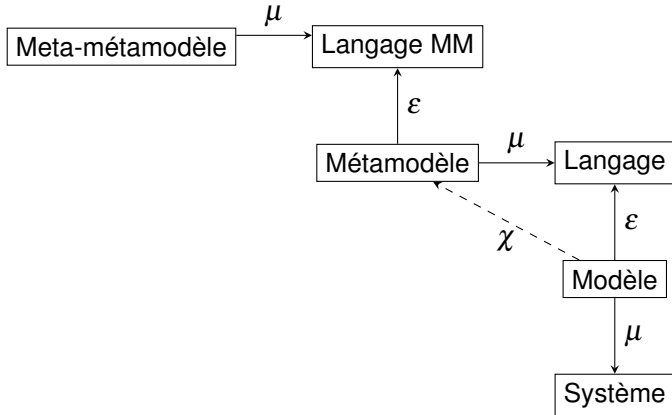


$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

$M \xrightarrow{\chi} MM$ M est conforme au métamodèle MM

Systèmes, modèles, langages

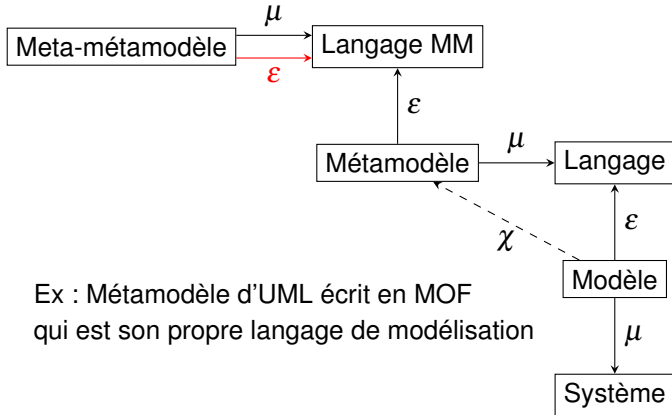


$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

$M \xrightarrow{\epsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

$M \xrightarrow{\chi} MM$ M est conforme au métamodèle MM

Systèmes, modèles, langages



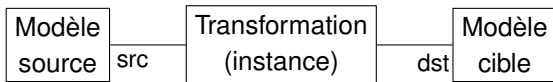
Ex : Métamodèle d'UML écrit en MOF
qui est son propre langage de modélisation

$M \xrightarrow{\mu} S$ M représente (est un modèle de) S

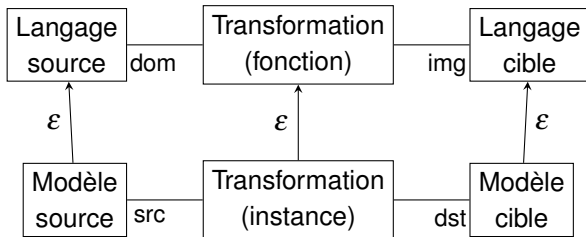
$M \xrightarrow{\varepsilon} L$ M appartient au (est écrit dans le) langage L

$M \xrightarrow{\chi} MM$ M est conforme au métamodèle MM

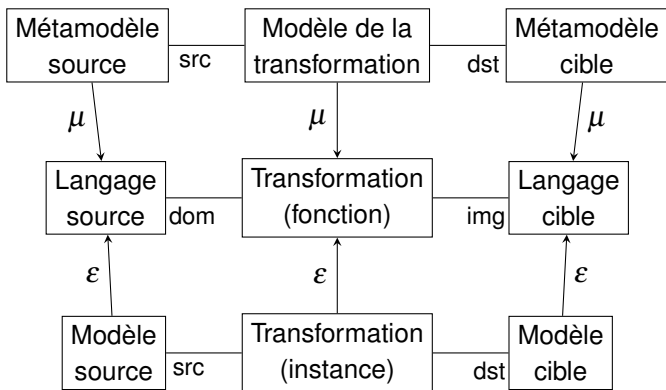
Mégamodèle d'une transformation de modèles



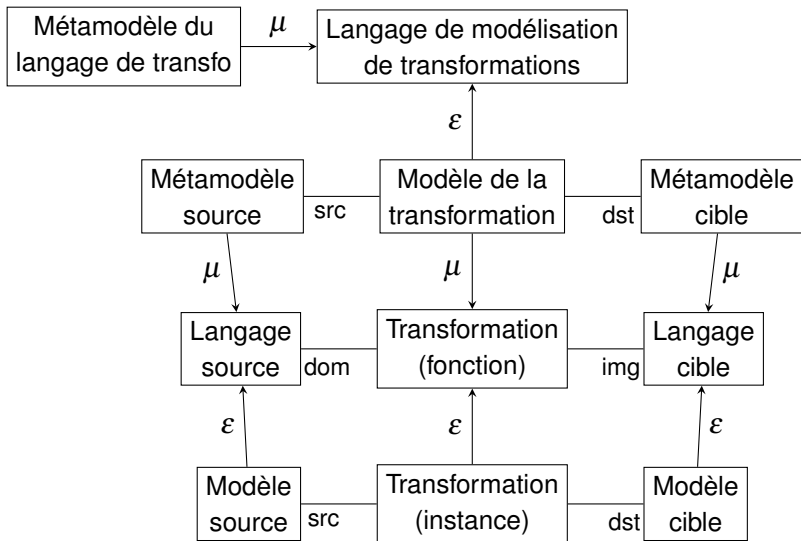
Mégamodèle d'une transformation de modèles



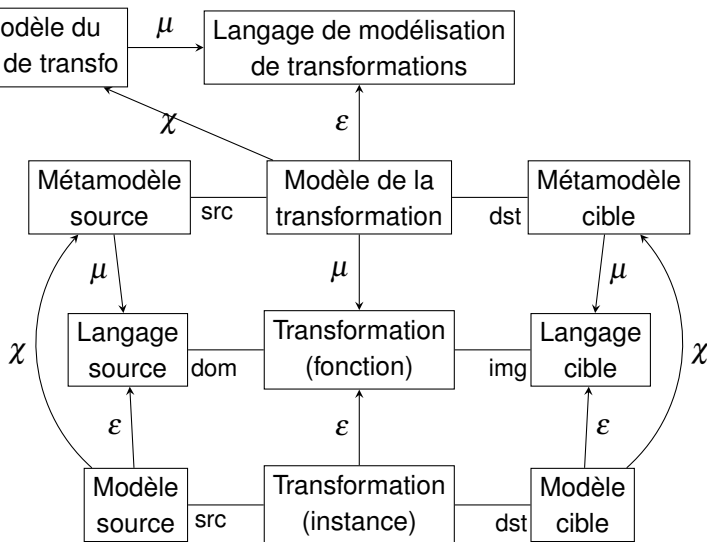
Mégamodèle d'une transformation de modèles



Mégamodèle d'une transformation de modèles



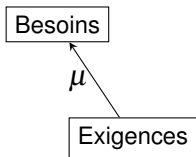
Mégamodèle d'une transformation de modèles



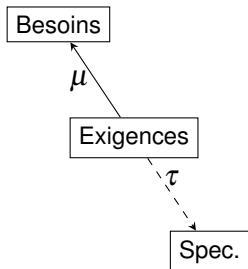
Cycle de vie d'un système

Besoins

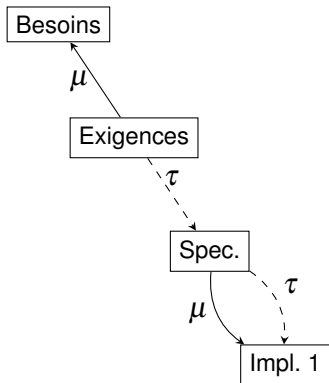
Cycle de vie d'un système



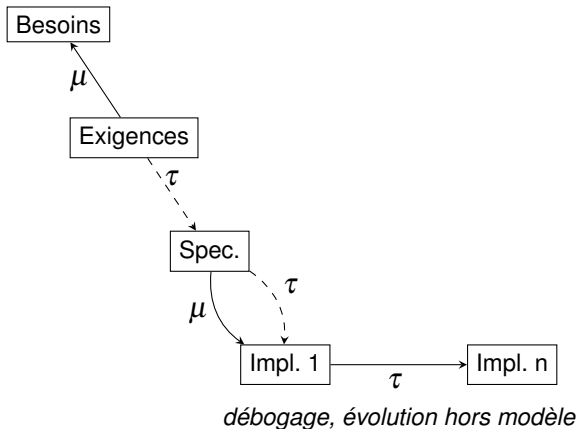
Cycle de vie d'un système



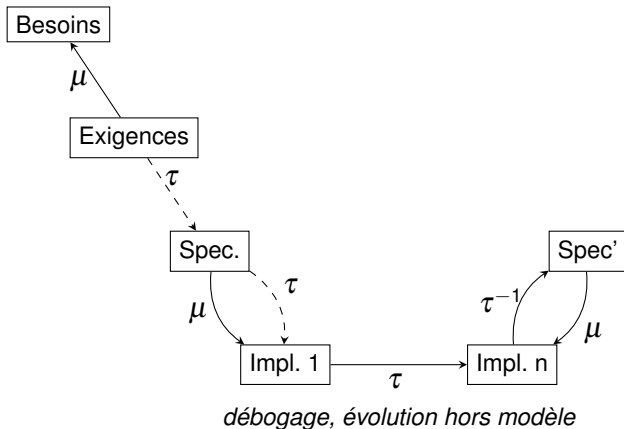
Cycle de vie d'un système



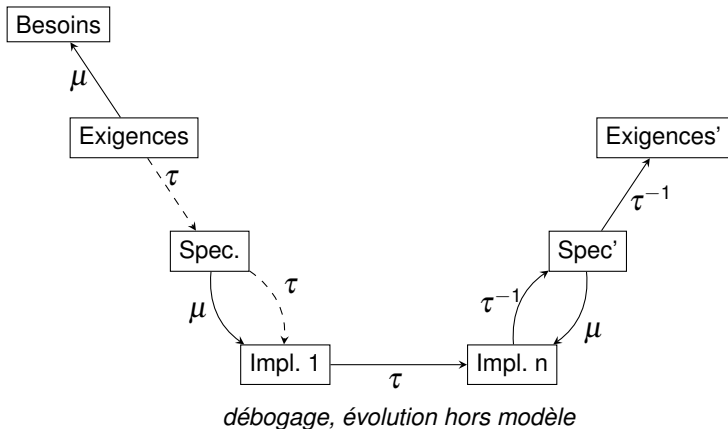
Cycle de vie d'un système



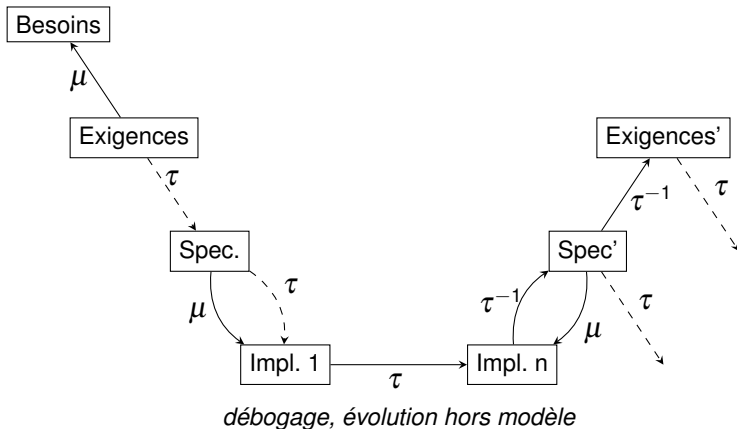
Cycle de vie d'un système



Cycle de vie d'un système



Cycle de vie d'un système



Modèles, modèles... (pourquoi l'homme de Néanderthal a disparu)

