

Ingénierie des Modèles

Introduction Générale

Eric Cariou

Master Technologies de l'Internet 2^{ème} année

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

Eric.Cariou@univ-pau.fr

Plan

- ◆ Pourquoi l'ingénierie des modèles (IDM)
 - ◆ Constat sur l'évolution des technologies
 - ◆ Approche MDA de l'OMG
- ◆ Pour quoi faire
 - ◆ But, problématique de l'IDM
- ◆ Définitions générales
 - ◆ Modèles, méta-modèles, transformations

Évolution des technologies

- ◆ Évolution permanente des technologies logicielles
- ◆ Exemple : systèmes distribués
 - ◆ Faire communiquer et interagir des éléments distants
- ◆ Évolution dans ce domaine
 - ◆ C et sockets TCP/UDP
 - ◆ C et RPC
 - ◆ C++ et CORBA
 - ◆ Java et RMI
 - ◆ Java et EJB
 - ◆ C# et Web Services
 - ◆ A suivre ...

Évolution des technologies

- ◆ Idée afin de limiter le nombre de technologies
 - ◆ Normaliser un standard qui sera utilisé par tous
- ◆ Pour les systèmes distribués
 - ◆ Normaliser un intergiciel (middleware)
 - ◆ C'était le but de CORBA
- ◆ CORBA : Common Object Request Broker Architecture
 - ◆ Norme de l'OMG : Object Management Group
 - ◆ Consortium d'industriels (et d'académiques) pour développement de standards

Évolution des technologies

- ◆ Principes de CORBA
 - ◆ Indépendant des langages de programmation
 - ◆ Indépendant des systèmes d'exploitation
 - ◆ Pour interopérabilité de toutes applications, indépendamment des technologies utilisées
- ◆ Mais CORBA ne s'est pas réellement imposé en pratique
 - ◆ D'autres middleware sont apparus : Java RMI
 - ◆ Plusieurs implémentations de CORBA
 - ◆ Ne réalisant pas tous entièrement la norme
 - ◆ Les composants logiciels sont arrivés
 - ◆ OMG a développé un modèle de composants basé sur CORBA : CCM (Corba Component Model)
 - ◆ Mais en concurrence avec les EJB de Java, MS .Net, les Web Services ou services REST

Évolution des technologies

- ◆ De plus, « guerre » de la standardisation et/ou de l'universalité
 - ◆ Sun/Oracle : Java
 - ◆ Plate-forme d'exécution universelle
 - ◆ Avec intergiciel intégré (RMI)
 - ◆ OMG : CORBA
 - ◆ Intergiciel universel
 - ◆ Microsoft et d'autres : Web Services
 - ◆ Interopérabilité universelle entre composants
 - ◆ Intergiciel = HTTP/XML
- ◆ Middleware ou *middle war* * ?

Évolution des technologies

- ◆ Evolutions apportent un gain réel
 - ◆ Communications distantes
 - ◆ Socket : envoi d'informations brutes
 - ◆ RPC/RMI/CORBA : appel d'opérations sur un élément distant *presque* comme s'il était local
 - ◆ Composants : meilleure description et structuration des interactions (appels d'opérations)
 - ◆ Paradigmes de programmation
 - ◆ C : procédural
 - ◆ Java, C++, C# : objet
 - ◆ Encapsulation, réutilisation, héritage, spécialisation ...
 - ◆ EJB, CCM : composants
 - ◆ Meilleure encapsulation et réutilisation, déploiement ...

Évolution des technologies

- ◆ Conclusion sur l'évolution des technologies
 - ◆ Nouveaux paradigmes, nouvelles techniques
 - ◆ Pour développement toujours plus rapide, plus efficace
 - ◆ Rend difficile la standardisation (désuétude rapide d'une technologie)
 - ◆ Et aussi car combats pour imposer sa technologie
- ◆ Principes de cette évolution
 - ◆ Évolution sans fin
 - ◆ La meilleure technologie est ... celle à venir

Évolution des technologies

- ◆ Quelles conséquences en pratique de cette évolution permanente ?
- ◆ Si veut profiter des nouvelles technologies et de leurs avantages :
 - ◆ Nécessite d'adapter une application à ces technologies
- ◆ Question : quel est le coût de cette adaptation ?
 - ◆ Généralement très élevé
 - ◆ Doit réécrire presque entièrement l'application
 - ◆ Car mélange du code métier et du code technique
 - ◆ Aucune capitalisation de la logique et des règles métiers

Évolution des technologies

◆ Exemple

- ◆ Application de calculs scientifiques distribués sur un réseau de machines
- ◆ Passage de C/RPC à Java/EJB
 - ◆ Impossibilité de reprendre le code existant
 - ◆ Paradigme procédural à objet/composant
- ◆ Pourtant
 - ◆ Les algorithmes de distribution des calculs et de répartition des charges sur les machines sont indépendants de la technologie de mise en oeuvre
 - ◆ Logique métier indépendante de la technologie

Évolution des technologies

- ◆ Partant de tous ces constats
 - ◆ Nécessité de découpler clairement la logique métier et de la mise en oeuvre technologique
 - ◆ C'est un des principes fondamentaux de l'ingénierie des modèles
 - ◆ Séparation des préoccupations (*separation of concerns*)
- ◆ Besoin de modéliser/spécifier
 - ◆ A un niveau abstrait la partie métier
 - ◆ La plate-forme de mise en oeuvre
 - ◆ De projeter ce niveau abstrait sur une plateforme

Model Driven Architecture

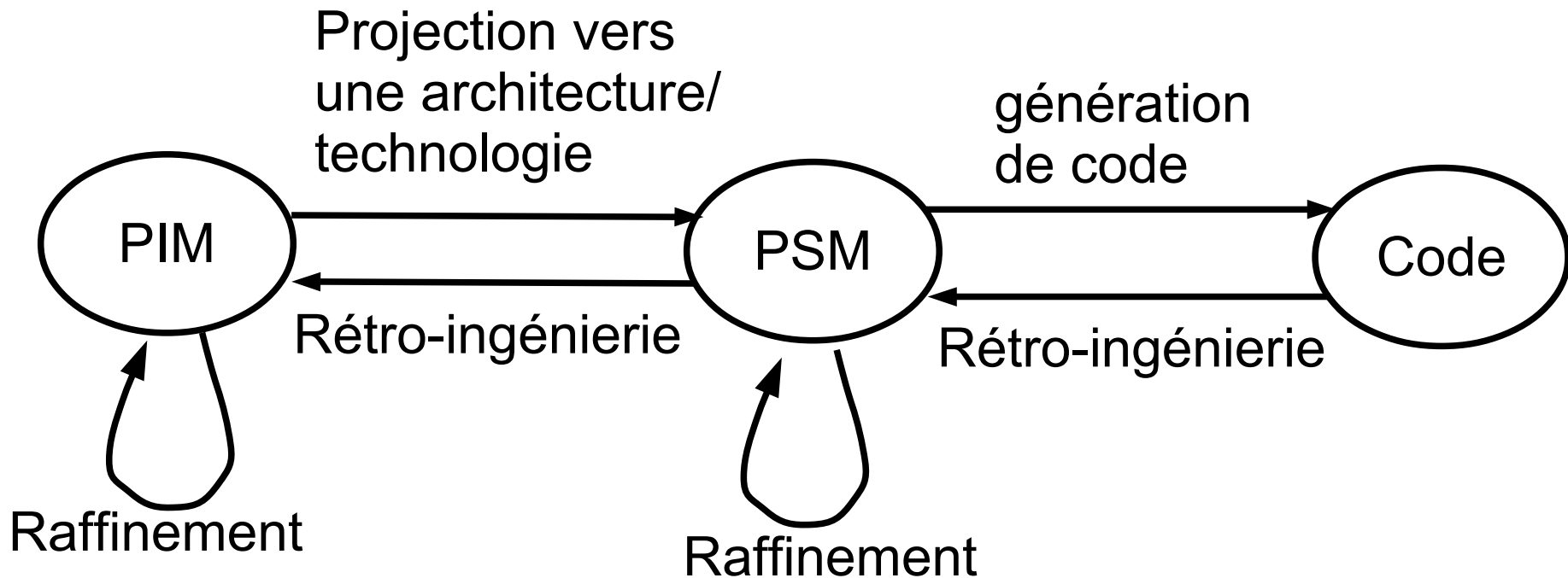
- ◆ Approche Model-Driven Architecture (MDA) de l'OMG
 - ◆ Origine de l'ingénierie des modèles
 - ◆ Date de 2000
- ◆ Le MDA est né à partir des constatations que nous venons de voir
 - ◆ Évolution continue des technologies
- ◆ But du MDA
 - ◆ Abstraire les parties métiers de leur mise en oeuvre
 - ◆ Basé sur des technologies et standards de l'OMG
 - ◆ UML, MOF, OCL, CWM, QVT ...

Model Driven Architecture

- ◆ Le MDA définit 2 principaux niveaux de modèles
 - ◆ PIM : Platform Independent Model
 - ◆ Modèle spécifiant une application indépendamment de la technologie de mise en oeuvre
 - ◆ Uniquement spécification de la partie métier d'une application
 - ◆ PSM : Platform Specific Model
 - ◆ Modèle spécifiant une application après projection sur une plate-forme technologique donnée
- ◆ Autres types de modèles
 - ◆ CIM : Computation Independent Model
 - ◆ Spécification du système, point de vue extérieur de l'utilisateur
 - ◆ PDM : Platform Deployment Model
 - ◆ Modèle d'une plate-forme de déploiement

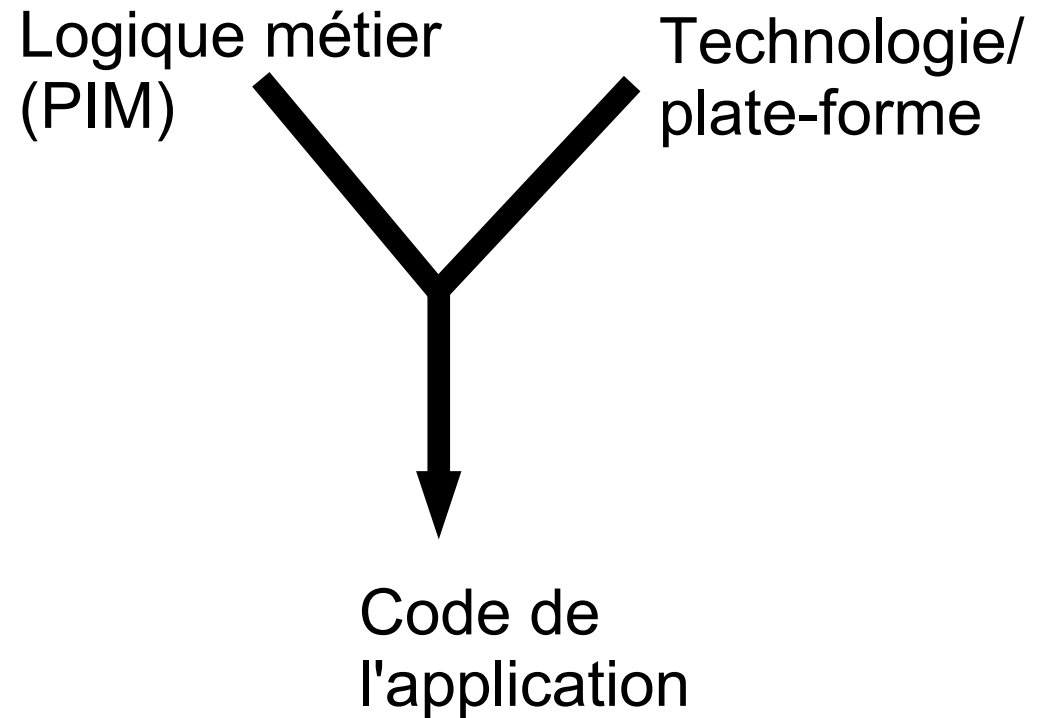
Model Driven Architecture

◆ Relation entre les niveaux de modèles



Model Driven Architecture

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



Model Driven Architecture

- ◆ Outils de mise en oeuvre du MDA
 - ◆ Standards de l'OMG
- ◆ Spécification des modèles aux différents niveaux
 - ◆ Langage de modélisation UML
 - ◆ Profils UML
 - ◆ Langage de contraintes OCL
 - ◆ Langages dédiés à des domaines particuliers (CWM ...)
- ◆ Spécification des méta-modèles
 - ◆ Meta Object Facilities (MOF)
- ◆ Langage de manipulation et transformation de modèles
 - ◆ Query/View/Transformation (QVT)

Model Driven Engineering

- ◆ Limites du MDA
 - ◆ Technologies OMG principalement
- ◆ Ingénierie des modèles
 - ◆ MDE : Model Driven Engineering
 - ◆ IDM : Ingénierie Dirigée par les Modèles
 - ◆ Approche plus globale et générale que le MDA
- ◆ Appliquer les mêmes principes à tout espace technologique et les généraliser
 - ◆ Espace technologique : ensemble de techniques/principes de modélisation et d'outils associés à un (méta)méta-modèle particulier
 - ◆ MOF/UML, EMF/Ecore, XML, grammaires de langages, bases de données relationnelles, ontologies ...
 - ◆ Le MDA est un processus de type MDE

Principes du MDE

◆ Capitalisation

◆ Approche objets/composants

- ◆ Capitalisation, réutilisation d'éléments logiciels/code

◆ MDE

- ◆ Capitalisation, réutilisation de (parties de) modèles : logique métier, règles de raffinements, de projection ...

◆ Abstraction

◆ Modéliser, c'est abstraire ...

◆ Par exemple abstraction des technologies de mise en oeuvre

- ◆ Permet d'adapter une logique métier à un contexte
- ◆ Permet d'évoluer bien plus facilement vers de nouvelles technologies

Principes du MDE

◆ Modélisation

- ◆ La modélisation n'est pas une discipline récente en génie logiciel
- ◆ Les processus de développement logiciel non plus
 - ◆ RUP, Merise ...
- ◆ C'est l'usage de ces modèles qui change
- ◆ Le but du MDE est
 - ◆ De passer d'une vision plutôt contemplative des modèles
 - ◆ A but de documentation, spécification, communication
 - ◆ A une vision réellement productive
 - ◆ Pour générer le code final du logiciel pour une technologie de mise en oeuvre donnée

Principes du MDE

- ◆ Séparation des préoccupations
 - ◆ Deux principales préoccupations
 - ◆ Métier : le coeur de l'application, sa logique
 - ◆ Plate-forme de mise en oeuvre
 - ◆ Mais plusieurs autres préoccupations possibles
 - ◆ Sécurité
 - ◆ Interface utilisateur
 - ◆ Qualité de service
 - ◆ ...
 - ◆ Chaque préoccupation est modélisée par un ... modèle
- ◆ Intégration des préoccupations
 - ◆ Par transformation/fusion/tissage de modèles
 - ◆ Conception orientée aspect

Principes du MDE

- ◆ Pour passer à une vision productive, il faut
 - ◆ Que les modèles soient bien définis
 - ◆ Notion de méta-modèle
 - ◆ Pour que l'on puisse les manipuler et les interpréter via des outils
 - ◆ Avec traitement de méta-modèles différents simultanément
 - ◆ Pour transformation/passage entre deux types de modèles
 - ◆ Référentiels de modèles et de méta-modèles
 - ◆ Outils et langages de transformation, de projection, de génération de code
 - ◆ Langages dédiés à des domaines (DS(M)L : Domain Specific Modelling Language)

Définitions

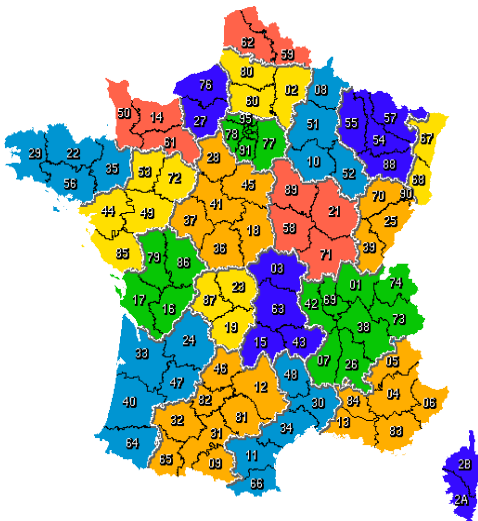
- ◆ Notions fondamentales dans le cadre du MDE
 - ◆ Modèle
 - ◆ Méta-modèle
 - ◆ Transformation de modèle
- ◆ Nous allons donc les définir précisément
 - ◆ En reprenant les notations et exemples des documents réalisés par l'AS CNRS MDA
 - ◆ *"L'ingénierie dirigée par les modèles. Au-delà du MDA"*, collectif sous la direction de JM. Favre, J. Estublier et M. Blay-Fornarino, 2006, Hermes / Lavoisier

Modèle

- ◆ Un modèle est une description, une spécification partielle d'un système
 - ◆ Abstraction de ce qui est intéressant pour un contexte et dans un but donné
 - ◆ Vue subjective et simplifiée d'un système
- ◆ But d'un modèle
 - ◆ Faciliter la compréhension d'un système
 - ◆ Simuler le fonctionnement d'un système
- ◆ Exemples
 - ◆ Modèle économique
 - ◆ Modèle démographique
 - ◆ Modèle météorologique

Modèle

- ◆ Différence entre spécification et description
 - ◆ Spécification d'un système à *construire*
 - ◆ Description d'un système *existant*
- ◆ Relation entre un système et un modèle
 - ◆ ReprésentationDe (notée μ)



modèle

μ

système modélisé

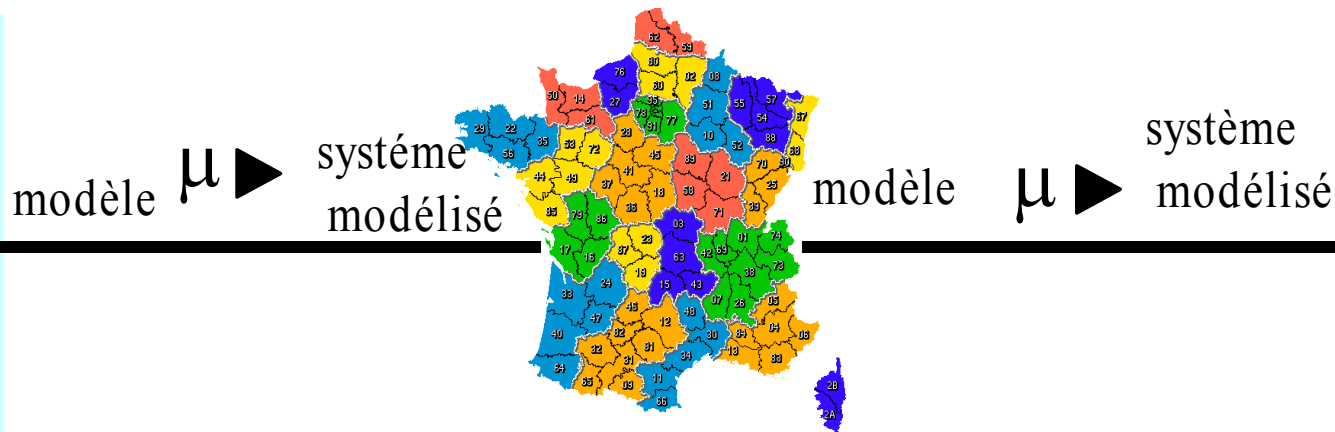
Représente ►



Modèle

- ◆ Un modèle représente un système modélisé
 - ◆ De manière générale, pas que dans un contexte de génie logiciel ou d'informatique
 - ◆ Un modèle peut aussi avoir le rôle de système modélisé dans une autre relation de représentation

```
<MAP name="france"
  taille="20x20">
  <region>
  <departement>
  38
  </departement>
  <departement>
  73
  </departement>
  ...
  </region>
```



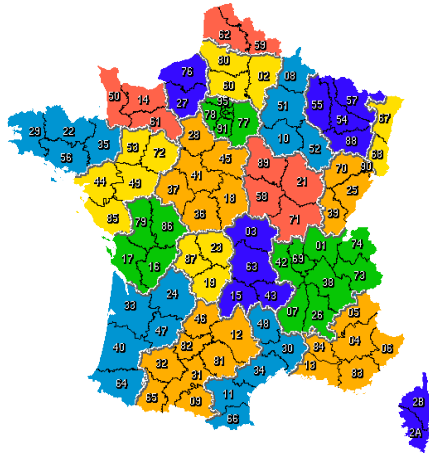
- ◆ Modèle XML de la carte de la France administrative qui est un modèle de la France « réelle »

Modèle

- ◆ Un modèle est écrit dans un langage qui peut être
 - ◆ Non ou peu formalisé, la langue naturelle
 - ◆ Le français, un dessin ...
 - ◆ Formel et bien défini, non ambigu
 - ◆ Syntaxe, grammaire, sémantique
 - ◆ On parle de méta-modèle pour ce type de langage de modèle
- ◆ Pour les modèles définis dans un langage bien précis
 - ◆ Relation de conformité
 - ◆ Un modèle est conforme à son méta-modèle
 - ◆ Relation EstConformeA (notée χ)

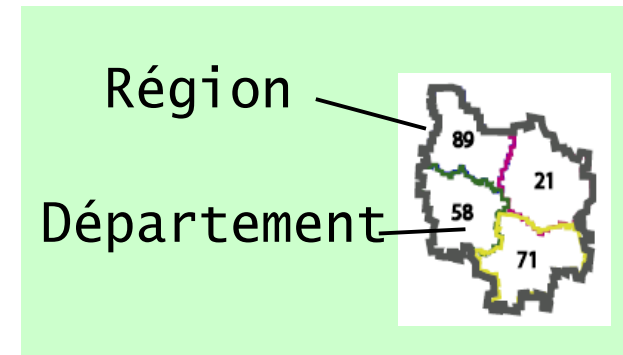
Méta-modèle

- ◆ Un modèle est conforme à son méta-modèle



modèle χ métamodèle

ConformeA ►



Notes

- ◆ On ne parle pas de relation d'instanciation
 - ◆ Un modèle n'est pas une instance d'un méta-modèle
 - ◆ Instanciation est un concept venant de l'approche objet
 - ◆ Approche objet qui ne se retrouve pas dans tous les espaces technologiques
- ◆ Un méta-modèle n'est pas un modèle de modèle
 - ◆ Raccourci ambigu à éviter
 - ◆ Le modèle XML de la carte administrative de la France n'est pas le méta-modèle des cartes administratives

Meta-modèle

- ◆ Cette relation de conformité est essentielle
 - ◆ Base du MDE pour développer les outils capables de manipuler des modèles
 - ◆ Un méta-modèle est une entité de première classe
- ◆ Mais pas nouvelle
 - ◆ Un texte écrit est conforme à une orthographe et une grammaire
 - ◆ Un programme Java est conforme à la syntaxe et la grammaire du langage Java
 - ◆ Un fichier XML est conforme à sa DTD ou son schéma
 - ◆ Une carte doit être conforme à une légende
 - ◆ Un modèle UML est conforme au méta-modèle UML

Méta-modèle et Langage

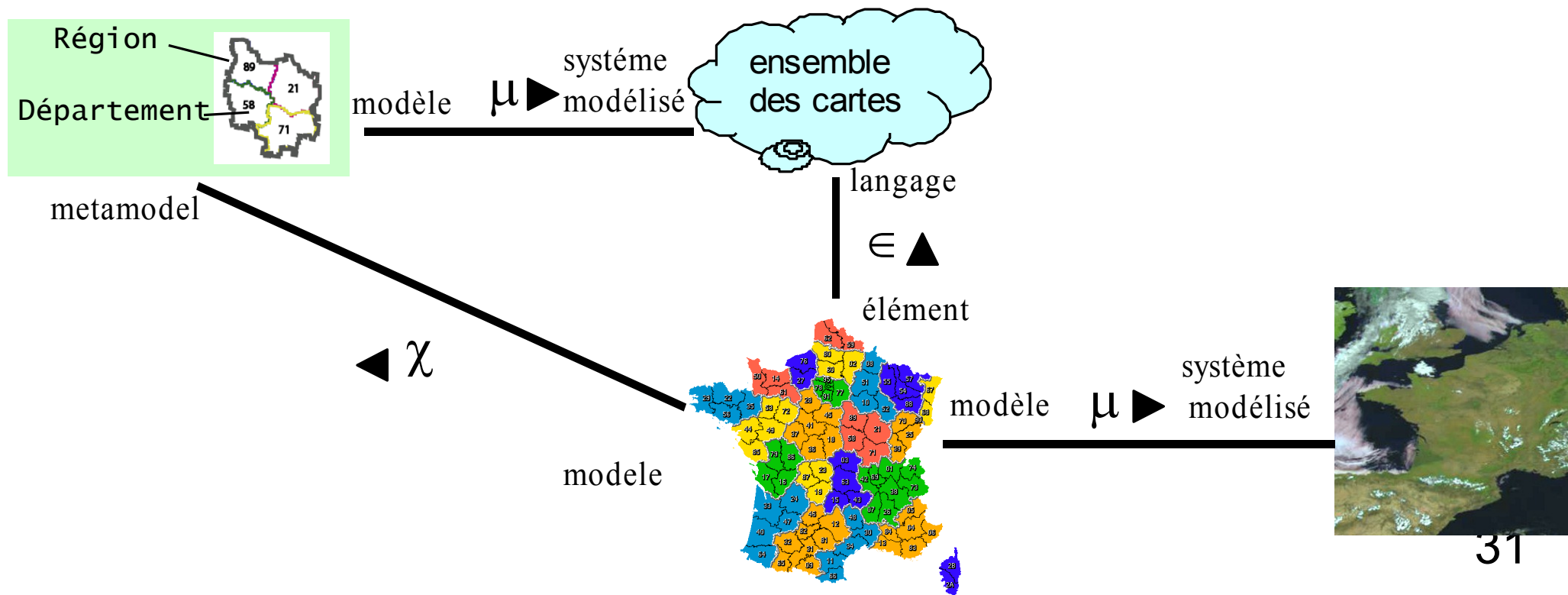
- ◆ Lien entre méta-modèle et langage
 - ◆ Un méta-modèle est un modèle qui définit le langage pour définir des modèles
 - ◆ Langage
 - ◆ Système abstrait
 - ◆ Méta-modèle
 - ◆ Définition explicite et concrète d'un langage
 - ◆ Un méta-modèle modélise alors un langage
- ◆ Un méta-modèle n'est donc pas un langage

Méta-modèle et Langage

- ◆ En linguistique
 - ◆ Un langage est défini par l'ensemble des phrases valides écrites dans ce langage
 - ◆ Une grammaire est un modèle de langage
 - ◆ Une grammaire est un méta-modèle
- ◆ Relation entre langage et modèle
 - ◆ Un modèle est un élément valide de ce langage
 - ◆ Une phrase valide du langage en linguistique
 - ◆ Relation d'appartenance
 - ◆ AppartientA, notée ϵ

Relations générales

- ◆ Exemple de la carte
 - ◆ Une carte modélise un pays selon un point de vue
 - ◆ Le méta-modèle de la carte est sa légende
 - ◆ La légende définit un ensemble de cartes valides
 - ◆ Une carte conforme à une légende appartient à cet ensemble



Relations générales

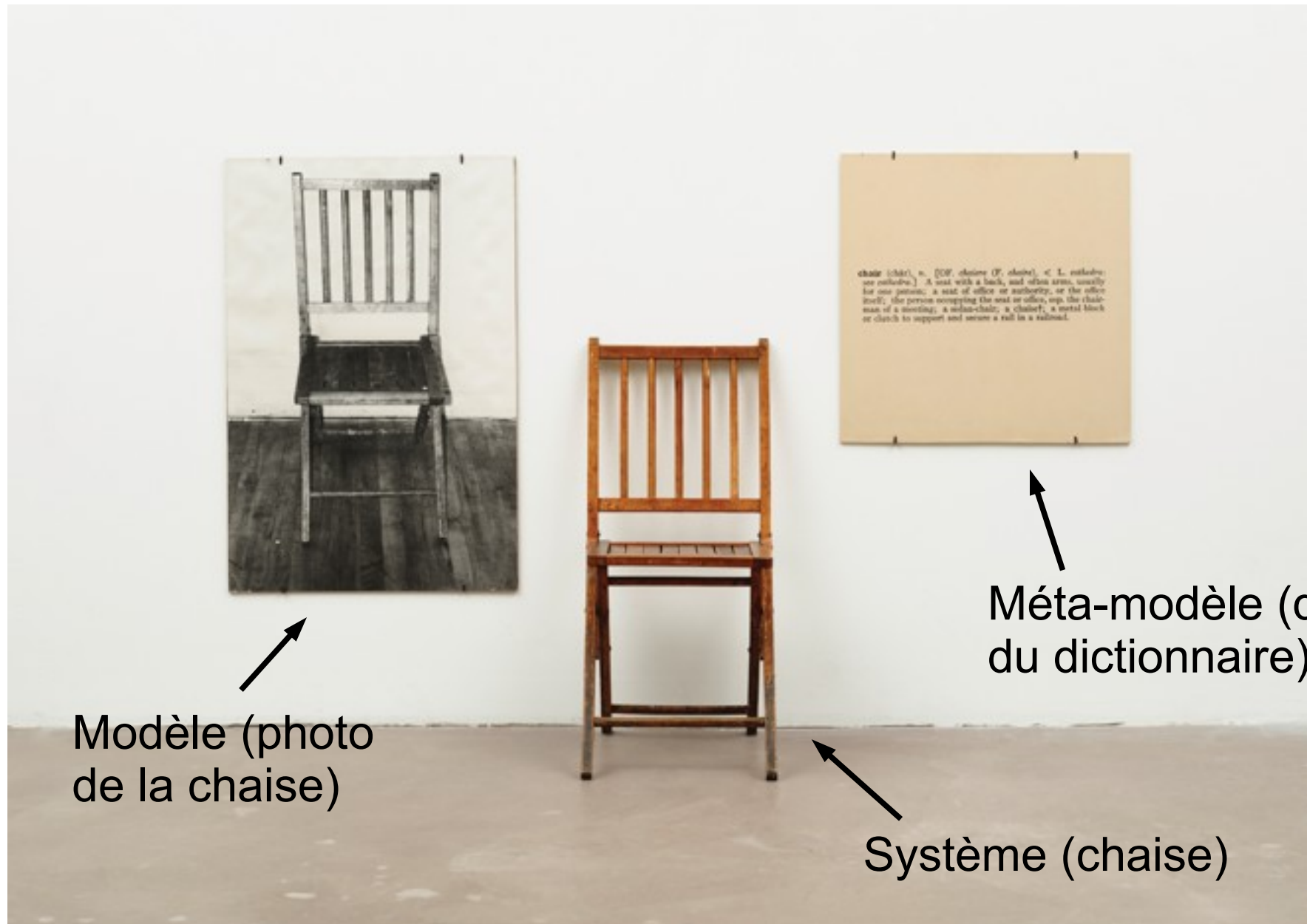
- ◆ Exemple avec un langage de programmation
 - ◆ Un programme Java modélise/simule un système (le programme à l'exécution)
 - ◆ Un programme Java est conforme à la grammaire du langage Java
 - ◆ La grammaire de Java modélise le langage Java et donc tous les programmes valides
 - ◆ Le programme Java appartient à cet ensemble
- ◆ Exemple avec UML
 - ◆ Un diagramme UML modélise un système
 - ◆ Un diagramme UML est conforme au méta-modèle UML
 - ◆ Le méta-modèle UML définit l'ensemble des modèles UML valides
 - ◆ Un modèle UML appartient à cet ensemble

Les concepts de l'IDM en une image ...



« One and three chairs », Joseph Kosuth, 1965

Les concepts de l'IDM en une image ...



« One and three chairs », Joseph Kosuth, 1965

Transformation

- ◆ Opération générale de manipulation de modèle
 - ◆ Prend un (ou plusieurs) modèle(s) source en entrée
 - ◆ Fournit un (ou plusieurs) modèle(s) cible en sortie
- ◆ Transformation endogène
 - ◆ Les modèles source et cible sont conformes au même méta-modèle
 - ◆ Transformation d'un modèle UML en un autre modèle UML
- ◆ Transformation exogène
 - ◆ Les modèles source et cible sont conformes à des méta-modèles différents
 - ◆ Transformation d'un modèle UML en programme Java
 - ◆ Transformation d'un fichier XML en schéma de BDD

Conclusion

- ◆ Le MDE est une nouvelle approche pour concevoir des applications
- ◆ En plaçant les modèles et surtout les méta-modèles au centre du processus de développement dans un but productif
 - ◆ Les modèles sont depuis longtemps utilisés mais ne couvrait pas l'ensemble du cycle de vie du logiciel
 - ◆ Les méta-modèles existent aussi depuis longtemps (grammaires, DTD XML, ...) mais peu utilisés en modélisation « à la UML »
 - ◆ Nouvelle vision autour de notions déjà connues : le méta-modèle devient le point clé de la modélisation
 - ◆ Automatisation de la manipulation des modèles
 - ◆ Création de DSL : outillage de modélisation dédié à un domaine
- ◆ Automatisation du processus de développement
 - ◆ Application de séries de transformations, fusions de modèles

Conclusion

- ◆ Problématiques, verrous technologiques, besoin en terme d'outils dans le cadre du MDE
 - ◆ Définition précise de modèles et de méta-modèles
 - ◆ Langage et outils de transformations, fusion de modèles, tissage de modèles/aspects
 - ◆ Traçabilité dans le processus de développement, reverse-engineering
 - ◆ Gestion de référentiels de modèles et méta-modèles
 - ◆ Y compris à large échelle (nombre et taille des (méta)modèles)
 - ◆ Exécutabilité de modèles
 - ◆ Connaissance et usage du modèle à l'exécution, modèle intégré dans le code
 - ◆ Validation/test de modèles et de transformations

Conclusion

- ◆ Ingénierie des modèles ou ...
... ingénierie des langages ?
- ◆ Désormais le cœur de l'IDM est souvent vu comme
 - ◆ La définition de langages spécifiques via des méta-modèles : DSL
 - ◆ La création de tout un outillage autour de ces langages
 - ◆ Transformateurs de modèles, générateurs de code/texte, éditeurs textuels ou graphiques, ...
 - ◆ Grace à des frameworks comme Eclipse/EMF par exemple qui intègre beaucoup d'outils et de plugins
 - ◆ Une discipline permettant donc de faire de l'ingénierie des langages

Contenu du module

- ◆ Module couvre un nombre important de points clés du MDE avec application concrète via des outils
 - ◆ Définition de modèles/méta-modèles
 - ◆ Ecore/EMF, profils UML
 - ◆ Définition de DS(M)L
 - ◆ Transformations de modèles
 - ◆ ATL, Kermeta
 - ◆ Exécutabilité de modèles
 - ◆ Exécution de statecharts avec PauWare
 - ◆ Vérification & Validation
 - ◆ Application aux transformation de modèles
 - ◆ Création d'éditeurs de modèles
 - ◆ Xtext