



FML : un langage de fédération de modèles pour l'interopérabilité sémantique de sources d'information hétérogènes

Sylvain Guérin

30/11/2023

Rapporteurs

- Jean-Marc Jezequel, Université Rennes 1
- Vincent Englebert, Université de Namur

Encadrants

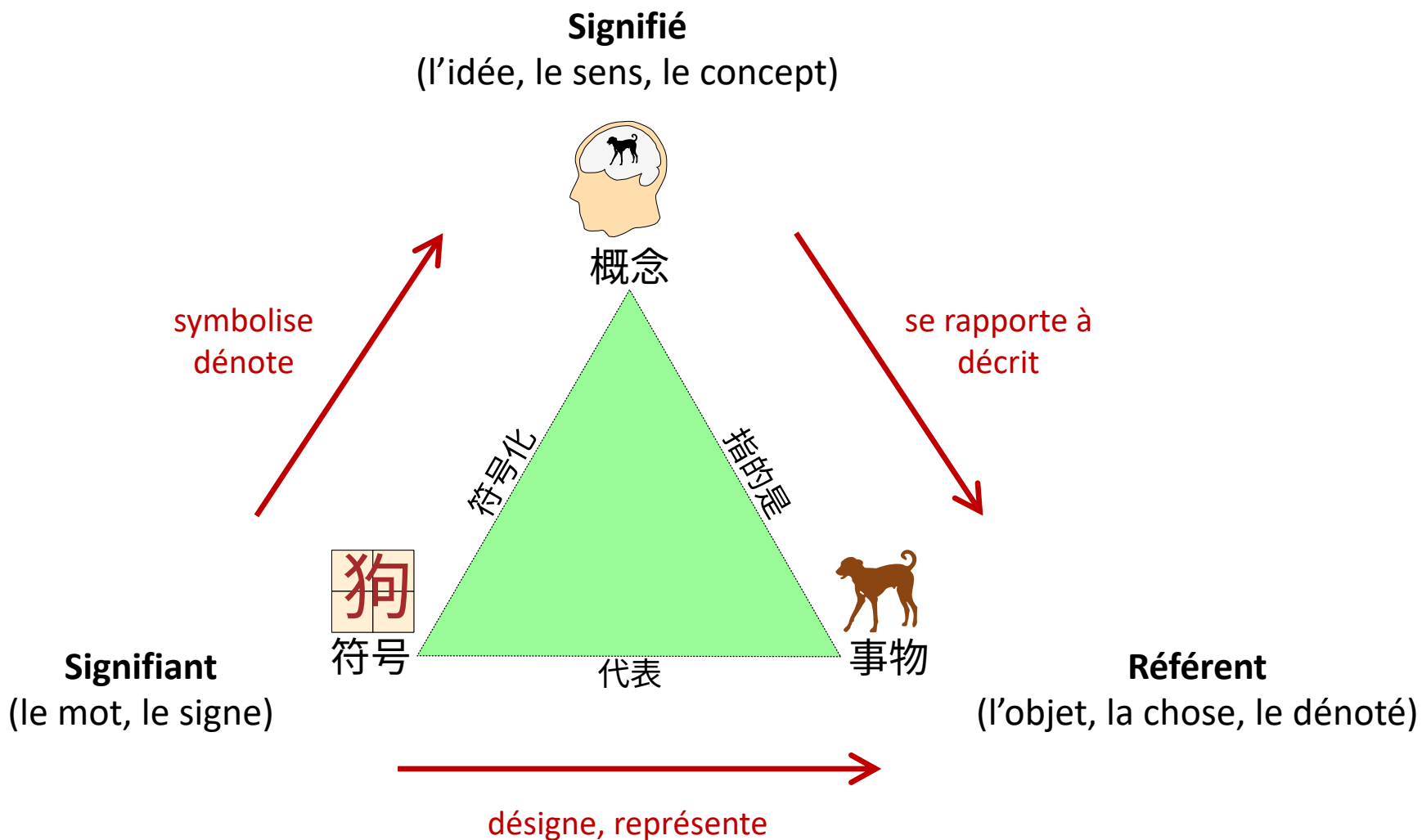
- Antoine Beugnard, IMT Atlantique (directeur de thèse)
- Joël Champeau, ENSTA Bretagne

Examineurs

- Sophie Ebersold, Université de Toulouse
- Régine Laleau, Université Paris-Est
- Pierre-Alain Muller, Université de Haute-Alsace

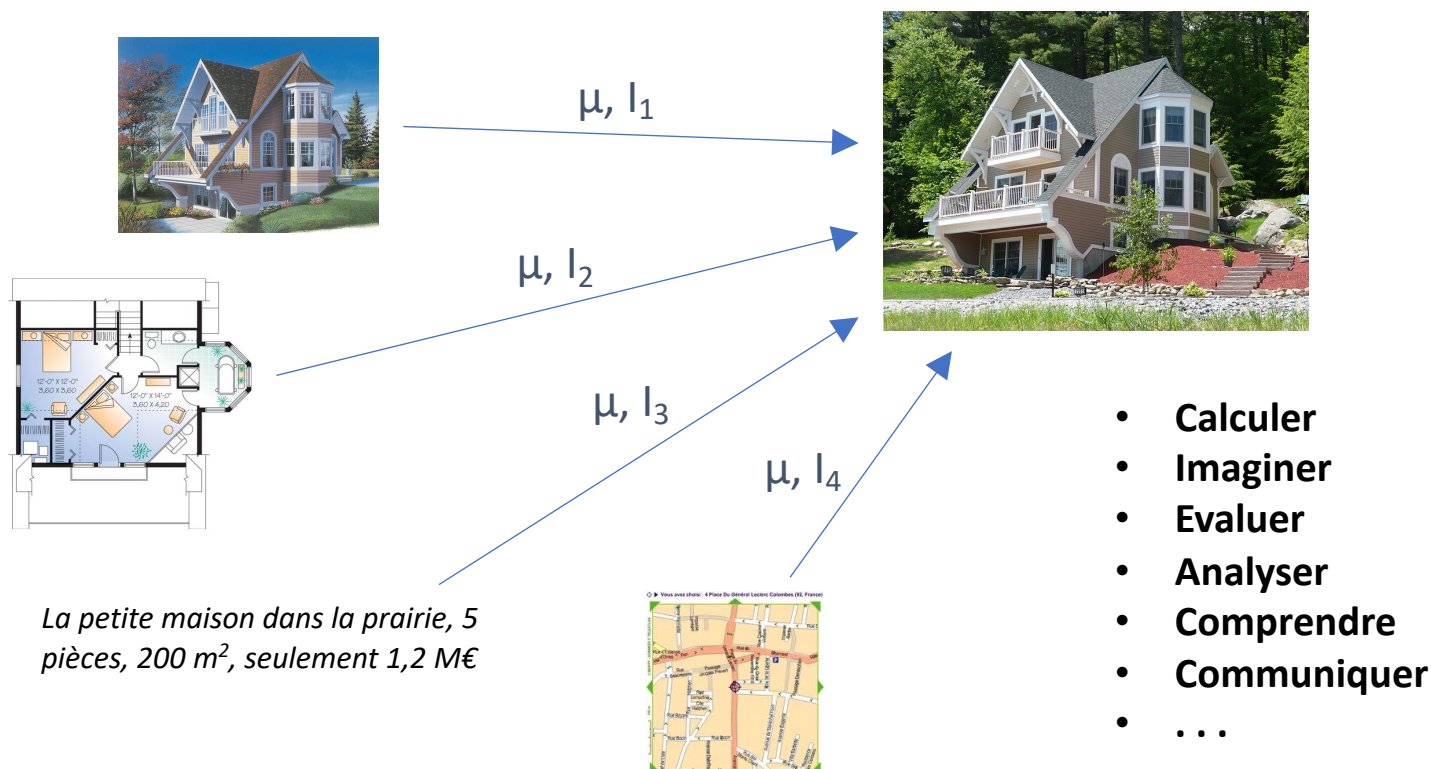
Invités

- Hans Vangheluwe, Université de Antwerp
- Dominique Blouin, Télécom Paris

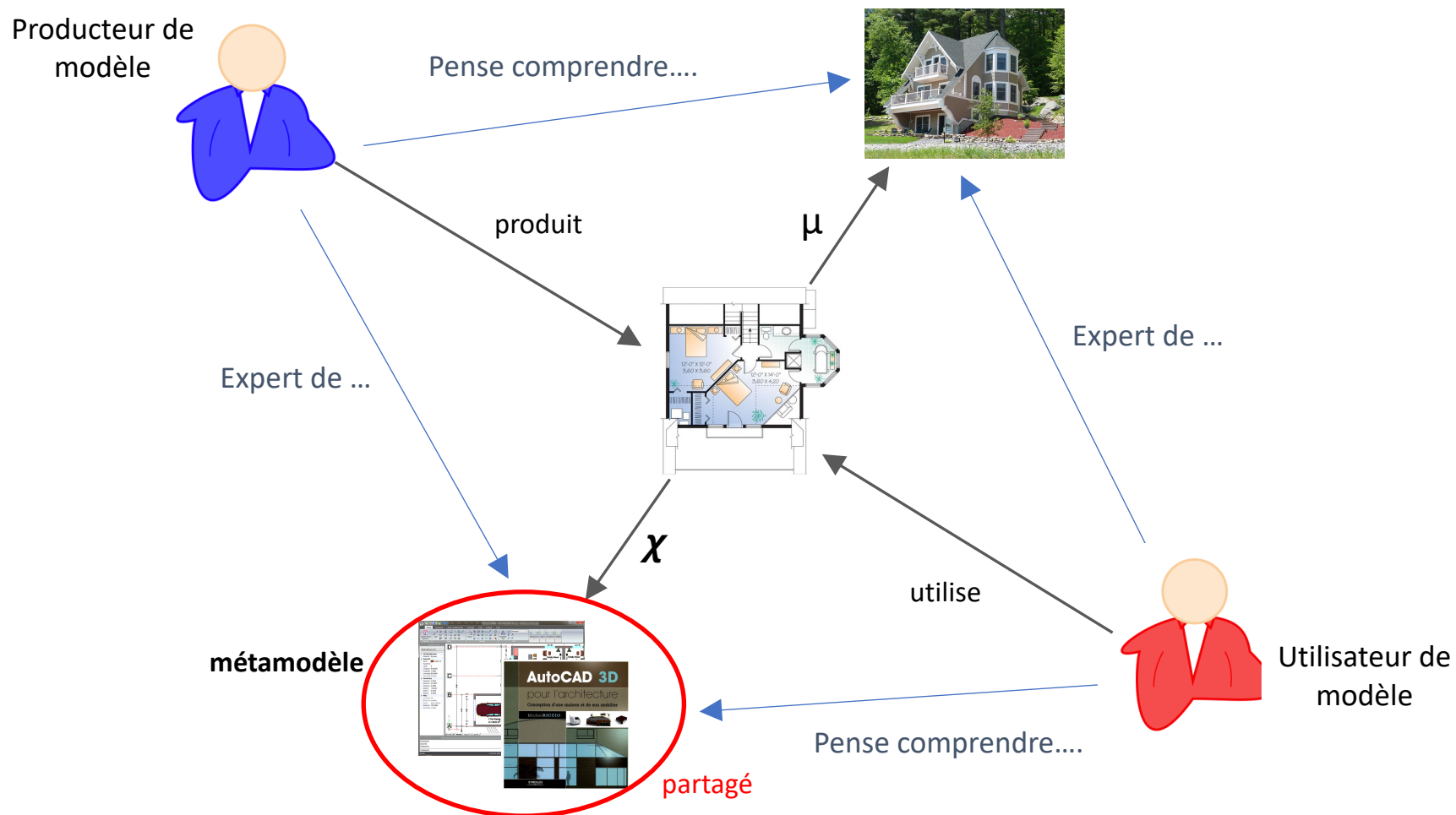


Notion de modèle

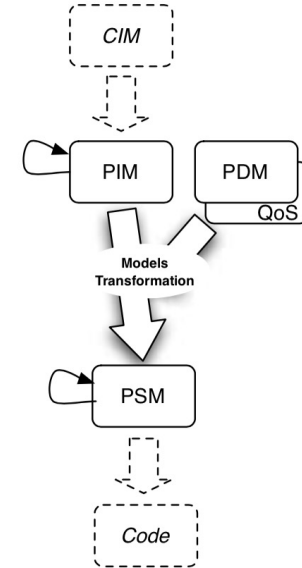
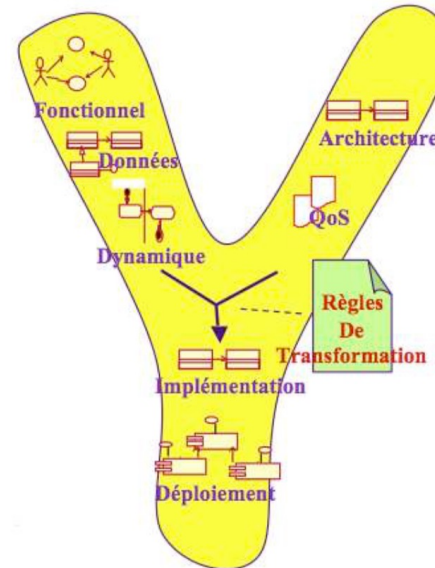
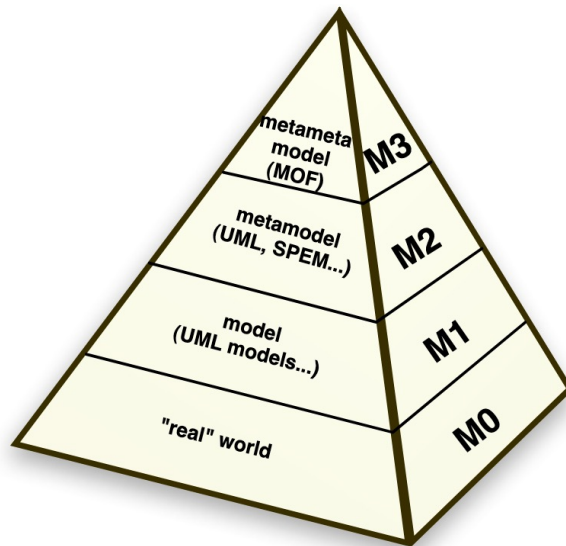
« Pour un observateur A, M est un modèle de l'objet O, si M aide A à répondre aux questions qu'il se pose sur O »



Modèles, Métamodèles, Outils...



- Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM)
- L'approche *Model Driven Architecture* (MDA)
- *Meta Object Facility* (MOF)
- Transformations de modèles
- *Model-Based System Engineering* (MBSE)

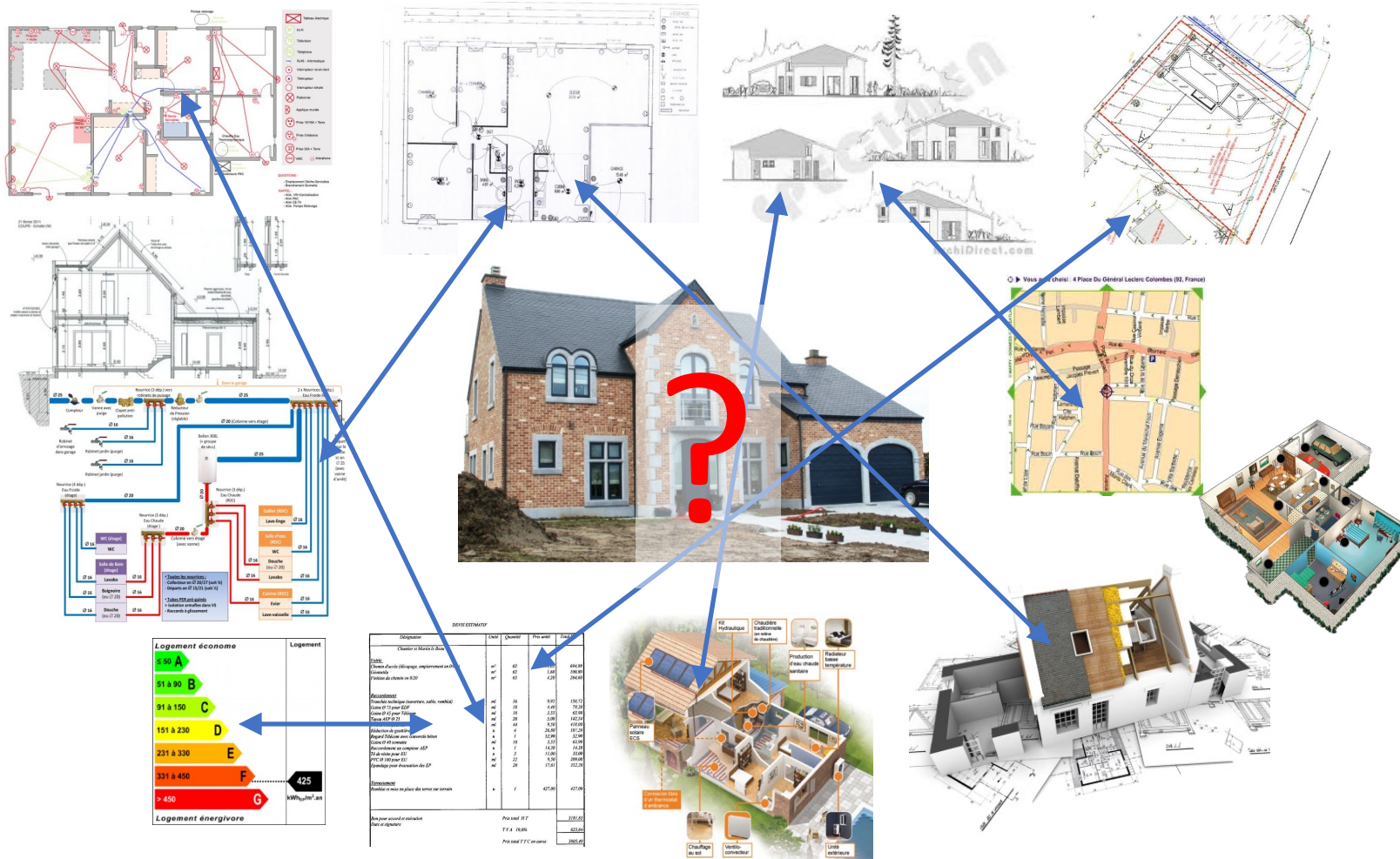


Tout est modèle !

(à condition de savoir comment l'interpréter)

- Ne pas ré-encoder ce qui l'est déjà
- « The most appropriate » : laisser l'utilisateur choisir l'outil ou le paradigme qui lui parle le plus
- Donner les moyens d'interpréter l'information, la donnée (localement, contextuellement)
- Notion d'espace technologique
 - Hétérogénéité technologique
 - Famille de métamodèles similaires (ex: MOF)
 - Communauté d'utilisateurs avec un savoir-faire partagé

De multiples modèles...



Logement économe	Logement
≤ 50 A	
51 à 90 B	
91 à 150 C	
151 à 230 D	
231 à 330 E	
331 à 450 F	425 kWh/m²/an
> 450 G	Logement énergivore

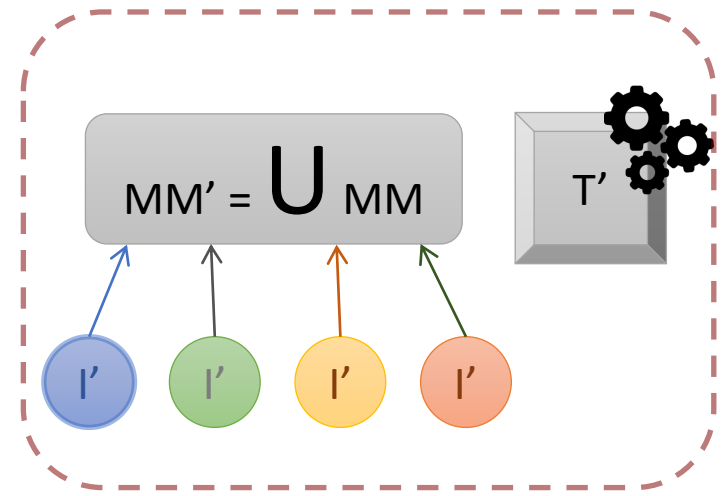
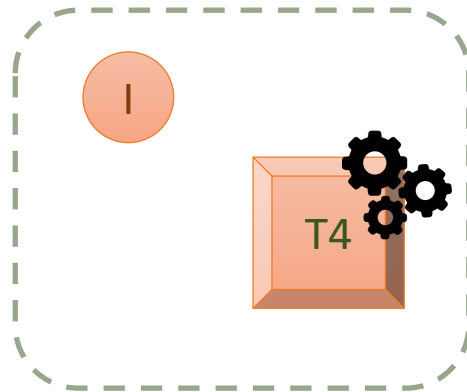
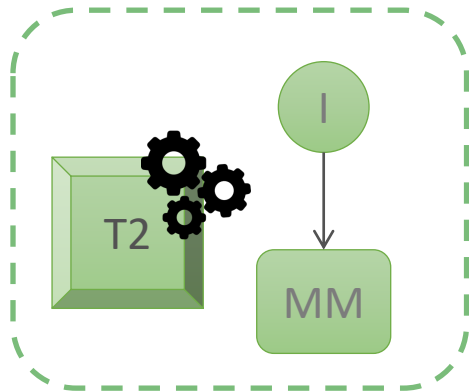
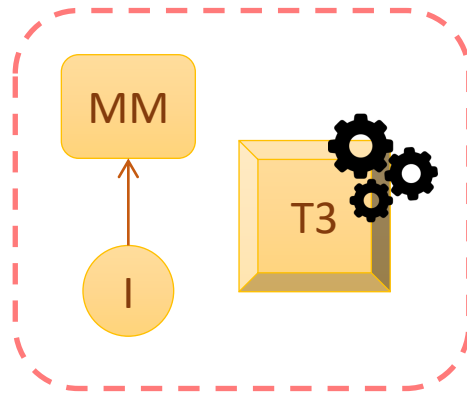
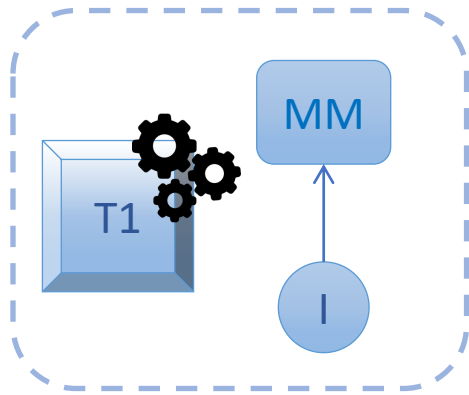
Désignation	Unité	Quantité	Prix unit.	Prix tot.
Châssis et Menuiseries				
Châssis	m²	100	444,01	44401
Menuiseries	m²	100	186,96	18696
Prestation de pose	m²	428	244,40	104583
Aménagement				
Travaux de plomberie (sanitaires, salle, lavabo)	m	36	830	29880
Travaux de peinture	m²	18	4401	79218
Travaux de plâtrerie	m²	1212	42,96	51982
Travaux de menuiserie	m	28	408	11424
Travaux de plomberie	m	44	8,20	3608
Travaux de peinture	m²	7	26,60	186,20
Travaux de plâtrerie	m²	11	2,20	24,20
Travaux de menuiserie	m	1	14,20	14,20
Travaux de plomberie	m	11	12,80	140,80
Travaux de peinture	m²	22	5,50	121,00
Travaux de plâtrerie	m²	11	7,14	78,54
Équipement				
Remise en état en plus de 100 m² de travaux	m²	1	427,84	427,84
Prix total HT				
2102,81				
T.F.A. 10,00%				
2313,09				
Prix total TTC au mètre				
560,62				

Interopérabilité sémantique

Beaucoup d'experts, beaucoup de préoccupations, beaucoup de pratiques, beaucoup de formalismes, beaucoup de modèles.

Comment réconcilier tous ces points de vue ?
Comment connecter tous ces « modèles » ?

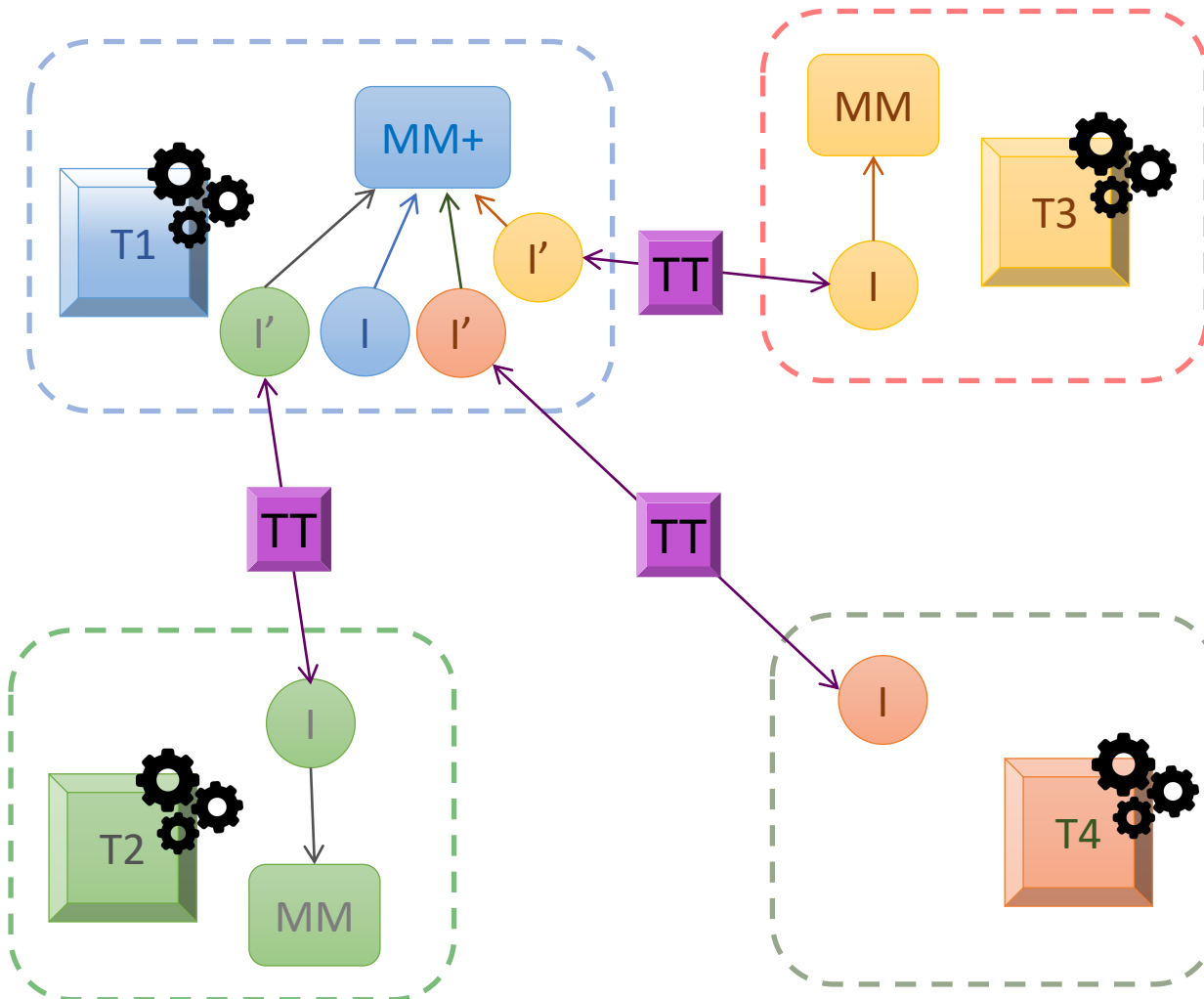
Approche « intégration »



On construit un métamodèle union de tous les métamodèles utilisés.

On développe un nouvel outil T'

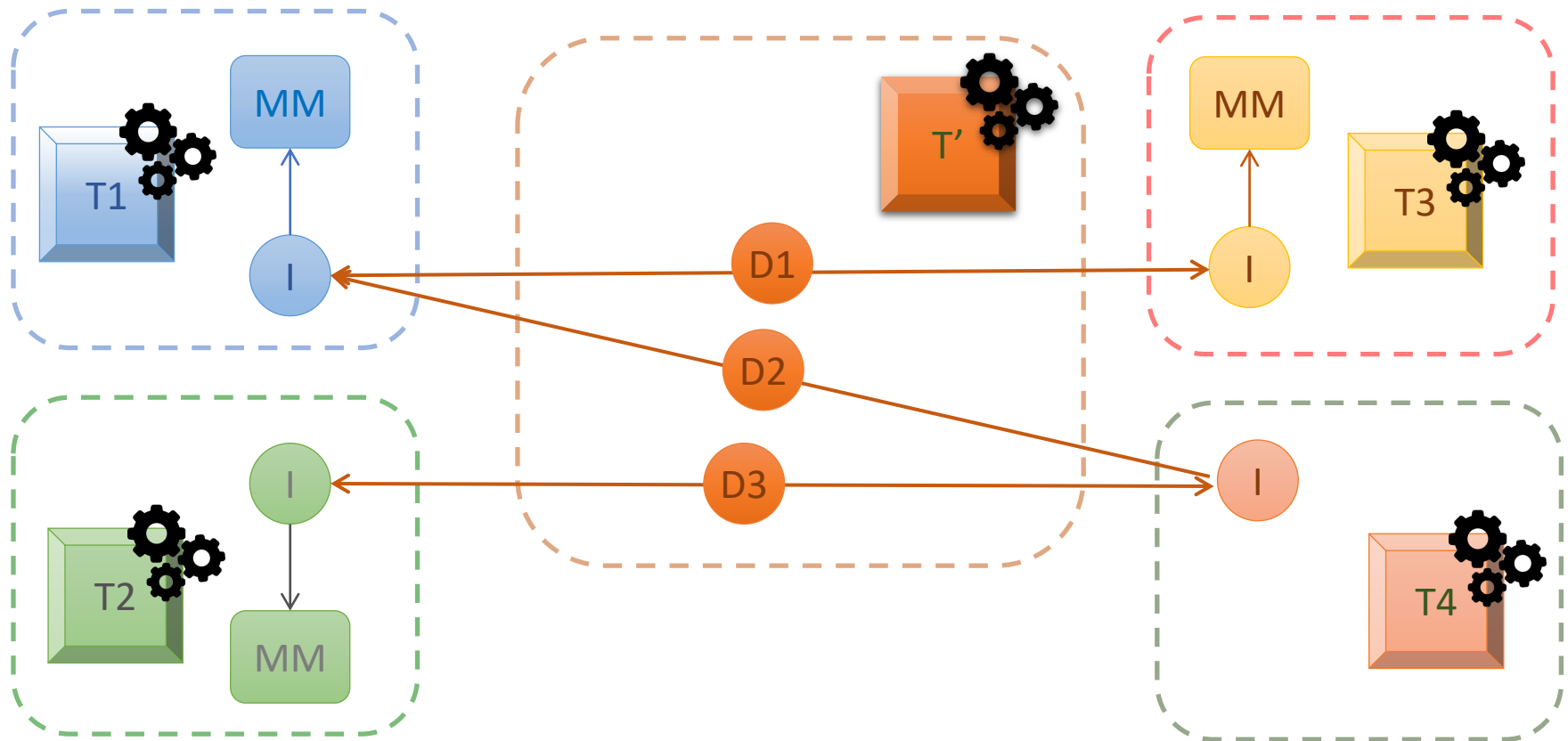
Approche « unification »



On choisit un métamodèle qui devient le métamodèle pivot.

On construit des transformations qui permettent de synchroniser les modèles entre eux.

Approche « fédérative »

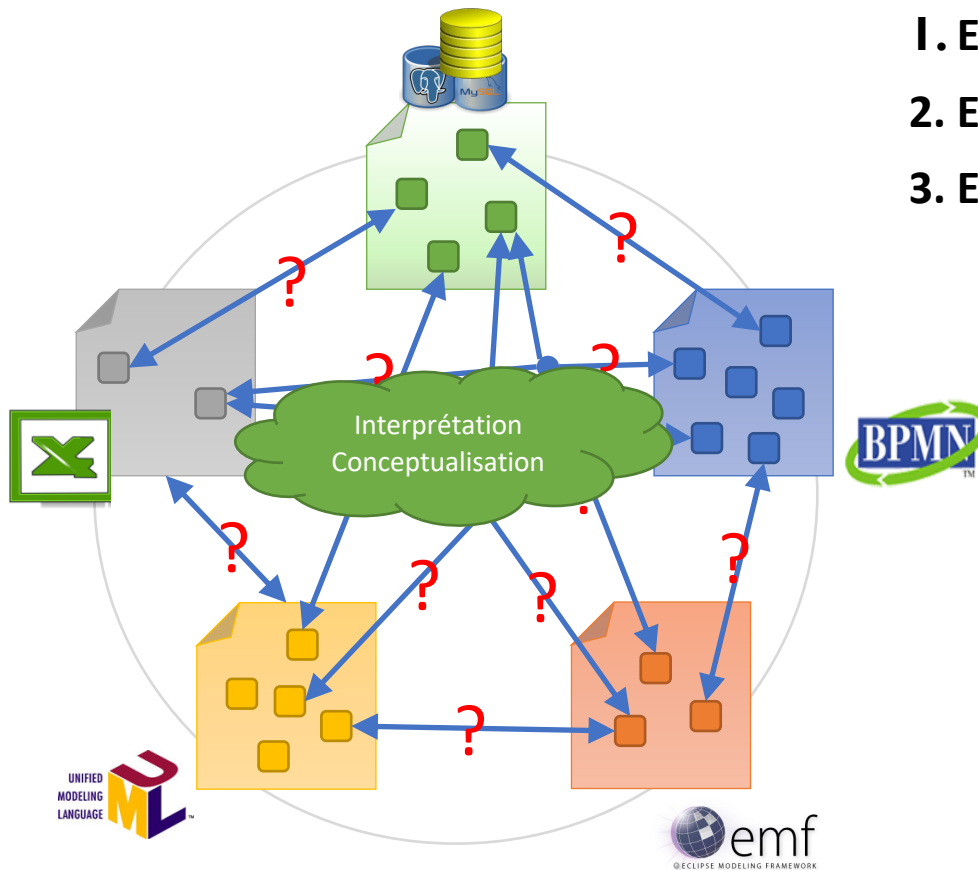


On identifie et on réifie les relations (dépendances).

On construit un outillage dédié.

Problématique de recherche

1. Enjeu E1 : hétérogénéité de la donnée
2. Enjeu E2 : (ré-)interpréter la donnée
3. Enjeu E3 : des modèles « vivants » !



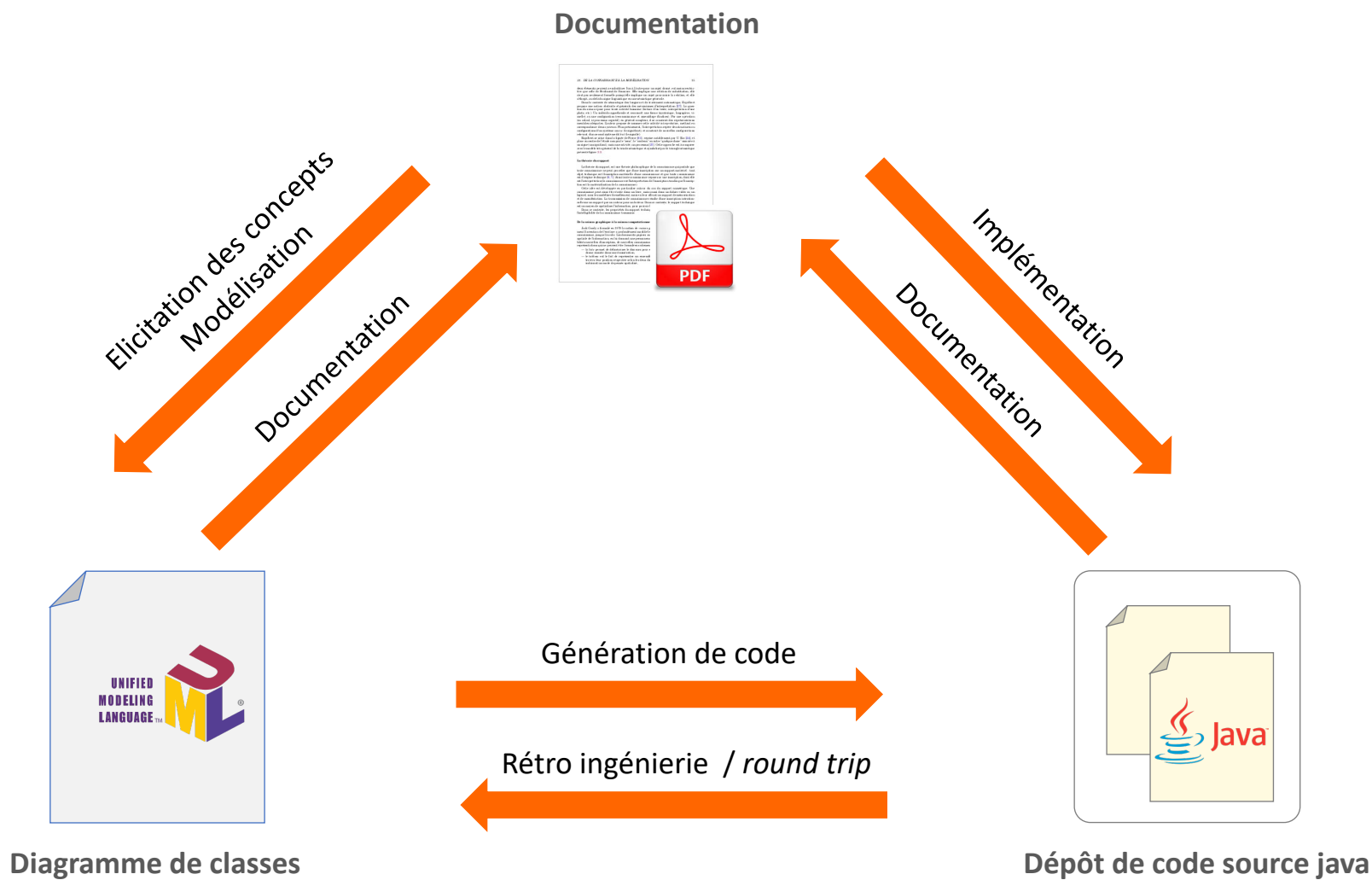
Contraintes et exigences supplémentaires

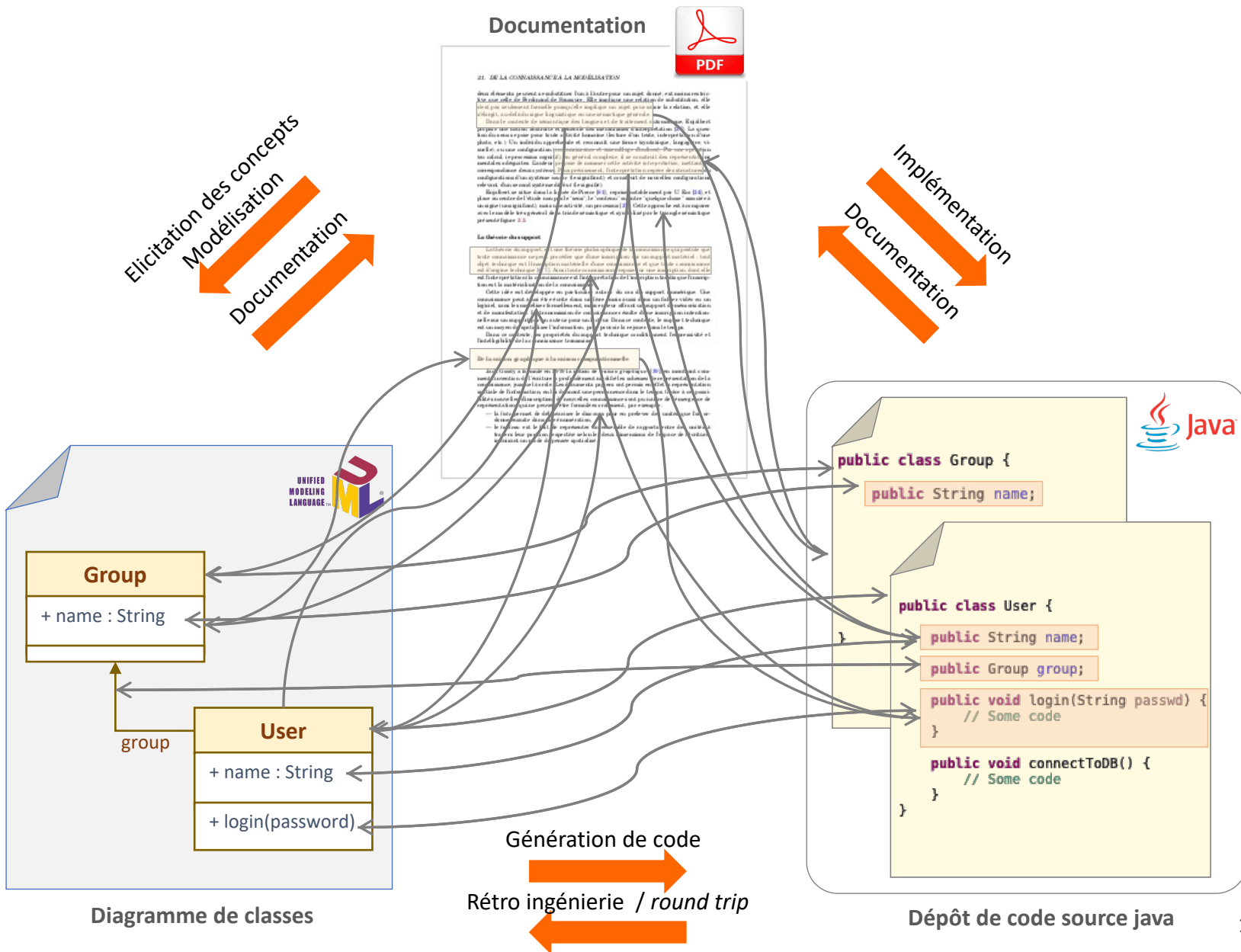
- C1. Autonomie du cycle de vie des sources d'information fédérées
- C2. Connectivité intermittente
- C3. Non intrusivité
- C4. Gestion de la source de vérité

Sommaire et contributions

1. Introduction et problématique de recherche
2. Fédération de modèles
3. Le langage FML (Federation Modelling Language)
4. Openflexo : une usine à logiciels
5. Utilisation et enseignements de la fédération
6. Conclusions et perspectives

1. Introduction et problématique de recherche
- 2. Fédération de modèles**
3. Le langage FML (Federation Modelling Language)
4. Openflexo : une usine à logiciels
5. Utilisation et enseignements de la fédération
6. Conclusions et perspectives





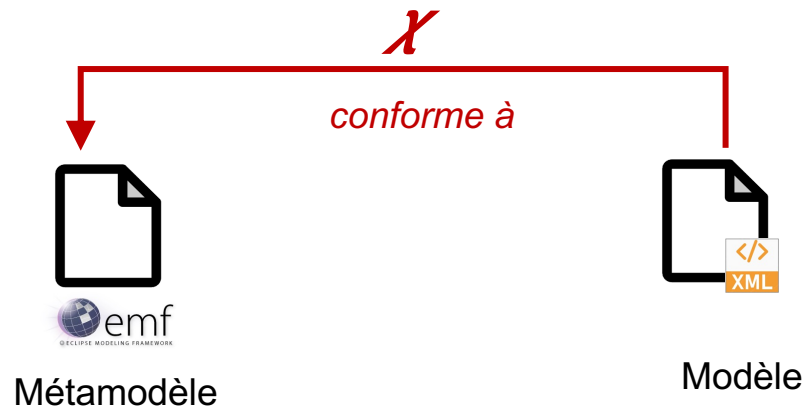
D'autres situations de modélisation...

- Construction de modèles

E1 : hétérogénéité

E2 : interprétation

E3 : dynamique



C1 autonomie cycle de vie

C2 connectivité intermittente

C3 non intrusivité

C4 source de vérité

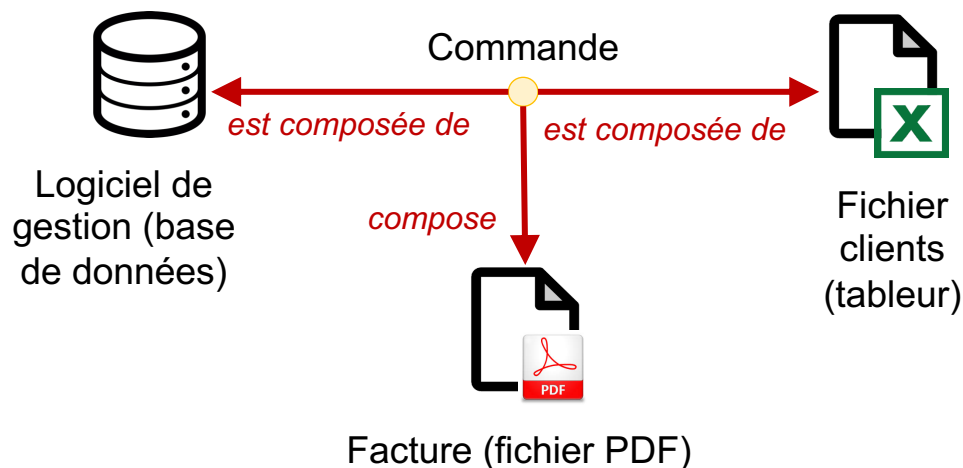
D'autres situations de modélisation...

- Construction de modèles
- Composition de modèles

E1 : hétérogénéité

E2 : interprétation

E3 : dynamique



C1 autonomie cycle de vie

C2 connectivité intermittente

C3 non intrusivité

C4 source de vérité

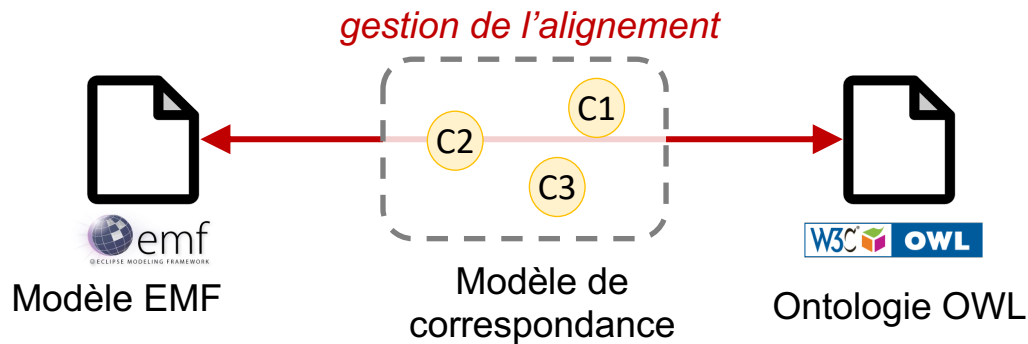
D'autres situations de modélisation...

- Construction de modèles
- Composition de modèles
- Mise en correspondance de modèles

E1 : hétérogénéité

E2 : interprétation

E3 : dynamique



C1 autonomie cycle de vie

C2 connectivité intermittente

C3 non intrusivité

C4 source de vérité

D'autres situations de modélisation...

- Construction de modèles
- Composition de modèles
- Mise en correspondance de modèles
- Edition de modèles

E1 : hétérogénéité

E2 : interprétation

E3 : dynamique



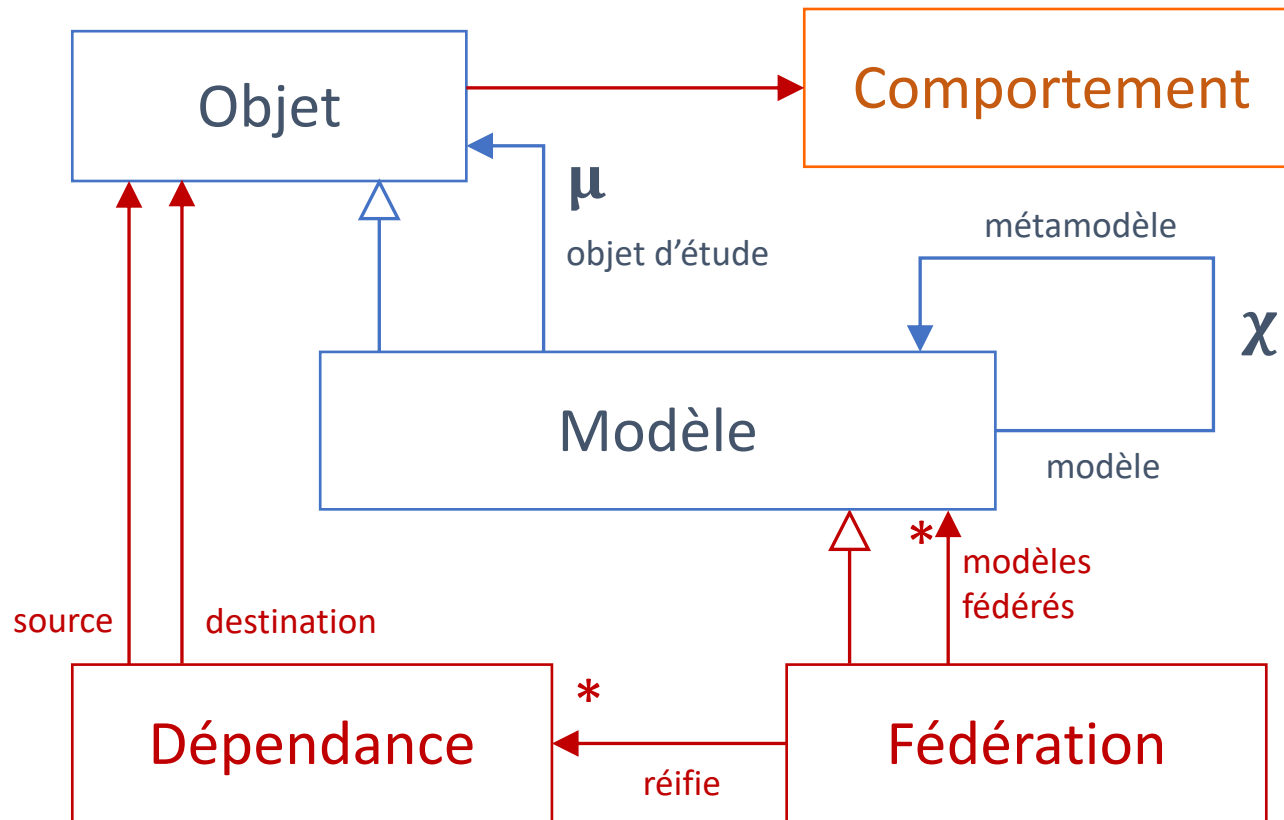
C1 autonomie cycle de vie

C2 connectivité intermittente

C3 non intrusivité

C4 source de vérité

Fédération de modèles : une approche conceptuelle



Les approches multi-modèles

(Global) Model Management

Model Mapping

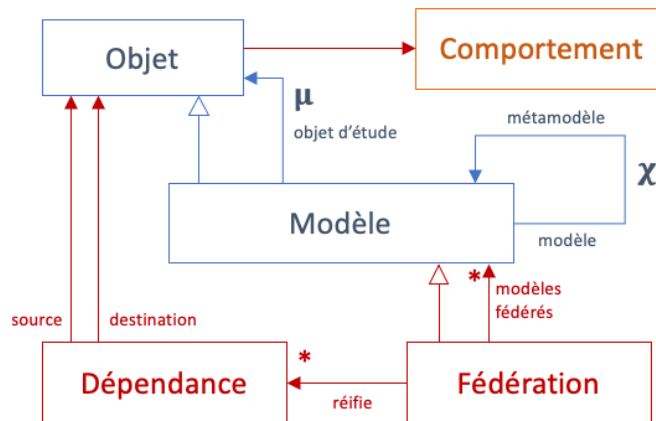
Inter-modelling

Model Synchronization

(Hierarchical) Megamodels

Model Federation

Model Alignment

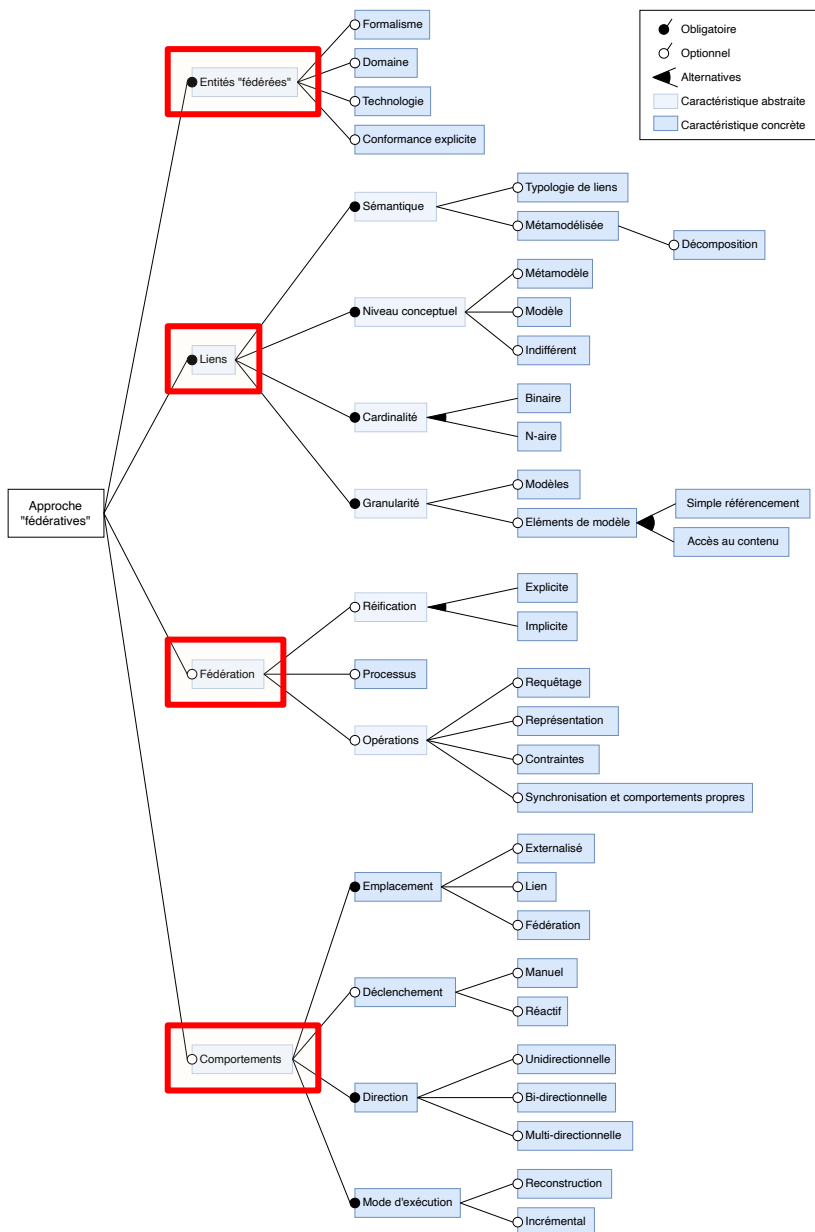


Model Globalization

Multi-view / viewpoint Modelling

(Bi-directional) Transformations

Multi-Paradigm Modelling



Entités fédérées

E1 : hétérogénéité

- Hétérogénéité des technologies
- Notion d'espace technologique et d'adaptateur technologique

Liens

E2 : interprétation

- Réification plus ou moins explicite
- Cardinalité (binaires / n-aires)
- Granularité
- Typologie / métamodélisation

Comportements

E3 : dynamicité

- Emplacement
- Direction
- Déclenchement
- Mode d'exécution

C1 autonomie cycle de vie

C2 connectivité intermittente

Fédération

C4 source de vérité

- Réification
- Opérations, outillage

1. Introduction et problématique de recherche
2. Fédération de modèles
- 3. Le langage FML (Federation Modelling Language)**
4. Openflexo : une usine à logiciels
5. Utilisation et enseignements de la fédération
6. Conclusions et perspectives

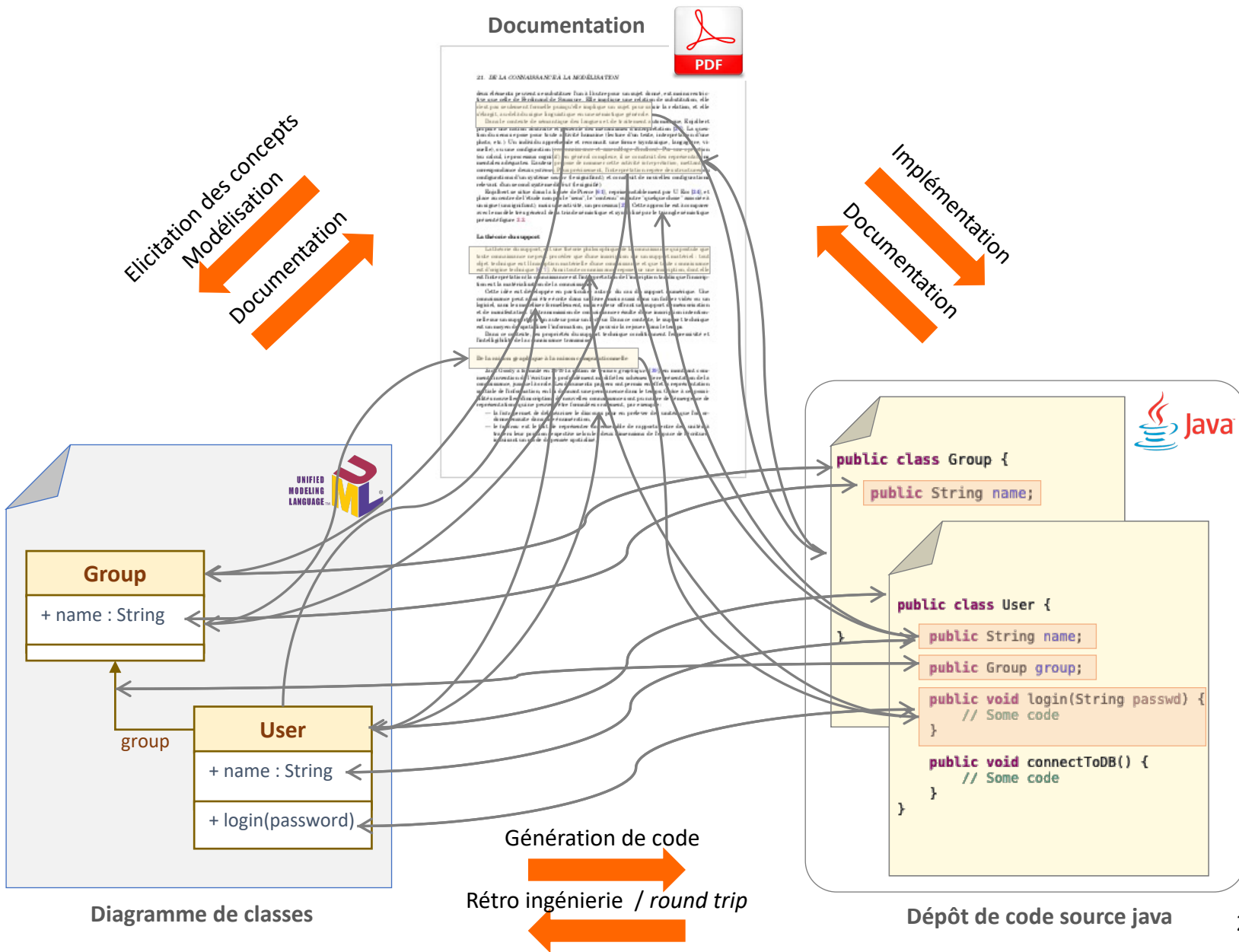
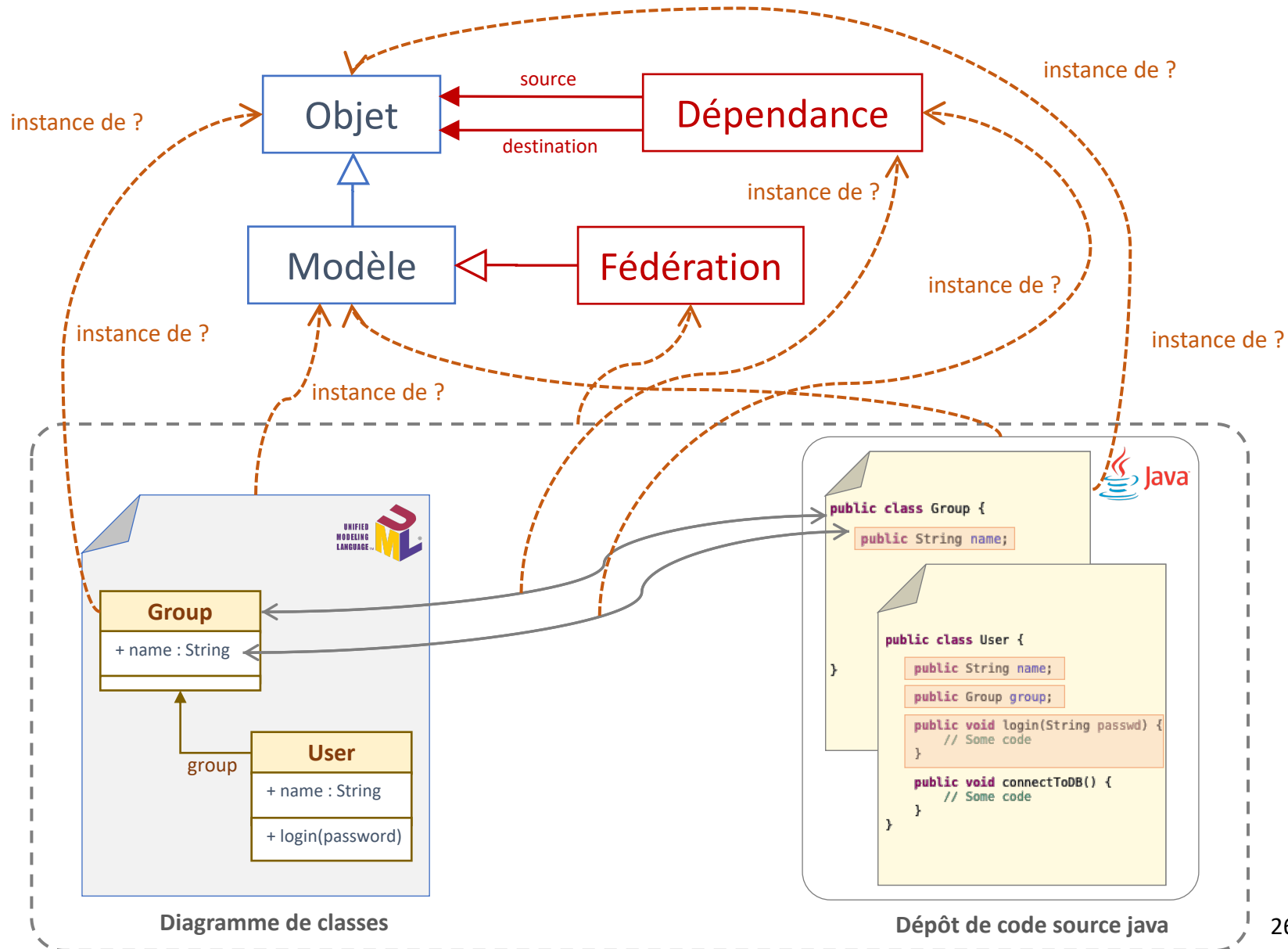


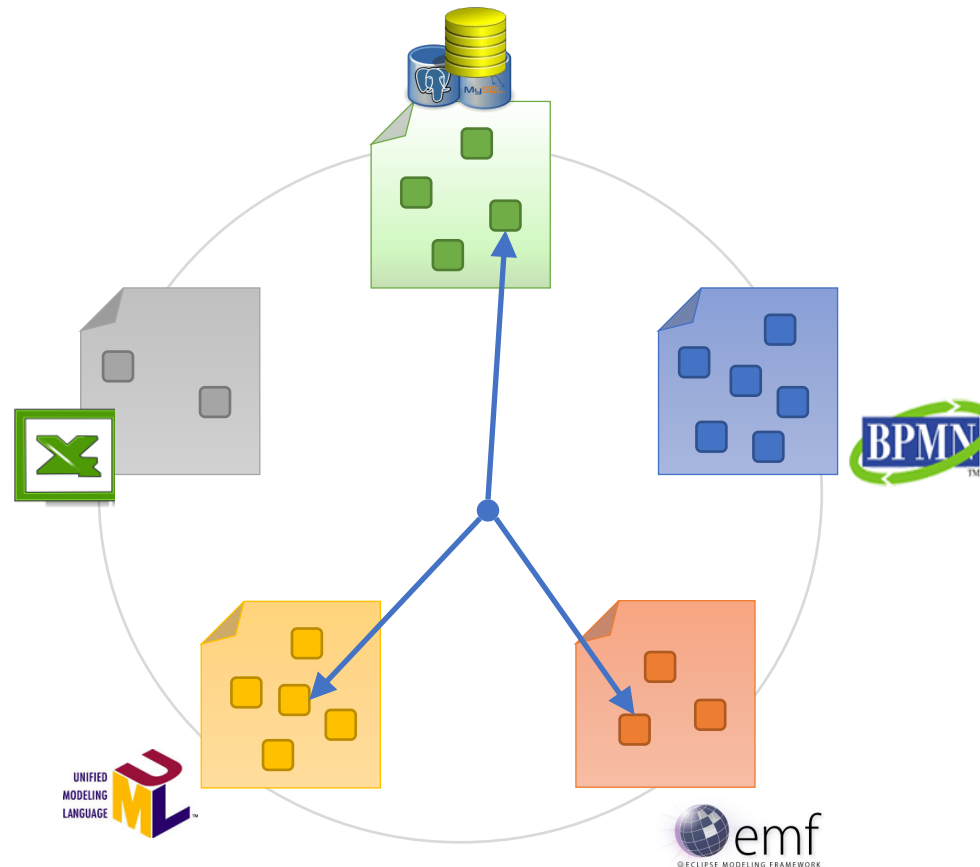
Diagramme de classes

Génération de code
Rétro ingénierie / round trip

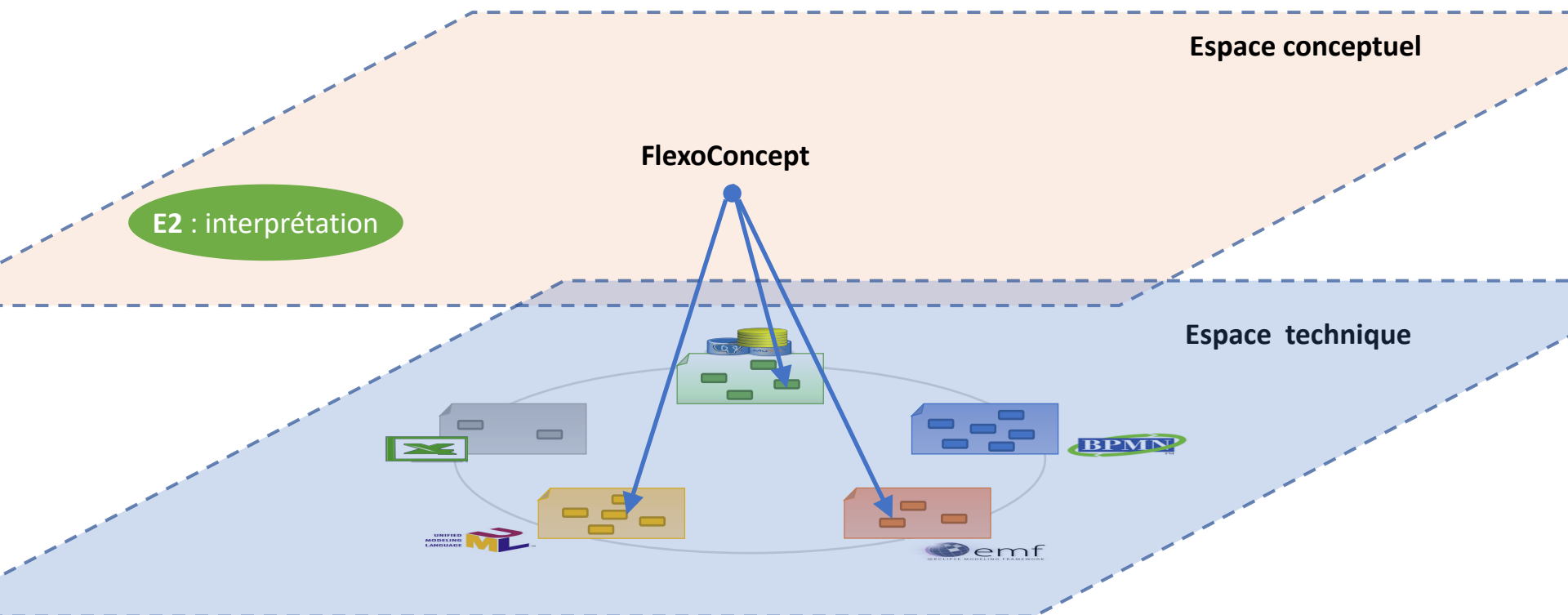
Dépôt de code source java



Principes et choix de conception pour FML

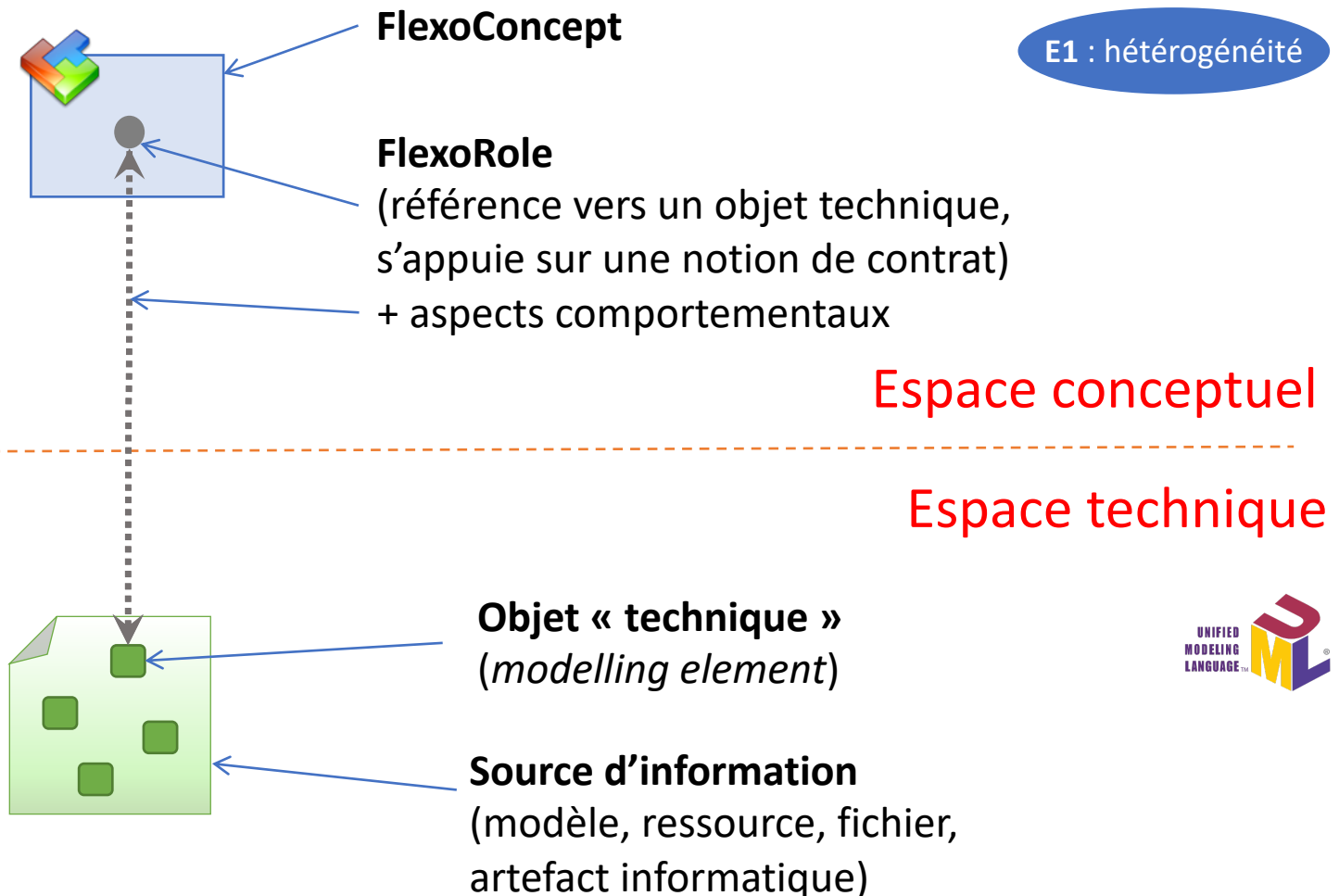


Partition de l'espace de modélisation

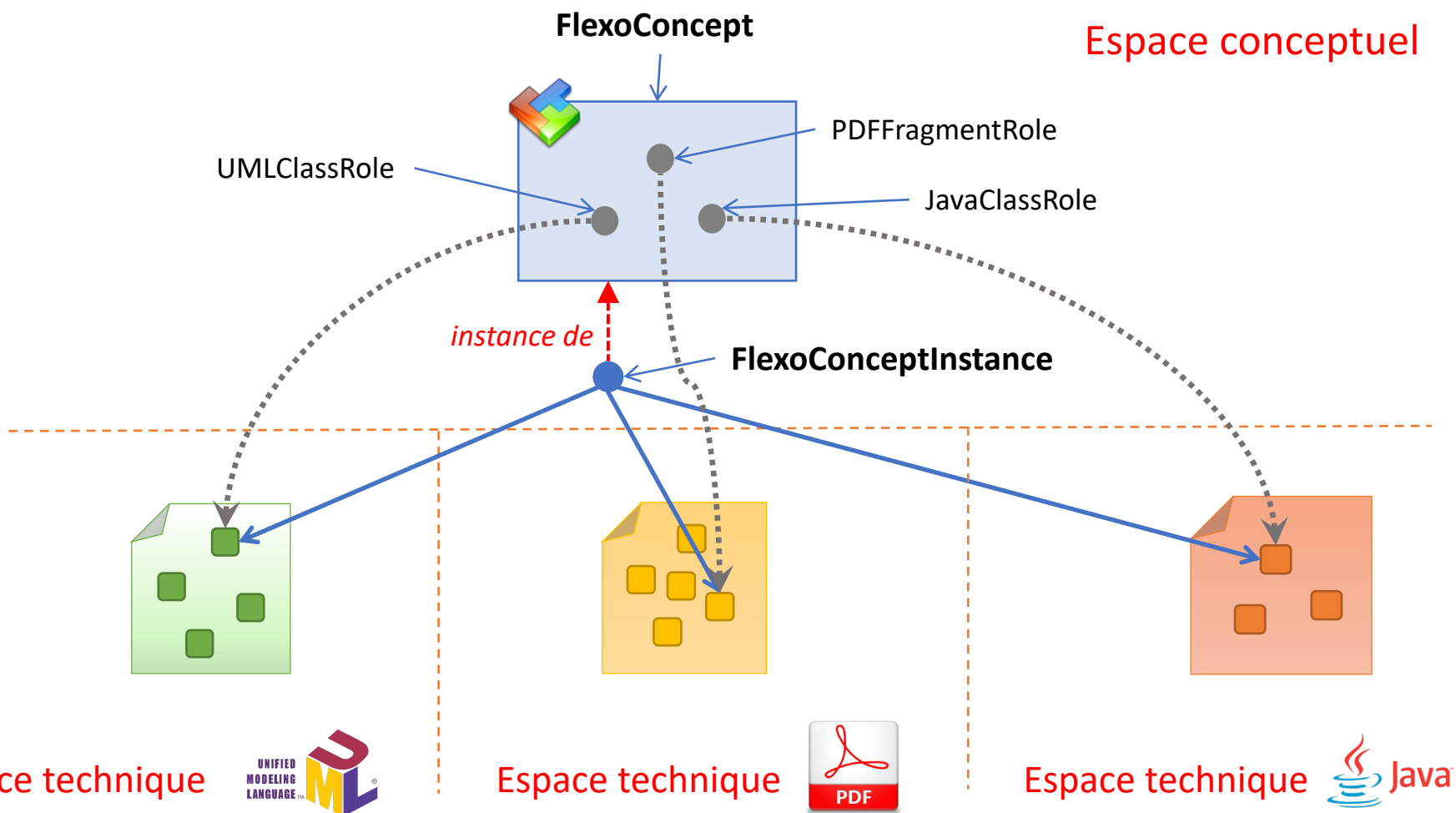


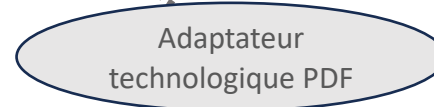
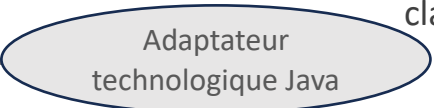
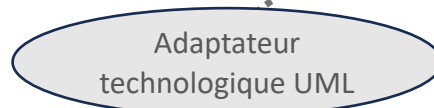
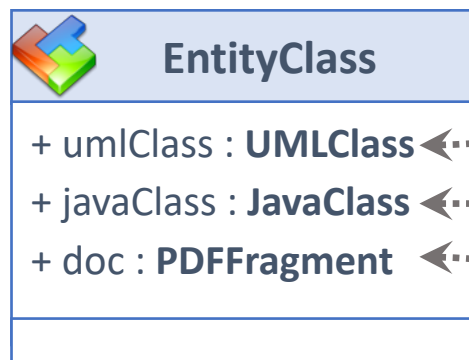
- **Espace conceptuel** : porte la sémantique contextuelle
- **Espace technique** : héberge les modèles fédérés

Mécanisme de désignation

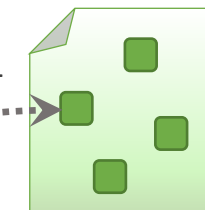


Structuration de l'espace conceptuel



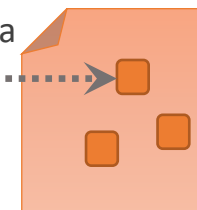


classe UML



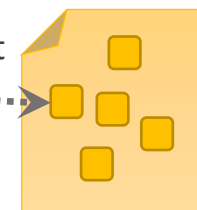
Code source Java

classe Java



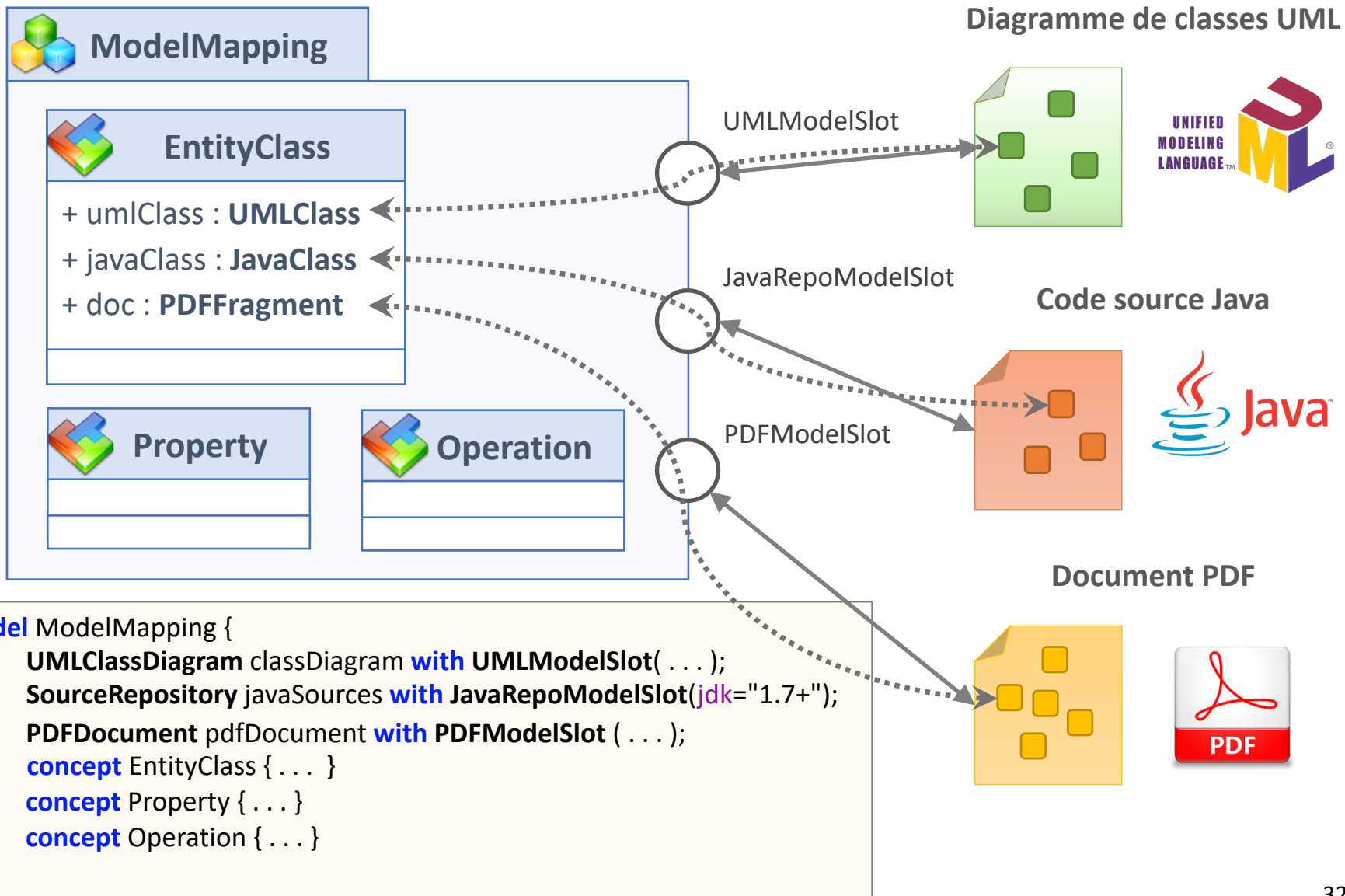
Document PDF

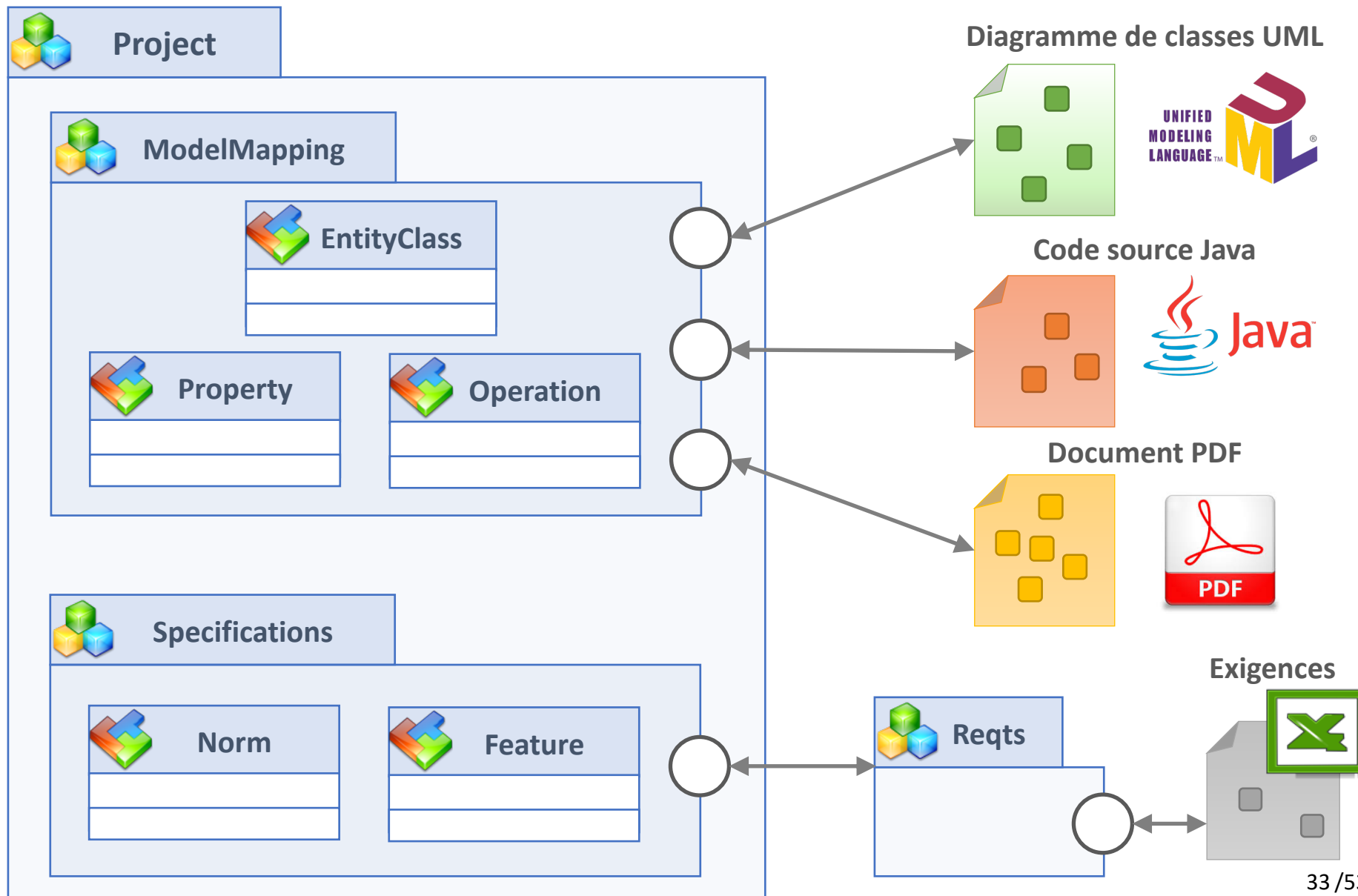
fragment



```

concept EntityClass {
    UMLClass umlClass with UMLClassRole(container=classDiagram);
    JavaClass javaClass with JavaClassRole(container=javaSources);
    PDFFragment doc with PDFFragmentRole(document=pdfDocument);
    ...
}
    
```





Aspects comportementaux

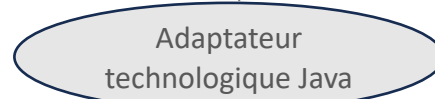
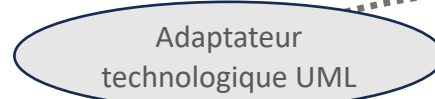
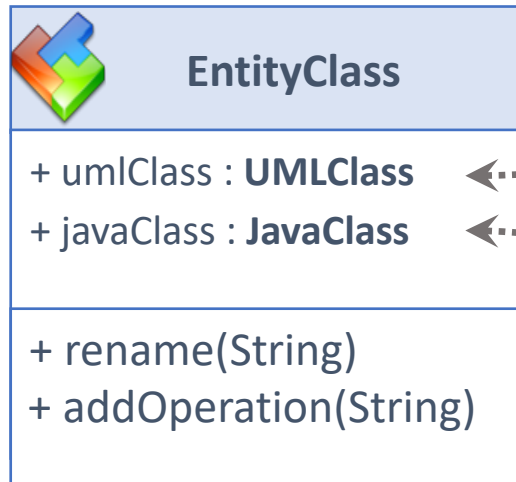
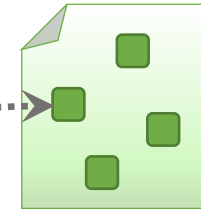
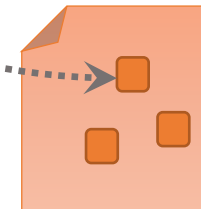


Diagramme de classes UML



Code source Java



```

concept EntityClass {
  ...
  rename (String newName) {
    UML::SetUMLClassName(newName) in umlClass;
    JAVA::RenameFileName(newName) in javaClass;
  }
}
  
```

E3 : dynamicité

Aspects comportementaux

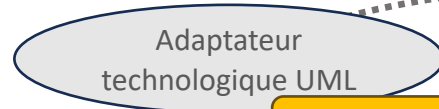
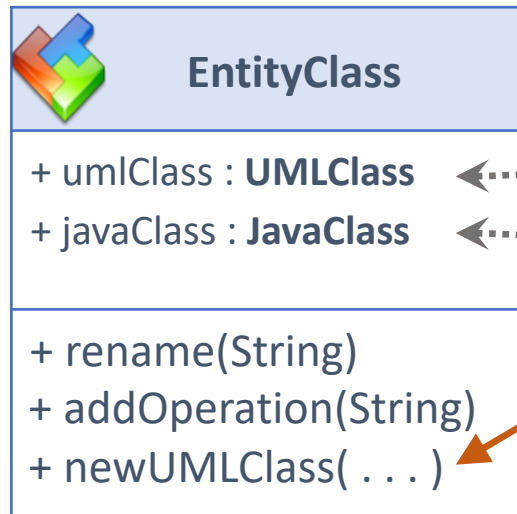
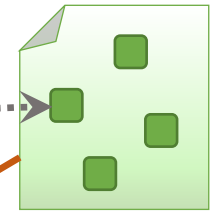
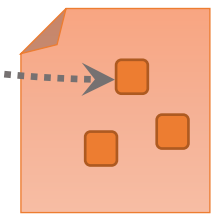


Diagramme de classes UML

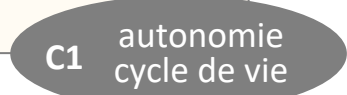


Code source Java



```

concept EntityClass {
  ...
  newUMLClass (UMLClass newClass)
    with ListenClassAdded(observed=classDiagram) {
    ...
  }
}
  
```



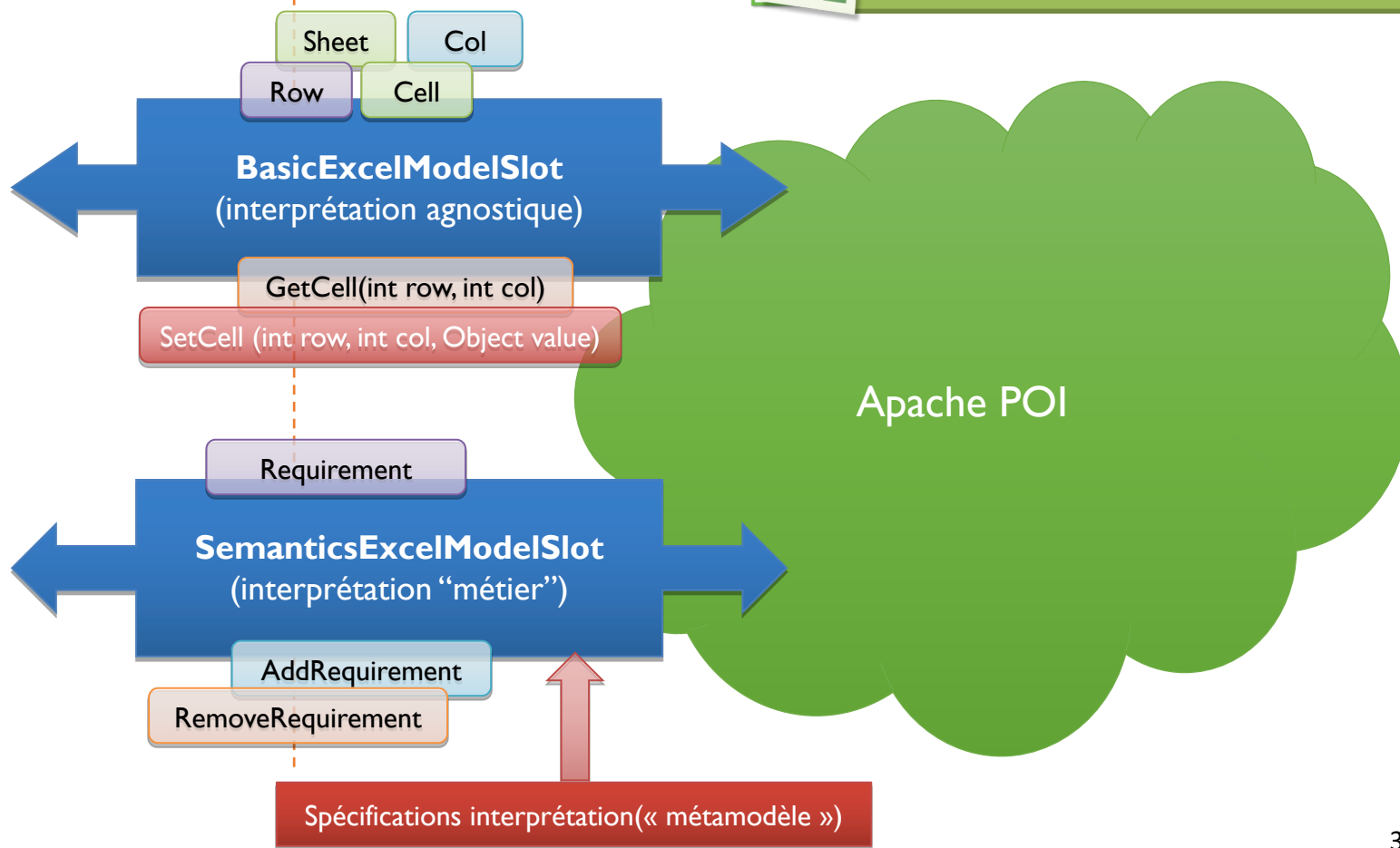
E1 : hétérogénéité

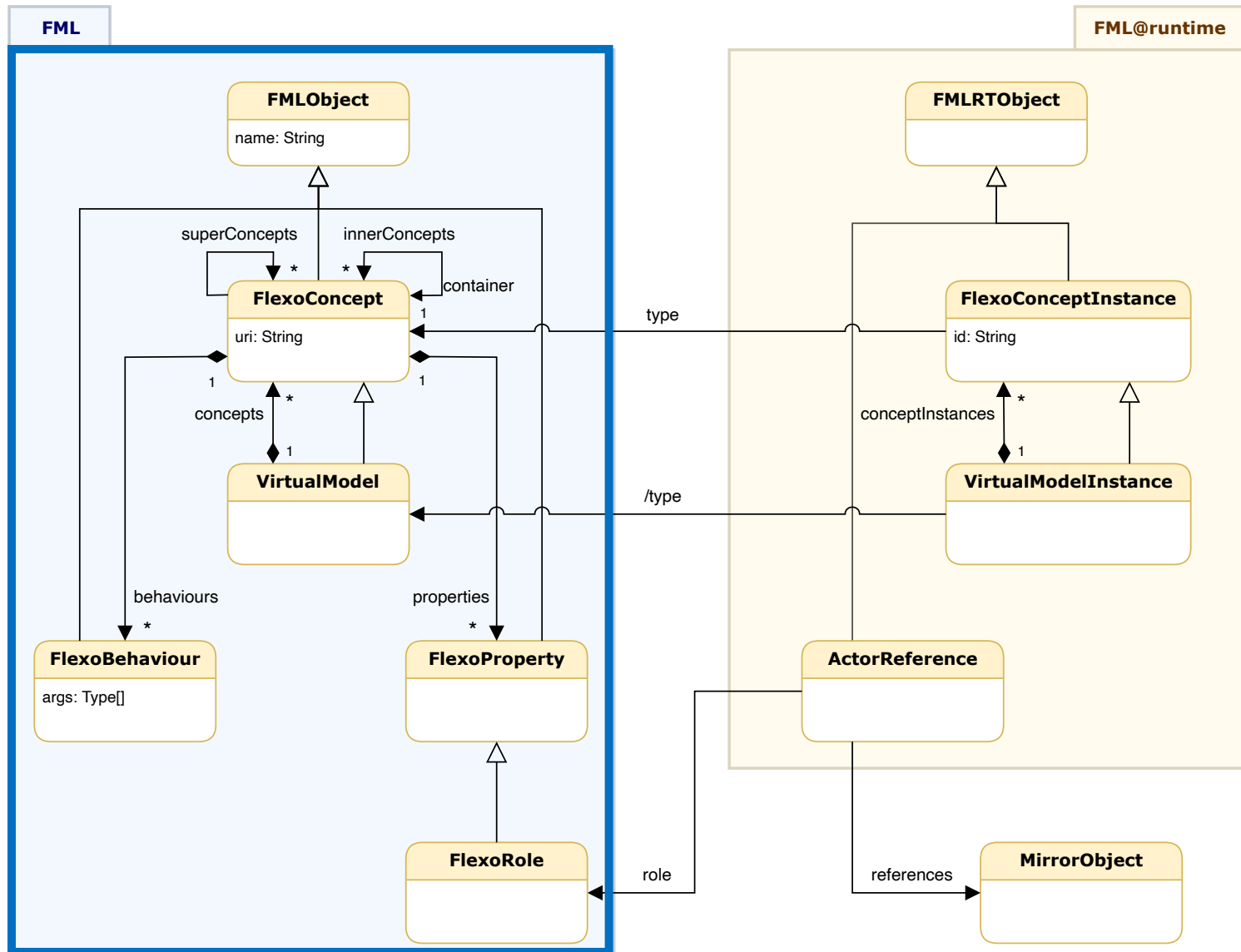
Espace conceptuel

Espace technique

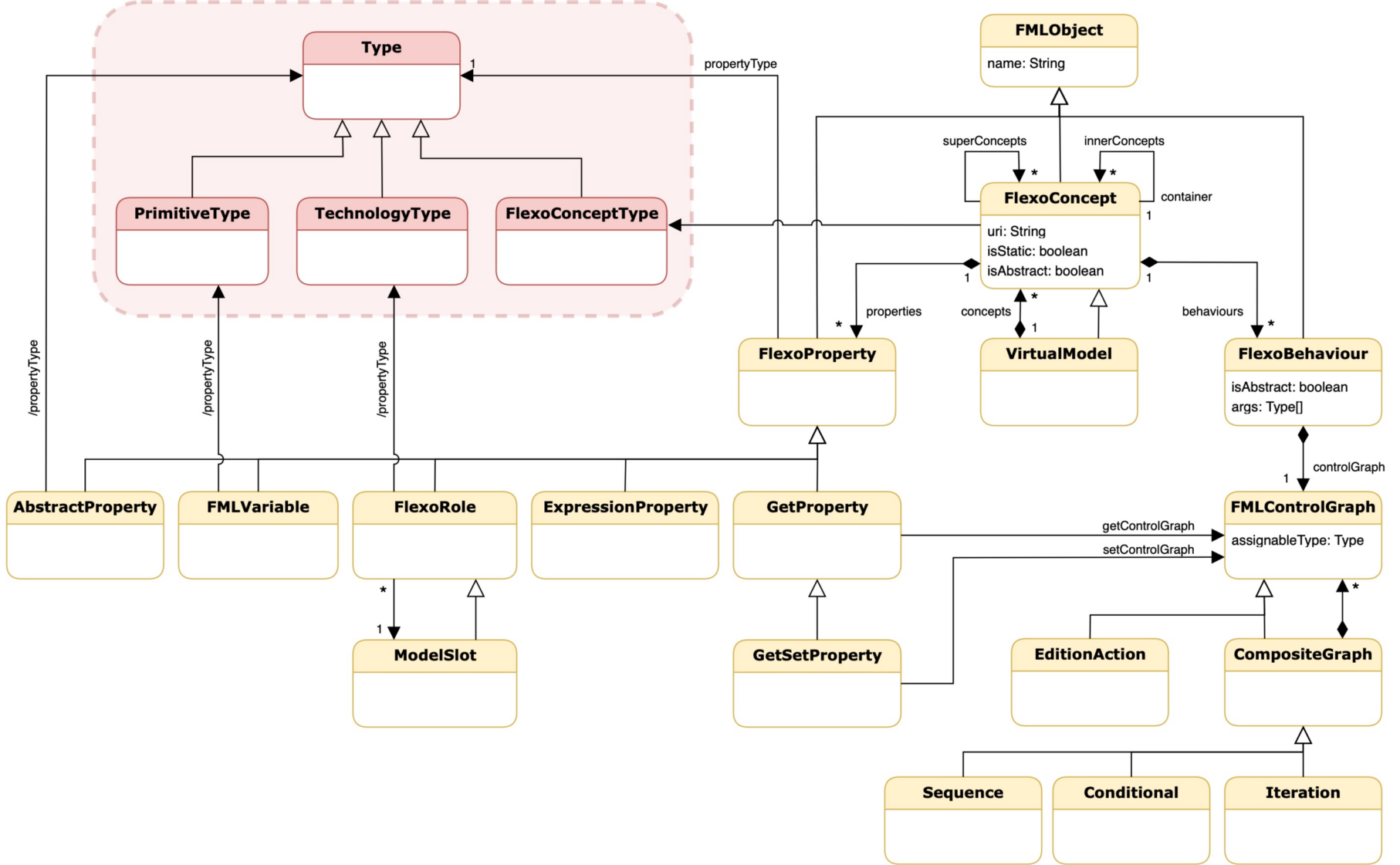


Adaptateur technologique Excel





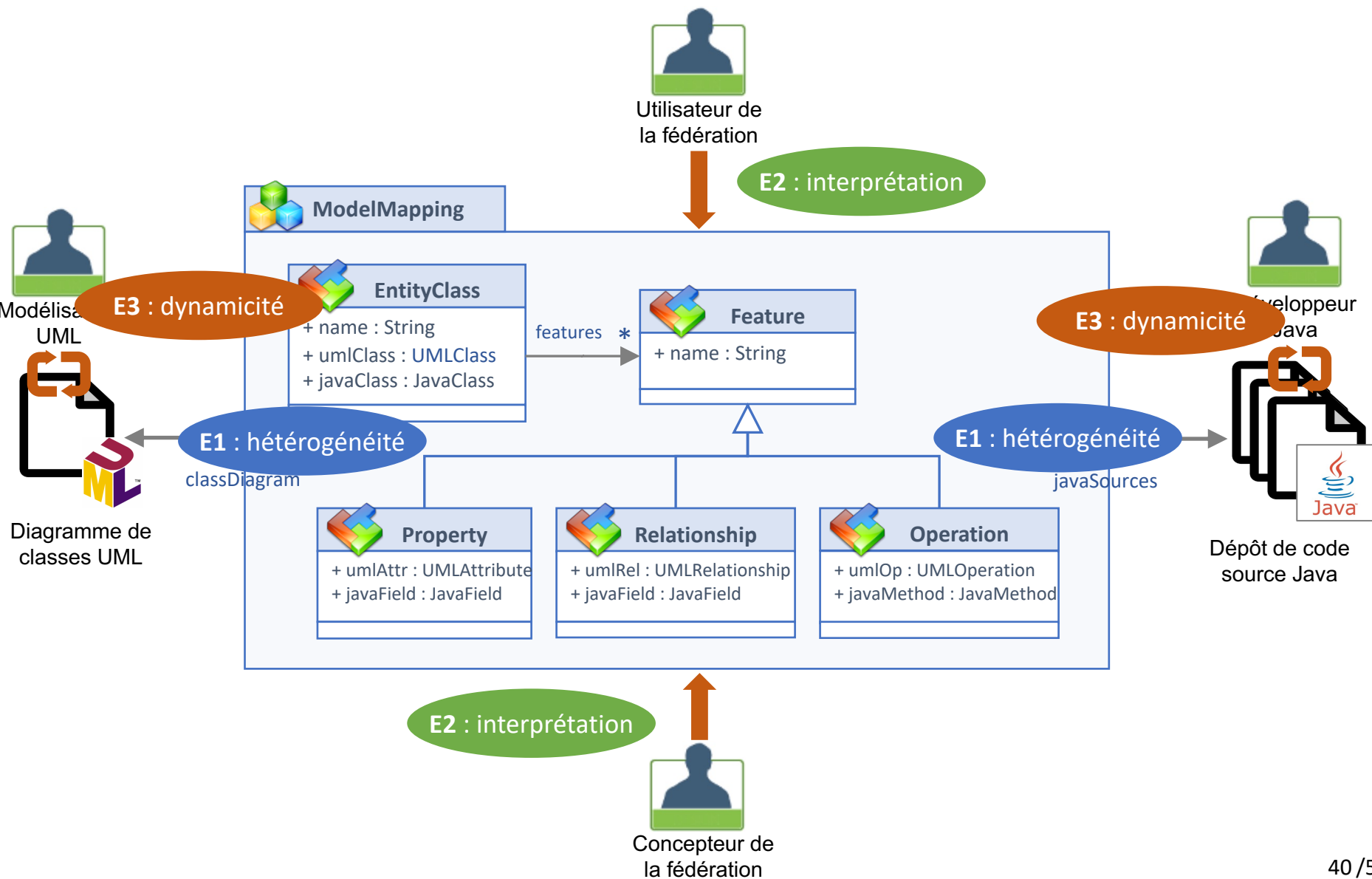
Typing Space



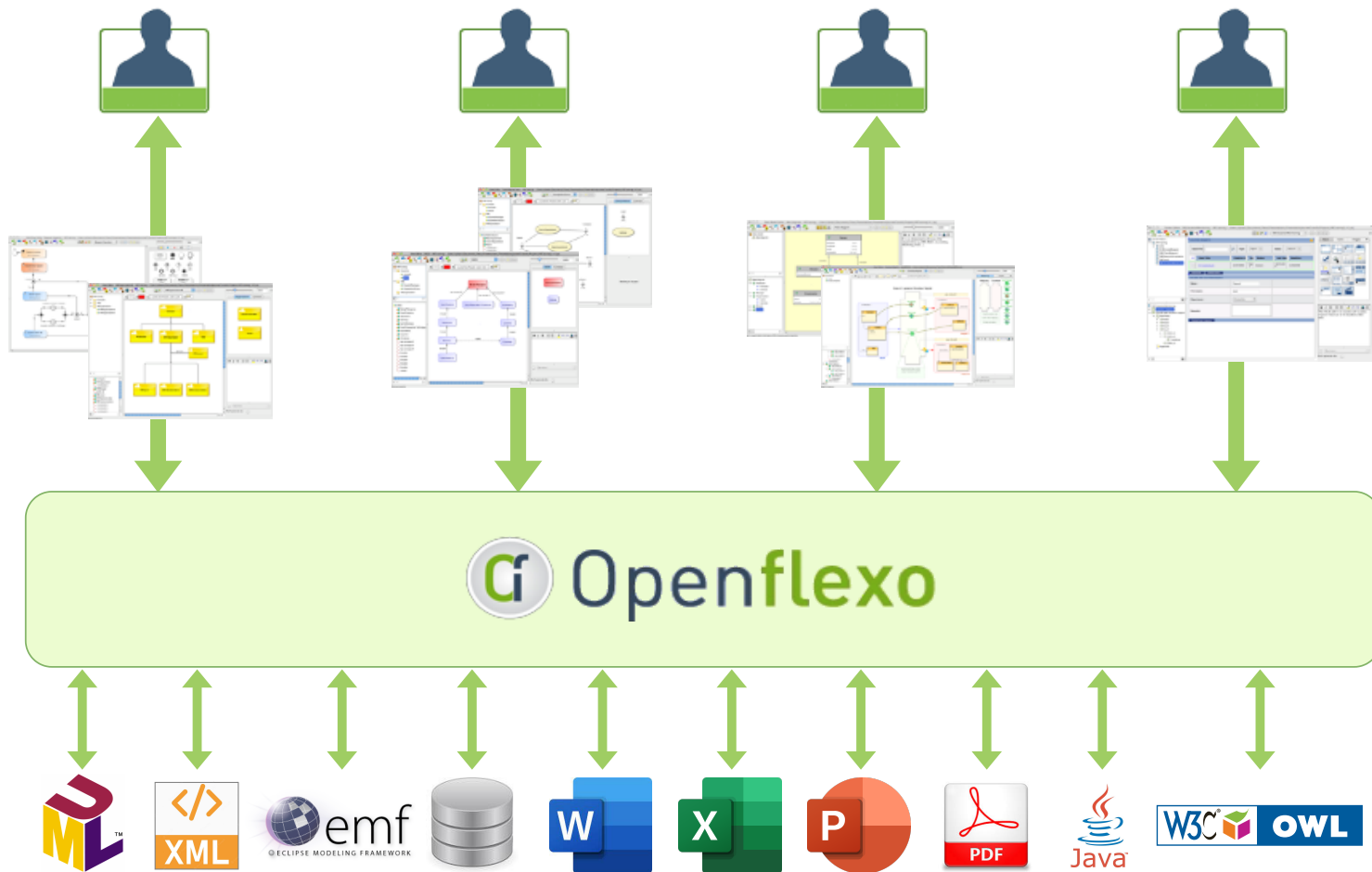
Le langage FML

- Partition de l'espace de modélisation
- Mécanisme de désignation, adaptateur technologique
- Structuration de l'espace conceptuel
 - FlexoConcept / VirtualModel : structure + comportement
 - Approche orientée objet
 - Partition types/instances (instanciation ontologique)
 - Abstraction, généricité, modularité, composabilité
- Langage interprété
- Langage impératif (structures de contrôle)
- Typage statique et typage fort, système de types composé
- Langage d'expression FML/Connie
- Multiples syntaxes concrètes (textuelle et graphiques)

E1 : hétérogénéitéE2 : interprétationE3 : dynamicité



1. Introduction et problématique de recherche
2. Fédération de modèles
3. Le langage FML (Federation Modelling Language)
- 4. Openflexo : une usine à logiciels**
5. Utilisation et enseignements de la fédération
6. Conclusions et perspectives

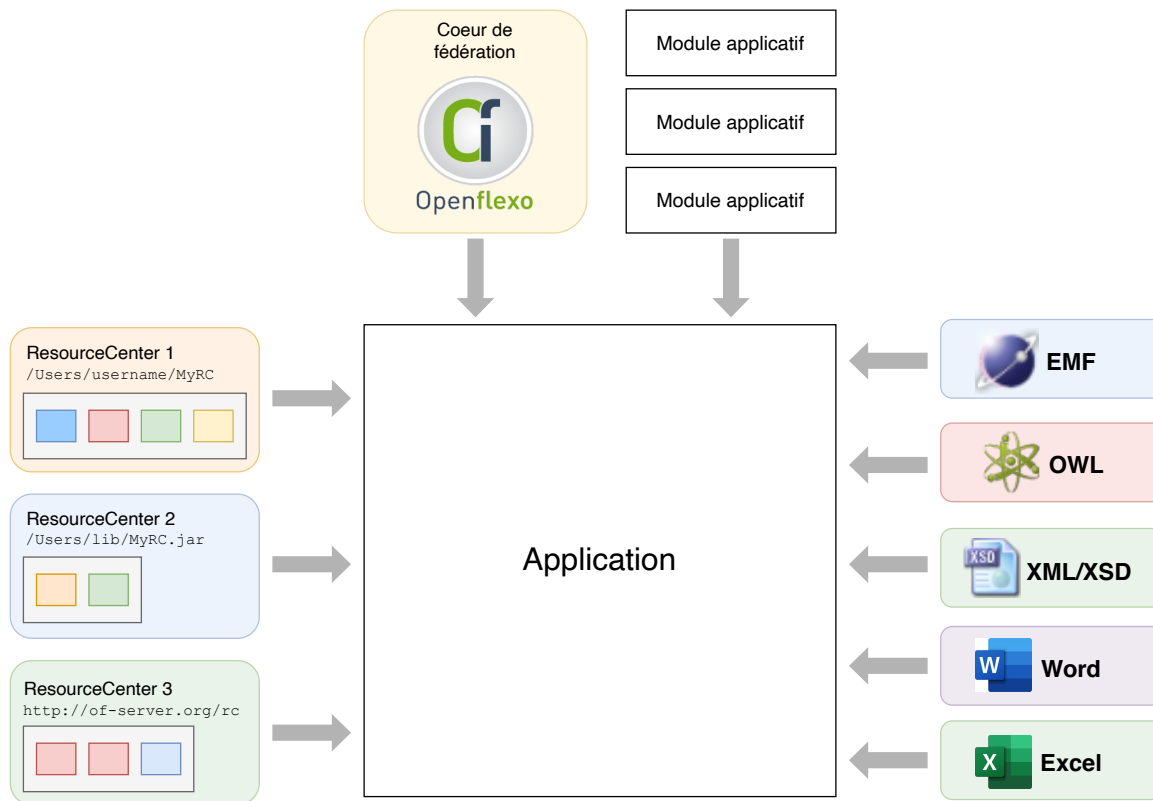


Infrastructure logicielle Openflexo

- Implantation du langage FML
 - Environnement d'édition et de construction (IDE) du langage FML
 - Environnement d'exécution du langage FML
 - Outils dédiés (langage de script, terminal, console, débogueur, etc...)
- Adaptateurs technologiques
 - (EMF, UML, BPMN, OWL, Word, Excel, PowerPoint, XML, JDBC, PDF, Rest, etc.)
- Infrastructure
 - Composants logiciels réutilisables (ex: PAMELA, *Model Oriented Programming*)
 - Outillage graphique (technologie Java/Swing)
 - Applications packagées (clients lourds Java/Swing)
 - Serveur Openflexo (web)
 - Bibliothèques de modèles techniques et métiers réutilisables
- Logiciels libres à double licence EUPL/GPLv3
- <https://github.com/openflexo-team>



Principes d'assemblage d'une application Openflexo



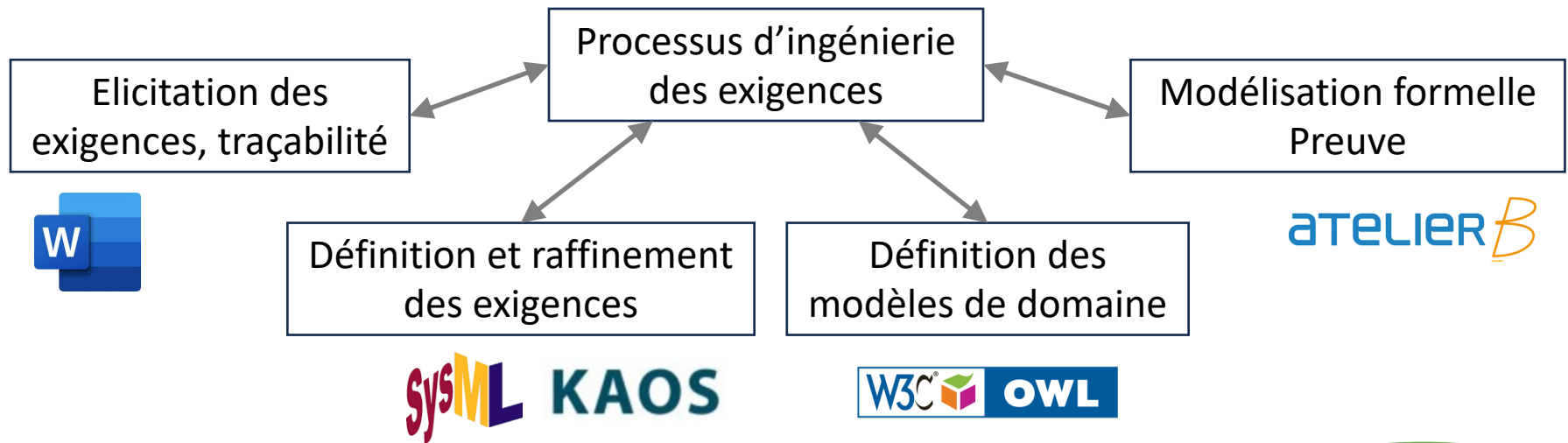
- Usine à logiciels
- Une application = une fédération de modèles
- Approche interprétée
 - Prototypage rapide
 - Séparation des préoccupations technique/métier
 - Architecture modularisée
 - Bibliothèque de modèles métiers

1. Introduction et problématique de recherche
2. Fédération de modèles
3. Le langage FML (Federation Modelling Language)
4. Openflexo : une usine à logiciels
- 5. Utilisation et enseignements de la fédération**
6. Conclusions et perspectives



Une méthodologie d'ingénierie des exigences dans un contexte de la modélisation et des méthodes formelles, pour les systèmes complexes critiques

- Projet ANR (ANR-1-CE28-009)
- ClearSy, LACL, Openflexo, Telecom Bretagne, Telecom Sud Paris, Thalès
- <https://formose.lacl.fr/>



- **RG1** : un cadre pour établir des liens entre différents artefacts, outils et paradigmes
- **RG2**: des modèles qui restent éditables dans les outils habituels : préserver les ingénieries existantes
- **RG3**: analyse d'impact et détection des inconsistances
- **RG4**: un cadre méthodologique pour la production de spécifications formelles pour la vérification, la validation et la certification

E2 : interprétation

E1 : hétérogénéité

C1 autonomie cycle de vie

E3 : dynamicité

mod : BMapping[LandingGear] - LandingGearSoSyM - /Users/sylvain/Sciences/formose-article/projets-landing-gear/LandingGearSoSyM.prj

REFINEMENT

```
LandingGearL3
REFINES LandingGearL2
SEES
  LandingGearL3Context
ABSTRACT_VARIABLES
  doorState,
  LsOfDoor,
  LsState
INVARIANT
  (doorState : (Door ->> DOOR_STATES) &
  (LsOfDoor : (Door ->>> LandingSet) &
  LsState : (LandingSet ->> LS_STATES)))
EVENTS
INITIALISATION extends INITIALISATION = doorState := {} || LsOfDoor := {}
makeDoorsOpen ref_milestone makeLGExtended = skip;
makeGearsExtended ref_milestone makeLGExtended = skip;
makeDoorsClose ref_milestone makeLGExtended = skip
END
```

SYSTEM

```
LandingGearL3Context
EXTENDS
  LandingGearL2Context
SETS
  DOOR_STATES = {open, close};
  Door = {D1, D2, D3};
  LandingSet;
  LS_STATES = {Ls_extended, Ls_retracted};
ABSTRACT_CONSTANTS
  LS1,
  LS2,
  LS3,
  LqOfLs
PROPERTIES
  (LS1 : LandingSet &
  (LS2 : LandingSet &
  LS3 : LandingSet))
END
```

- Outil FORMOD : une approche méthodologique agnostique des processus d'ingénierie des exigences

- De nombreuses technologies et outils à connecter :

- Perspective documentaire
- Perspective « buts »
- Perspective modèle de domaine
- Perspective preuve



- Outil générique et paramétrique
- Architecture modulaire

Quelques expérimentations et cas d'utilisation...

- **Modélisation multi-niveaux**
 - Challenge MULTI
 - Publication dans le Journal EMISAJ
- **Modélisation libre**
 - Capture de domaines métier à partir d'émergence de concepts
 - Prototype « Free Modelling Editor »
- **Validation industrielle**
 - Projet SSE4Space, outil d'analyse de risques, ESA
 - Développement d'une solution par la société Telindus
- **De nombreux autres cas d'utilisation sur plus de 10 années...**

Enseignements

- **Sur l'approche abstraite « fédération de modèles »**
 - Intérêt d'une approche qui préserve les ingénieries existantes
 - Besoin de structuration et de gestion des aspects comportementaux
- **Langage FML**
 - Mise en œuvre au sein de l'infrastructure logicielle Openflexo
 - Expressivité
 - Abstraction, généricité, modularité
 - Adaptateurs technologiques
 - Multiples syntaxes concrètes
- **Limitations de l'approche**
 - Complexité de la syntaxe FML
 - IHMs vieillissantes
 - Passage à l'échelle, performances

1. Introduction et problématique de recherche
2. Fédération de modèles
3. Le langage FML (Federation Modelling Language)
4. Openflexo : une usine à logiciels
5. Utilisation et enseignements de la fédération
- 6. Conclusions et perspectives**

Contributions et résultats

- **Explicitation et conceptualisation de l'approche fédération de modèles**
 - Concepts, terminologie, métamodèle
 - Positionnement par rapport à l'état de l'art (diagramme de caractéristiques)
 - Formalisation : le cadre MF²
- **Le langage FML**
 - Approche conceptuelle
 - Syntaxe et sémantique
 - Aspects méthodologiques
- **Infrastructure logicielle Openflexo**
- **Cas d'études / validation de l'approche**
 - Projet Formose, ingénierie des exigences
 - Challenge MULTI, modélisation multi-niveaux
 - Modélisation libre
 - Projet SSE4Space, validation industrielle

Perspectives

- **La fédération de modèles, « *enabler* » de nouveaux usages**
 - Industrie du futur, jumeaux numériques
 - Rétro-ingénierie système
 - Problématiques de co-évolution
 - Exécutabilité de modèles
- **Capture du métier et représentation de la connaissance**
 - Modélisation libre
 - Différents verrous à lever
- **Des expérimentations à mener...**
 - Edition collaborative, versionnement
 - ...