

Les arbres comme modèle de données XML (et JSON)

E.Coquery

`emmanuel.coquery@univ-lyon1.fr`

`http://liris.cnrs.fr/~ecoquery`

→ Enseignement → GDW

XML

eXtensible Markup Language

- Standard du W3C
- Objectif : stocker des données sous forme de texte
- Modèle de données : arbre (graphe)

Un ensemble de technologies

- Description de forme de documents :
 - DTD, Xml Schema, Relax NG
- Désignation de parties de documents :
 - XPath
- Liens inter/intra documents :
 - XLink (inter), XPointer (intra)
- Transformation de documents
 - XSLT
- Bases de données dédiées XML :
 - XQuery
- APIs de programmation (lecture/parcours/écriture)
 - DOM, SAX, StAX (Java)

Modèle de données en arbre

≠ types de nœuds :

- racine (document) : possède exactement 1 enfant de type élément, qui va contenir les données
- élément
- attribut
- texte
- commentaire
- commandes (*processing instructions*)

DOM : modèle objet ayant pour but de représenter et de manipuler de tels arbres.

Syntaxe

- A base de balises, comme HTML
- Prologue (optionnel) : donne des informations pour la lecture du documents :

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
```

- Déclaration de DTD (optionnel) : spécifie la forme du document :

```
<!DOCTYPE element-principal spec-DTD[ ...  
déclarations ...]>
```

- Éléments et attributs :

```
<nom att1="val1" att2='val2'>
```

 Enfants

```
</nom>
```

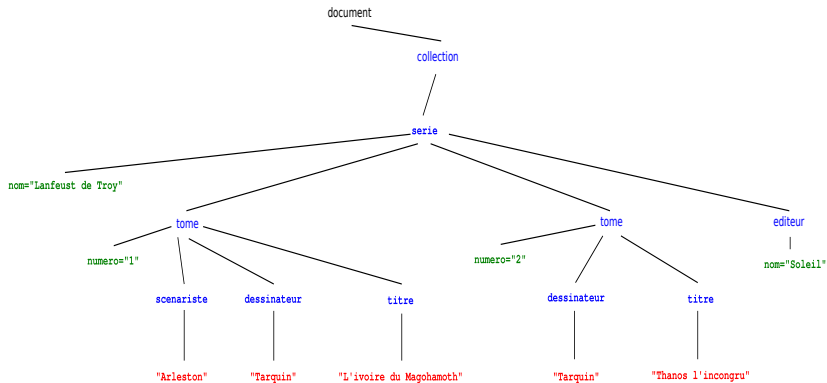
ou bien :

```
<nom att1="val1" att2='val2' />
```

Exemple

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE collection SYSTEM "collecdbd.dtd">
<collection>
  <serie nom="Lanfeust de Troy">
    <tome numero="1">
      <scenariste>Arleston</scenariste>
      <dessinateur>Tarquin</dessinateur>
      <titre>L'ivoire du Magohamoth</titre>
    </tome>
    <tome numero="2">
      <dessinateur>Tarquin</dessinateur>
      <titre>Thanos l'incongru</titre>
    </tome>
    <editeur nom="Soleil"/>
  </serie>
</collection>
```

Exemple - arbre



Espaces de nommage

- Ambiguïté sur les noms XML
 - Problème similaire aux modules/packages en programmation
- Nom qualifié = Espace de nommage + nom local
- Espace de nommage : une URI
- Nom local : plus ou moins un identifiant dans un langage de programmation
([A-Z] | "-" | [a-z] | ...) ([A-Z] | "-" | [a-z] | "-" | "." | [0-9] | ...)*
- Syntaxiquement :
 - *nomLocal*
utilise un espace de nommage par défaut
 - *prefixe:nomLocal*
l'espace de nommage est celui rattaché à *prefixe*

Espaces de nommage : déclarations

- Via des attributs spéciaux,
 - valeur de l'attribut = espace de nommage concerné
- Portée : élément contenant l'attribut spécial et tous ses descendants
- Attribut `xmlns` : définit l'espace de nommage par défaut pour les éléments
- Attribut `xmlns:prefix` : attache un espace de nommage au préfixe *prefixe*

Exemple

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<livres xmlns="http://www.livres-pas-chers.com">
  <livre xmlns:encyclo="http://toutsurleslivres.org"
        ISBN="123456">
    <auteur encyclo:nat="Américain">
      Stephen King
    </auteur>
    <titre>Le fléau</titre>
    <annee>2003</annee>
    <encyclo:annee>1978</encyclo:annee>
    <prix>5.3</prix>
  </livre>
</livres>
```

noir : pas d'espace de nommage

Schemas

Qu'est qu'un schema ?

- Relationnel : Ensemble de contraintes que doit vérifier une instance d'une BD
 - Attributs des tuples d'une relation
 - Contraintes de type
 - Contraintes de clé
 - ...
- XML : Ensemble de contraintes structurelles que doit vérifier un document XML
 - Attributs/Enfants autorisés/requis dans un éléments
 - Type des valeurs pour les attributs et le texte
 - ...

⇒ DTD, XML Schema

Langages de schema pour XML

- Les plus connus :
 - **DTD** : Document Type Definition
 - Pas de gestion des espaces de nommage
 - **XML Schema**
 - Syntaxe XML qui peut prêter à confusion
 - Relax NG
- Certains schemas sont publics
 - Ex : XHTML, SVG, SOAP, MathML, OpenDocument, OpenXML, ...

Un peu de théorie : les grammaires d'arbres

- Analogue aux grammaires algébriques
 - mais reconnaissent des arbres
- grammaire \approx ensemble d'arbres
- décrit la structure qui doit être respectée
- Simplification de la syntaxe v \grave{a} v DTD et XML Schema
- Pouvoir d'expression :
 - $>$ DTD
 - \cong XML Schema

Digression : les types primitifs

- Types des données
- Type \approx ensemble de chaînes de caractères
 - Éventuellement sémantique associée
- Dans les grammaires d'arbres :
 - Types primitifs supposés connus, fixés à l'avance
- Dans les DTD :
 - Types enum + 4 types prédéfinis
- Dans XML Schema : *simple types*
 - Types prédéfinis + mécanismes de création

Types primitifs dans les DTDs

- #PCDATA / CDATA : n'importe quel texte
- (*val*₁ | *val*₂ | ...) : type énuméré
- ID valeur n'apparaissant qu'une fois dans le document là où on attend un ID (≈ clé).
 - caractères : A-Z, a-z, 0-9, -, _, ...
- IDREF / IDREFS valeur(s) apparaissant ailleurs en tant qu'ID (≈ clé étrangère)

#PCDATA ↔ noeuds texte uniquement

Types simples en XML Schema

Types primitifs en XML Schema

- Types prédéfinis
 - string, boolean, integer, float, time, date
 - <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>
- Définition de nouveaux types :
 - par restriction d'un type existant
 - par union
 - comme listes de types

Définition par restriction

- Restriction \leftrightarrow sous-ensemble du type restreint
- Exemple code barre :

```
<simpleType name="codeBarre">  
  <restriction base="string">  
    <pattern value="[0-9]{6}-[0-9]{6}"/>  
  </restriction>  
</simpleType>
```

- Possibilités de restriction :
 - Expressions rationnelles, taille (min,max)
 - Énumération de valeurs (type en extension)
 - Valeur minimale et/ou maximale
 - liée à la sémantique sous-jacente au type restreint

Définition par union/liste

- Union de types simples
 - Union des ensembles de chaînes de caractères correspond aux type simples utilisés
 - Exemple code barre ou référence : Spécifie un type qui est soit un code barre soit un entier compris entre 0 et 65535
- Liste de valeurs simples
 - Liste dont les valeurs sont définies par un type simple existant

Exemple

```
<simpleType name="codeOuRef">
  <union>
    <simpleType>
      <restriction base='positiveInteger'>
        <maxInclusive value="65535"/>
      </restriction>
    </simpleType>
    <simpleType name="codeBarre">
      <restriction base="string">
        <pattern value="[0-9]6-[0-9]6"/>
      </restriction>
    </simpleType>
  </union>
</simpleType>

<simpleType name="codeList">
  <list itemType="codeBarre"/>
</simpleType>
```

Grammaire d'arbres régulière : définition

Une grammaire d'arbre régulière est un triplet (NT, TP, R) où NT est un ensemble de non terminaux, TP un ensemble de types primitifs et R un ensemble de règles de la forme :

- $A \rightarrow \text{nomElt atts (regexp)}$
- $A \rightarrow tp$

où :

- $A \in NT$ est un non terminal
- nomElt est un nom d'élément XML
- atts est un ensemble de triplets $(\text{nomAttribut}, \text{typePrimitif}, \text{card})$
 - $\text{typePrimitif} \in TP$ et $\text{card} \in \{?, 1\}$
- regexp est une expression rationnelle de non terminaux et de types primitifs
- $tp \in TP$ est un type primitif

Sémantique : principe

- Définie par un ensemble de fonctions $L(G)_A$ où :
 - $G = (NT, TP, R)$ est une grammaire
 - $A \in NT$ est un non terminal
- Définition peut être récursive si les structures définies peuvent être arbitrairement profondes
 - Ex : document décrivant des catégories pouvant être imbriquées
 - Ex : document décrivant des expressions mathématiques
- $L(G)_A$ se lit comme “l'ensemble des suites d'arbres XML reconnus par la grammaire G en partant du non terminal A ”.

Sémantique : règles

Règle $A \rightarrow \text{nomElt} \text{atts} (\text{regex})$ de G

$L(G)_A$ est l'ensemble des arbres a tels que :

- La racine de a est étiquetée par nomElt
- La suite $s = a_1 \dots a_n$ des fils de la racine est telle que :
 - Il existe n non terminaux $A_1 \dots A_n$ tels que :
 - $A_1 \dots A_n$ est reconnu par regex
 - $a_i \in L(G)_{A_i}$
- Tous les attributs de a apparaissent dans atts
- Pour tout triplet $(\text{att}, \text{tp}, 1) \in \text{atts}$:
 - a possède un attribut att dont la valeur appartient au type tp
- Pour tout triplet $(\text{att}, \text{tp}, ?) \in \text{atts}$:
 - **Si** a possède un attribut att **alors** sa valeur appartient au type tp

Sémantique : règles

Règle $A \rightarrow tp$ de G

$L(G)_A$ est l'ensemble des arbres

- se réduisant à un noeud texte
- dont la valeur appartient au type tp

DTD : Elements

`<!ELEMENT nom contenu>`

- Décrit les suites d'enfants possibles pour un élément.
- *contenu* peut être :
 - EMPTY : pas d'enfant
 - ANY : contenu arbitraire
 - (`#PCDATA | nom1 | nom2 | ...`) : mélange de texte et d'éléments
 - (*expr*) : expression rationnelle de nom d'éléments

expr ::= *expr*₁, *expr*₂
*expr**
expr?
expr+
*expr*₁ | *expr*₂
nom
(*expr*)

DTD : Attributs

`<!ATTLIST nom dec1 dec2>`

- Décrit les attributs possibles pour un élément
- *dec* peut être :
 - *nom type "valeur"*
 - *nom type #REQUIRED*
 - *nom type #IMPLIED*
- *type* peut être :
 - CDATA, ID, IDREF, IDREFS
 - (*val₁ | val₂ | ...*)

DTD : Exemple

```
<!ELEMENT collection (serie*)>  
<!ELEMENT serie (tome+,editeur?)>  
<!ATTLIST serie nom CDATA #REQUIRED>  
<!ELEMENT tome (scenariste?,dessinateur?,titre)>  
<!ATTLIST tome numero CDATA #REQUIRED>  
<!ELEMENT scenariste (#PCDATA)>  
<!ELEMENT dessinateur (#PCDATA)>  
<!ELEMENT titre (#PCDATA)>  
<!ELEMENT editeur EMPTY>  
<!ATTLIST editeur nom CDATA #REQUIRED  
                adresse CDATA #IMPLIED>
```

DTD et grammaires

Exercice : comment, étant donné une DTD, la traduire en grammaire d'arbre ?

Indice : introduire un non terminal par déclaration `<!ELEMENT`

Exercice : expliquer pourquoi le passage grammaire \rightarrow DTD n'est pas toujours possible

Exemple : comme grammaire d'arbre

$C \rightarrow \text{collection } \emptyset (S^*)$

$S \rightarrow \text{serie } \{(nom, string, 1)\} (T^+, Ed?)$

$T \rightarrow \text{tome } \{(numero, string, 1)\} (Sc?, D?, Ti)$

$Sc \rightarrow \text{scenariste } \emptyset (St)$

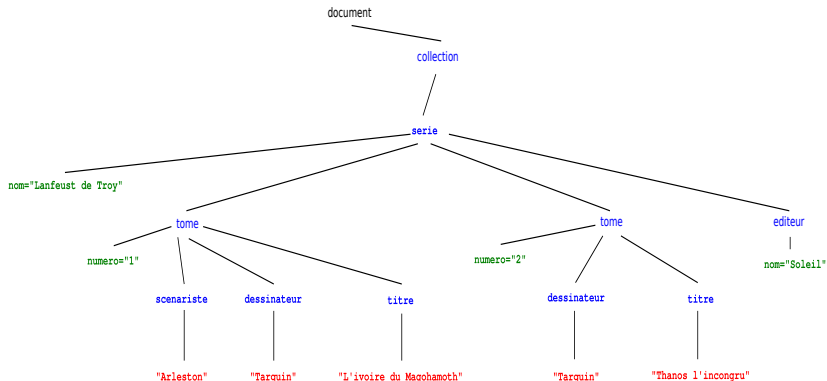
$D \rightarrow \text{dessinateur } \emptyset (St)$

$Ti \rightarrow \text{titre } \emptyset (St)$

$Ed \rightarrow \text{editeur } \{(nom, string, 1), (adresse, string, ?)\} ()$

$St \rightarrow \text{string}$

Exemple - arbre



XML Schema : Types complexes

- Type d'un élément :
 - `<element name="nomElt" type="nomType"/>`
 - `<element name="nomElt">`
 - ...description du type ...*
 - `</element>`
 - Le type peut être un type simple
 - ⇒ contenu textuel/`#PCDATA` uniquement
 - Ou un type dit “complexe” qui définit les attributs et les éléments pouvant apparaître dans l'élément concerné

XML Schema : types complexes

Ils sont utilisés :

- Comme déclaration principale :

```
<complexType name="nomType">  
...  
</complexType>
```
- Dans un élément ou un autre type complexe :
 - ```
<complexType ref="nomType"/>
```
  - ```
<complexType>
```
 - ...
 - ```
</complexType>
```



# Attributs dans un type complexe

```
<attribute name="nomAtt" type="type" use="opt"/>
```

- *nomAtt* est le nom de l'attribut
- *type* est un type simple qui contraint les valeurs de l'attribut
- *opt* peut être optional, prohibited ou required

# Éléments dans un type complexe

- Déclarations similaires à des déclarations externes à un type :
  - `<element name="nomElt" type="typeElt"/>`
  - `<element name="nomElt">`
  - ...
  - `</element>`
- Références à d'autres déclarations
  - `<element ref="nomElt"/>`

# Combinaisons dans les types complexes

- Suite (, en regexp)  
`<sequence>`  
...  
`</sequence>`
- Choix (| en regexp)  
`<choice>`  
...  
`</choice>`

# Nombre d'occurrences

- Les attributs minOccurs et maxOccurs :
  - Définissent le nombre mini/maxi d'occurrences
  - Applicable sur element, choice, sequence et complexType
  - Valeur si non spécifié : 1
  - maxOccurs peut prendre la valeur unbounded si on ne veut pas de nombre maxi d'occurrences
- Permettent de coder les opérateurs de regexp :
  - \* : minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"
  - + : minOccurs="1" maxOccurs="unbounded"
  - ? : minOccurs="0" maxOccurs="1"
  - n : minOccurs="n" maxOccurs="n"
  - m,n : minOccurs="m" maxOccurs="n"

# XML Schema et espaces de nommages - 1

- Syntaxe XML de XML Schema
  - Permet la définition d'espaces de nommage par défaut et/ou de préfixes
- Les éléments propres à XML Schema sont attachés à l'espace de nommage :  
`http://www.w3.org/2001/XMLSchema`
- Les noms définis et utilisés dans XML Schema sont des noms qualifiés
- Les types (simples) prédéfinis dans la norme XMLSchema ont leur noms attachés à l'espace de nommage :  
`http://www.w3.org/2001/XMLSchema`

## XML Schema et espaces de nommages - 2

- Attribut `targetNamespace`
  - Espace de nommage auquel seront attachés les noms (de types) définis dans l'élément portant cette déclaration
    - En général placé sur la racine du schéma
- Attribut `elementFormDefault`
  - Valeur "unqualified" (par défaut) :
    - Les noms d'éléments définis se voient attachés à un espace de nommage de par leur préfixe uniquement
  - Valeur "qualified" :
    - Les noms d'éléments définis se voient attachés par défaut au `targetNamespace`
- Attribut `attributeFormDefault`
  - Fonctionnement similaire, mais pour les attributs

# Exemple - préambule

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<schema
 xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
 targetNamespace="http://www.collection.com"
 xmlns:tns="http://www.collection.com"
 elementFormDefault="qualified">
```

# Exemple - élément collection

```
<element name="collection"
 type="tns:collectionC"/>

<complexType name="collectionC">
 <sequence>
 <element name="serie"
 type="tns:serieC"
 minOccurs="0"
 maxOccurs="unbounded"/>

 </sequence>
</complexType>
```



## Exemple - contenu d'un tome

```
<complexType name="tomeC">
 <sequence>
 <element name="scenariste" type="string"
 minOccurs="0"/>
 <element name="dessinateur" type="string"
 minOccurs="0"/>
 <element name="titre" type="string"/>
 </sequence>
 <attribute name="numero" type="string" use="required"/>
</complexType>
```

## Exemple - contenu d'une serie

```
<complexType name="serieC">
 <sequence>
 <element name="tome" type="tns:tomeC" minOccurs="1"
 maxOccurs="unbounded"/>
 <element name="editeur">
 <complexType>
 <attribute name="nom" type="string"
 use="required"/>
 <attribute name="adresse" type="string"
 use="optional"/>
 </complexType>
 </element>
 </sequence>
 <attribute name="nom" type="string" use="required"/>
</complexType>

</schema>
```

# XML Schema et grammaires

Exercice : en considérant le sous ensemble du langage XML Schema présenté dans le cours, expliquer comment le traduire en grammaire d'arbre régulière.

Exercice : expliquer comment passer une grammaire d'arbres régulière à un document XML Schema.

# Extensions de types complexes

- Principe : reprendre une définition existante et y ajouter des éléments/attributs.
- Exemple : ajouter un élément `annee-parution` au contenu `tomeC`
- Principe similaire à l'héritage entre classes en programmation orientée objet.

# Restriction de types complexes

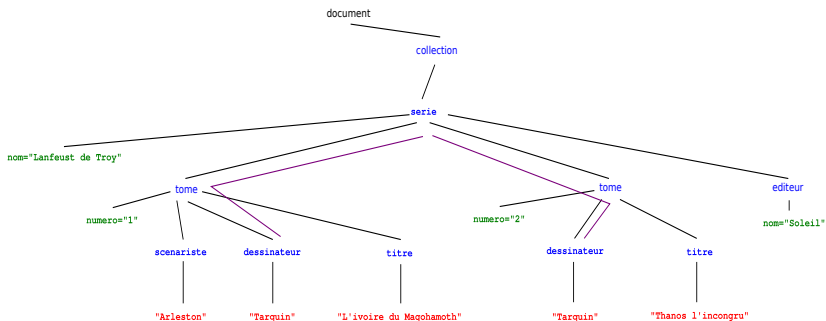
Principe : définir un type comme reconnaissant un sous-ensemble des arbres reconnus par un type précédemment défini

- par exemple en rendant obligatoire un élément qui était auparavant optionnel.
- Si  $A$  est défini à partir de  $B$  via une restriction, il n'est pas forcément possible de définir  $C \equiv A$  par extension sur  $B$ 
  - L'extension et la restriction ne sont pas exactement opposées

# XPath

- Objectif : sélection de morceaux de documents XML
- Utilisé dans d'autres langages
  - XQuery, XSLT, XPointer, WS-BPEL
  - Utilisable via des bibliothèques Java, Python, C, ...
- Principe : spécification de chemins dans l'arbre menant aux morceaux intéressants
  - expression XPath + noeud de départ
    - ensemble de chemins dans l'arbre XML
    - ensemble de noeuds sélectionnés

# Exemple



“Aller sur un élément tome, puis sur un élément dessinateur”  
Evaluer à partir de l'élément série

# Expressions de chemin

- Suite d'étapes séparée par "/"
- un "/" en début d'expression : départ forcé depuis la racine (document)
- Une étape est de la forme  $axe::test[predicat]$ 
  - Le prédicat est optionnel
- Pour chaque étape, pour chaque noeud  $n$  d'ensemble  $N_d$  de noeuds de départs :
  - Calculer  $N_n^a$  obtenu en suivant l'axe à partir de  $n$
  - Calculer  $N_n^t$  en filtrant  $N_n^a$  via le test
  - Calculer  $N_n^p$  en filtrant  $N_n^t$  via le predicat
- Résultat de l'évaluation de l'étape :  $\bigcup_{n \in N_d} N_n^p$



# Expressions booléennes

- Expressions classiques :
  - `and`, `or`, `not(...)`
  - fonctions renvoyant un booléen
- Nombre  $n$  : seul le  $n$ -ième élément de  $N_n^t$  est conservé
- Expression de chemin :
  - évaluation à partir du noeud à tester ;
  - vrai si résultat non vide
- Si une expression de chemin apparaît comme argument d'une fonction/d'un opérateur non booléen :
  - Evaluer l'expression à partir du noeud à tester ;
  - la (sous) expression booléenne est vraie si une des valeurs obtenues rend l'expression booléenne vraie

# Abréviations

<code>child::test</code>	<code>↔</code>	<code>test</code>
<code>attribute::test</code>	<code>↔</code>	<code>@test</code>
<code>xxx/descendant-or-self::node()/yyy</code>	<code>↔</code>	<code>xxx//yyy</code>
<code>parent::node()/xxx</code>	<code>↔</code>	<code>../xxx</code>
<code>axe::test[(pr<sub>1</sub>) and (pr<sub>2</sub>)]</code>	<code>↔</code>	
		<code>axe::test [pr<sub>1</sub>] [pr<sub>2</sub>]</code>

# Exemples

Revoir la DTD “collection”.

Donner une expression XPath pour obtenir :

- le premier tome de la collection dans chaque série  
`//serie/tome[1]`  
*i.e.* `/descendant-or-self::node()/child::serie/child::tome[pos()=1]`
- l'ensemble des titres d'album (sans la balise titre)  
`//tome/titre/text()`

## Exemples - suite

- les séries dont on connaît l'éditeur  
`//serie[editeur]`
- les séries dont on possède le tome numéro 1  
`//serie[tome/@numero = 1]`
- le titre des albums dont le numéro est plus grand ou égal à 3  
`//tome[@numero >= 3]/titre`

# Expressions avancées : parenthèses

## Parenthèses

- La partie `axe::test` peut être remplacée par une expression entre parenthèses
  - on peut appliquer un prédicat sur le résultat
  - important pour les prédicats type *n*-ième
- Exemple : le troisième tome de la collection :  
`/collection/(serie/tome) [3]`

# Expressions avancées : fonctions

## Fonctions prenant et ou renvoyant des ensembles de noeuds

- L'appel à la fonction est :
  - utilisé dans un prédicat
  - le point de départ d'une expression de chemin
    - remplace la première étape
    - voir l'expression complète
- Exemple : Les séries également présentes dans collection2.xml :

```
//serie[@nom=document('collection2.xml')//serie/@nom]
```

# XQuery

- Langage de requête pour les documents XML
  - Utilisé en particulier dans les BD XML
- Fabrique des (morceaux de) documents XML à partir de documents XML
- Une expression XPath est une expression XQuery
- Permet de construire des morceaux de document : syntaxe XML + expressions XQuery entre accolades

# Exemple

```
<personnes>
 <scenaristes>
 { //scenariste }
 </scenaristes>
 <dessinateurs>
 { //dessinateur }
 </dessinateurs>
</personnes>
```



# FLWOR

```
for $v1 in e1, $v2 in e2, ...
let $w1 := e'1, $w2 := e'2, ...
where condition
order by eo1, eo2, ...return expr
```

- $\$v_i, \$w_i$  : variables
- $e_i, e'_i$  : expressions XPath
  - une variable peut remplacer la première étape d'un chemin
- $eo_i$  : expression XPath (avec variables), suivie de ascending (par défaut) ou de descending
- $expr$  : expression XQuery (contenant en général des constructions XML)

## FLWOR : Evaluation

- Evaluer les combinaisons de valeurs possibles pour les  $\$v_i$ 
  - On obtient un ensemble de tuples de valeurs
- Pour chaque tuple :
  - Evaluer les  $\$w_j$ 
    - Si plusieurs valeurs pour une variable : elles sont concaténées
    - Les valeurs sont associées au tuple
- Filtrer les tuples avec la condition
- Pour chaque tuple, pris dans l'ordre de la clause order by, évaluer expr
  - Le résultat du FLWOR est la concaténation des résultats ainsi obtenus

# Exemple

```
for $to in //tome
let $ti := $to/titre
where $to/@numero >= 3
order by $ti descending
return
<album>
 {$to/@numero}
 {$ti}
 <serie>{$to/../../@nom}</serie>
</album>
```

# Déclarations

- Précède l'expression (i.e. mettre au début du programme)
- `declare namespace nomprefixe="uri_espace_nommage";`
- `declare default element namespace "uri_espace_nommage";`
- `declare function nomQualifie ($arg1 as type1, $arg2 as type2, ...) as type_retour { corps de la fonction };`
- `declare default function namespace "uri_espace_nommage";`

# JSON

# JavaScript Object Notation

## Format de données

- textuelles
- modèle de données en arbre
  - noeuds « objets » → dictionnaire clé/valeur
  - noeuds listes

## Exemple JSON : collection

```
[
 { "nom": "Lanfeust de Troy",
 "tomes": [
 { "numero": 1,
 "scenariste": "Arleston",
 "dessinateur": "Tarquin",
 "titre": "L'ivoire du Magohamoth" },
 { "numero": 2,
 "dessinateur": "Tarquin",
 "titre": "Thanos l'incongru" }
],
 "editeur": { "nom": "Soleil" }
 }
]
```

# Schemas & interrogation

Pas de norme bien établie

Schéma :

- Problématique similaire à XML Schema
- Regarder par exemple : <http://json-schema.org/>

Interrogation : similaire à XQuery

- <http://jsoniq.org/>
- <https://github.com/mmckegg/json-query>



## Exemple de schéma (JSON-Schema)

```
{ "title": "Schema Collection BD",
 "type": "array",
 "items": {
 "type": "object",
 "properties": {
 "nom": { "type": "string" },
 "tomes": { /* ... (1) ... */ },
 "editeur": { /* ... (2) ... */ }
 },
 "required": ["nom", "tomes"]
 }
}
```

## Exemple de schéma (JSON-Schema) - suite 1

```
...
 "tomes": {
 "type": "array",
 "items": {
 "type": "object",
 "properties": {
 "numero": { "type": "number" },
 "scenariste": { "type": "string" },
 "dessinateur": { "type": "string" },
 "titre": { "type": "string" }
 },
 "required": ["numero", "titre"]
 },
 "minItems": 1
 },
...
...
```

## Exemple de schéma (JSON-Schema) - suite 2

```
...
 "editeur": {
 "type": "object",
 "properties": {
 "nom": { "type": "string" },
 "adresse": { "type": "string" }
 },
 "required": ["nom"]
 }
},
...
...
```