Revision: 1.8

Master d'informatique 2008-2009
Spécialité STL
« Implantation de langages »
ILP – MI016
Cours ILP1

C.Queinnec

Buts

- Implanter un langage
- de la classe de Javascript
- à syntaxe XML
- avec un interprète écrit en Java
- et un compilateur écrit en Java
- qui produit du C.
- Faire lire du code
- montrer comment il a été développé (écrit, testé, étendu)
- et quelques outils au passage : Eclipse, PHP, XML, DOM, RelaxNG, XPath, Java6, JUnit3,4 XMLUnit ...

Cheminement

- (ILP1 : cours 1-4) Syntaxe, interprétation, compilation vers C
- (ILP2 : cours 5) Bloc local, fonctions, affectation, boucle
- (ILP3 : cours 6) Exceptions
- (ILP4 : cours 7) Intégration (*inlining*)
- (ILP6 : cours 8-9) Classe, appel de méthode
- (ILP7 : cours 10) Édition de liens

Préalables

- C (pointeurs, transtypage (pour *cast*), macros cpp)
- Java 5 (générique, annotation, réflexion, ...)
- compilation

Structure des cours

- Savoir :
  - concepts,
  - variantes,
  - choix
- Savoir faire :
  - implantation
  - tours de main
  - agencement
  - tests

Contrôle des connaissances

- Examen (sur machine) pour 60% de la note d'UE
- Contrôle continu (partiel sur machine) pour 40% de la note d'UE

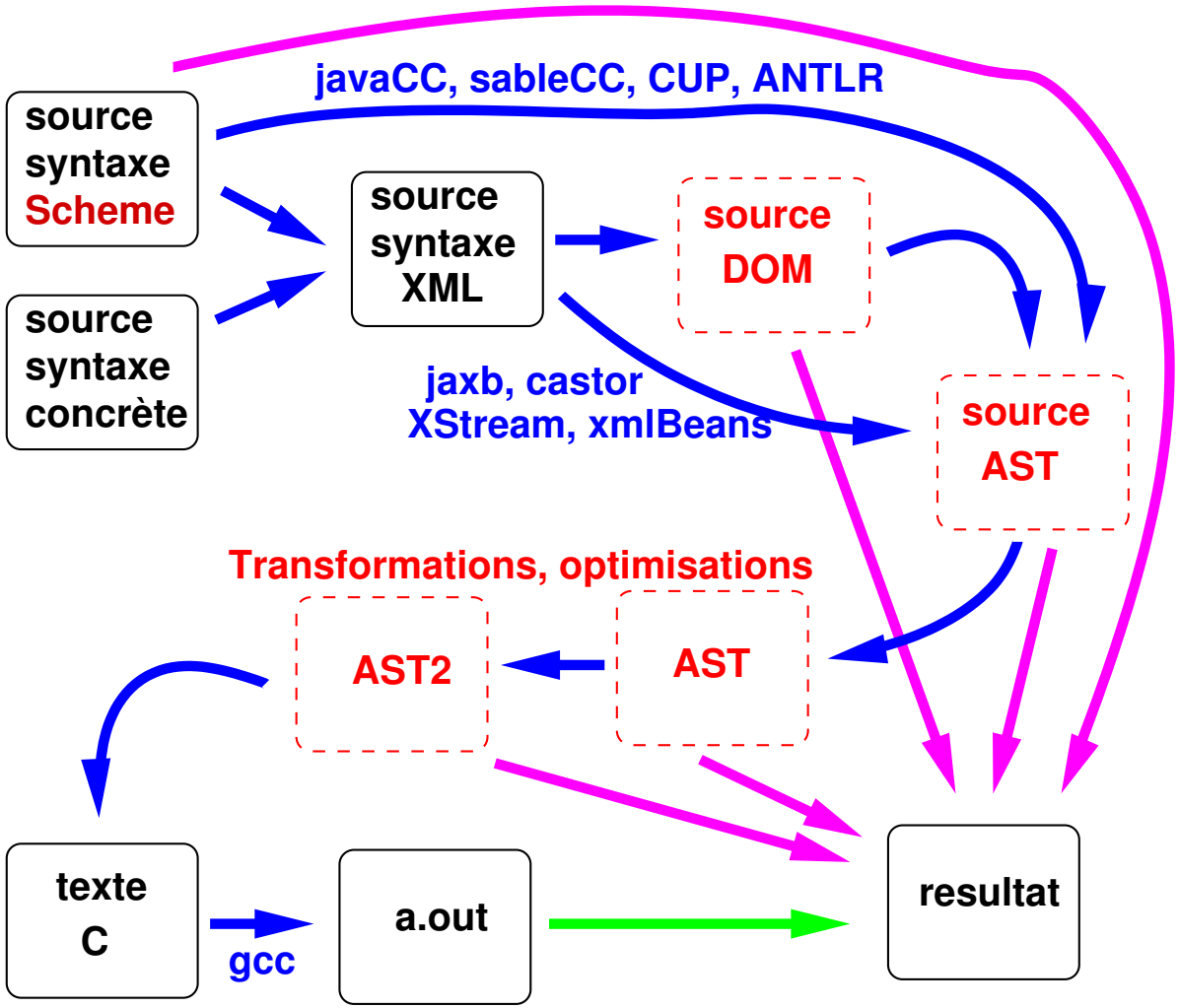
Ressources

- Le site web
- et ses ressources additionnelles (notamment un site de mise à jour pour Eclipse)
- Sur les ordinateurs de l'ARI, le répertoire `/Infos/lmd/2008/master/ue/ilp-2008oct/`

Plan du cours 1

- Grand schéma
- Langage ILP1
  - sémantique discursive
  - syntaxes
- XML
  - DOM
  - grammaires : Relax NG
- DOM et IAST
- AST

Grand schéma



ILP1

- Ce qu'il y a :
  - constantes (entière, flottante, chaîne de caractères, booléens)
  - alternative, séquence
  - variable, bloc local unaire
  - invocation de fonctions
  - opérateurs unaires ou binaires
- ce qu'il n'y a pas (encore !) (liste non exhaustive) :
  - pas d'affectation
  - pas de boucle
  - pas de définition de fonction
  - pas de classe
  - pas d'exception

Syntaxe Python-Caml

```
let x = 111 in
  let y = true in
    if ( y == -3.14 )
    then print "O" + "K"
    else print (x * 6.0)
    endif
  newline
```

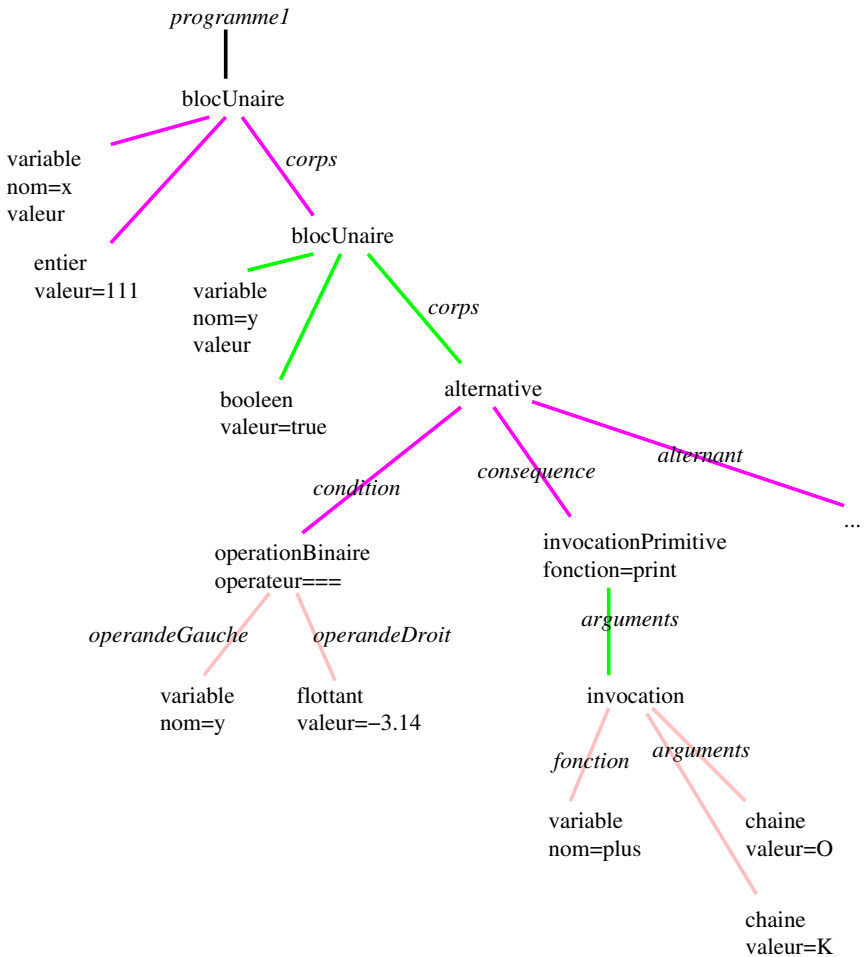
Syntaxe Scheme

```
(let ((x 111))
  (let ((y #t))
    (if (= y -3.14)
        (print (plus "O" "K"))
        (print (* x 6.0)) ) )
  (newline) )
```

Syntaxe C/Java

```
{ x = 111;
  { y = true;
    if ( y == -3.14 ) {
        print("O" + "K");
    } else {
        print(x * 6.0);
    }
  }
  newline();
}
```

Syntaxe arborescente



Syntaxe XML

```
<programme1>
  <blocUnaire>
    <variable nom='x'/><valeur><entier valeur='111'/></vale
      <corps>
        <blocUnaire>
          <variable nom='y'/><valeur><booleen valeur='true'
          <corps>
            <alternative>
              <condition>
                <operationBinaire operateur='=='>
                <operandeGauche><variable nom='y'/></operan
                <operandeDroit><flottant valeur='-3.14'/></
                </operationBinaire>
              </condition>
              <consequence>
                <invocationPrimitive fonction='print'>
                <operationBinaire operateur='+'>
```

```
                <operandeGauche><chaine>0</chaine></opera
                <operandeDroit><chaine>K</chaine></operan
              </operationBinaire></invocationPrimitive>
            </consequence>
            <alternant>
              <invocationPrimitive fonction='print'>
              <operationBinaire operateur='*'>
                <operandeGauche><variable nom='x'/></oper
                <operandeDroit><entier valeur='6.0'/></op
              </operationBinaire></invocationPrimitive>
            </alternant>
          </alternative>
        </corps>
      </blocUnaire>
      <invocationPrimitive fonction='newline'/>
</corps></blocUnaire></programme1>
```

Syntaxes

La syntaxe n'est rien !

Syntaxes

La syntaxe n'est rien !

La syntaxe est tout !

Syntaxes

La syntaxe n'est rien !
La syntaxe est tout !
On ne s'y intéressera pas ! On partira donc de la syntaxe XML.

Ressource: Grammars/Scheme/Makefile

Sémantique discursive

- Langage non typé statiquement : les variables n'ont pas de type
- Langage sûr, typé dynamiquement : toute valeur a un type (donc de la classe de Scheme, Javascript, Smalltalk)
- Langage à instruction (séquence, alternative, bloc unaire)
- toute expression est une instruction
- les expressions sont des constantes, des variables, des opérations ou des appels de fonctions (des invocations).

Détails sémantiques

Opérateurs unaires : - (opposé) et ! (négation)
Opérateurs binaires :

- arithmétiques : + (sur nombres et chaînes), -, *, /, % (sur entiers),
- comparateurs arithmétiques : <, <=, >, >=,
- comparateurs généraux : ==, <>, != (autre graphie),
- booléens : |, &, ^.

Variables globales prédéfinies : fonctions primitives : `print` et `newline` (leur résultat est indéfini) ou constantes comme `pi`.
Le nom d'une variable ne peut débuter par `ilp` ou `ILP`.
L'alternative est binaire ou ternaire (l'alternant est facultatif).
La séquence contient au moins un terme.

Rudiments d'XML

Un langage normalisé pour représenter des arbres (cf. mode de visualisation en Eclipse).

```
<?xml version="1.0"
      encoding='ISO-8859-1'
      standalone="yes"
?>
<ul><li> un   </li>
    <!-- attention: -->
    <li rien="du tout"/>
</ul>
```

Attention à UTF-8, ISO-8859-1 (latin1) ou ISO-8859-15 (latin9).

Caractères bizarres en XML

Entités prédéfinies ou sections particulières (échappements) :

```
&amp; &lt; &gt; &apos; &quot;

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-15" standalone=
<ul><li/>
    <li><![CDATA[ 1li>1m ?
<!@#~*}  ]]></li>
    <li> 1li&gt;1m ?
&lt;!@#~*}  </li>
</ul>
```

Terminologie

Un **élément** débute par le < de la balise ouvrante et se termine avec le > de la balise fermante correspondante.
Un élément contient au moins une balise mais peut contenir d'autres éléments, du texte, des commentaires (et des références à des entités éventuellement des instructions de mise en œuvre).
Une **balise** (pour *tag*) débute par un < et s'achève au premier > qui suit. Une balise possède un nom et, possiblement, des attributs.
Les noms des balises sont structurés par espaces de noms (par exemple `xml:namespace` ou `rdf:RDF`).

Validation d'XML

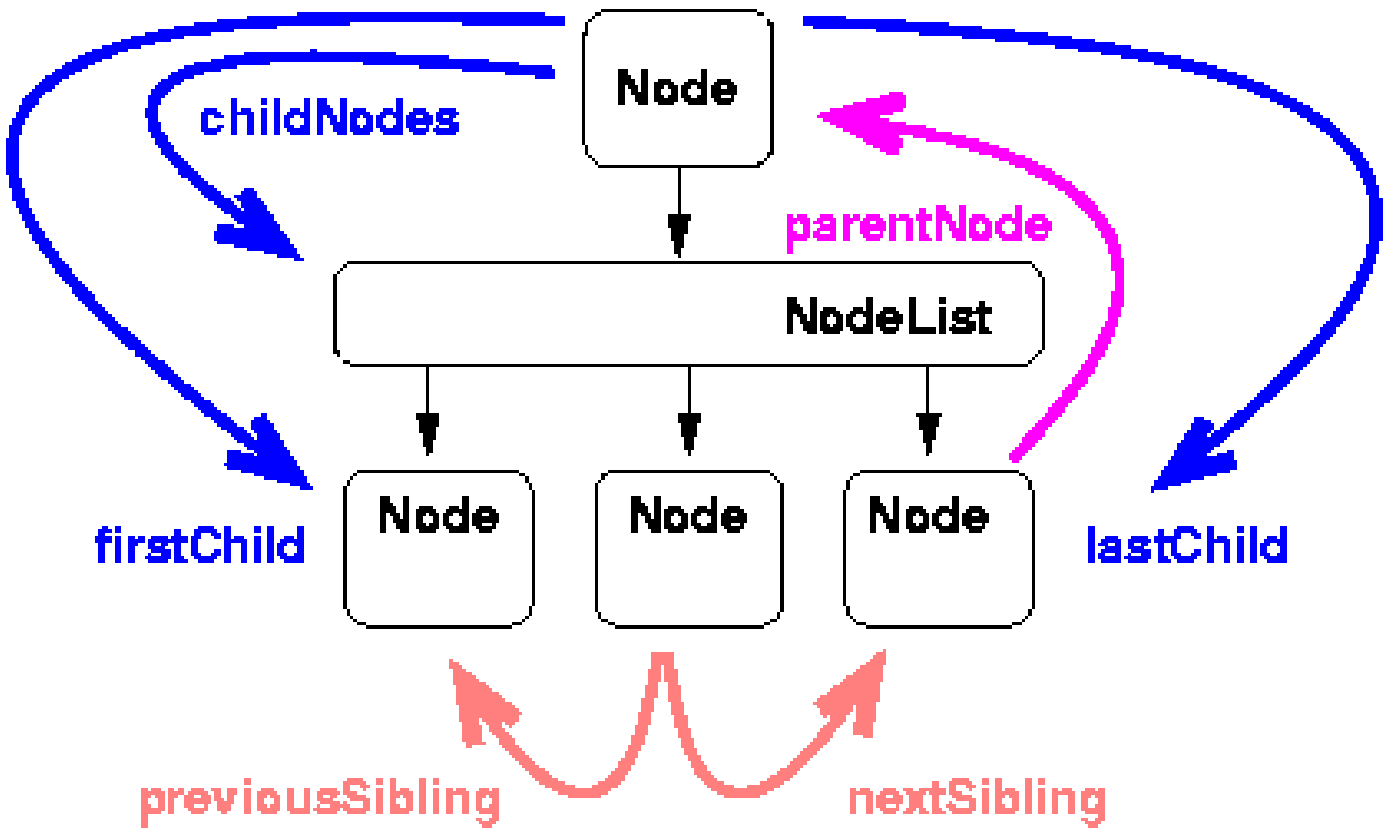
Un document XML doit être *bien formé* c'est-à-dire respectueux des conventions d'XML. Un document XML peut aussi être *valide* vis-à-vis d'une grammaire.
Les grammaires sont des DTD (pour *Document Type Definition*) ou maintenant des XML Schémas ou des schémas Relax NG.
Énorme intérêt pour la lecture de documents car pas de traitement d'erreur à prévoir !
Mais uniquement si les documents sont valides.

RelaxNG

Relax NG est un formalisme pour spécifier des grammaires pour XML (bien plus lisible que les schémas XML (suffixe `.xsd` mais pour lesquels existe un mode dans Eclipse)).
Les grammaires Relax NG (prononcer *relaxing*) sont des documents XML (suffixe `.rng`) écrivables de façon compacte (suffixe `.rnc`) et surtout lisibles !
Une fois validé, les textes peuvent être réifiés en DOM (*Document Object Model*).

Interface DOM

L'interface DOM (pour *Document Object Model*) lit le document XML et le convertit entièrement en un arbre (en fait un graphe modifiable).
DOM est une interface, il faut lui adjoindre une implantation et, pour XML, il faut adjoindre un analyseur syntaxique (pour *parser*)



Interface DOM (2)

Paquetage org.w3c.dom.*
Implantations : javax.xml.parsers.*, org.xml.sax.*
RelaxNG : com.thaiopensource.validate.*

```
// (1) validation vis-à-vis de RNG:
// MOCHE: c'est redondant avec (2) car le programme est
// fois avec SAX. Les phases 1 et 2 pourraient s'effectu

ValidationDriver vd = new ValidationDriver();
InputSource isg = ValidationDriver.fileInputSource(
      rngfile.getAbsolutePath());
vd.loadSchema(isg);

InputSource isp = ValidationDriver.fileInputSource(
      xmlfile.getAbsolutePath());
if ( ! vd.validate(isp) ) {
    throw new ASTException("programme XML non valide");
};
```

```
// (2) convertir le fichier XML en DOM:
DocumentBuilderFactory dbf = DocumentBuilderFactory.n
DocumentBuilder db = dbf.newDocumentBuilder();
Document d = db.parse(xmlfile);
```

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/fromxml/Main.java

Ressource: suites de tests JUnit

Arpentage du DOM

- org.w3c.dom.Document

```
Element getDocumentElement();
```

- org.w3c.dom.Node

```
Node.uneCONSTANTE getNodeType();
// avec Node.DOCUMENT_NODE, Node.ELEMENT_NODE, Node.TEX
NodeList getChildNodes();
```

- org.w3c.dom.Element hérite de Node

```
String getTagName();
String getAttribute("attributeName");
```

- org.w3c.dom.Text hérite de Node

```
String getData();
```

- org.w3c.dom.NodeList

```
int getLength();
Node item(int);
```

Grammaire RelaxNG – ILP1

Les caractéristiques simples sont codées comme des attributs, les composants complexes (sous-arbres) sont codés comme des sous-éléments.

Ressource: Grammars/grammar1.rnc

```
start = programme1

programme1 = element programme1 {
   instruction +
}

instruction =
   alternative
 | sequence
 | blocUnaire
 | expression
```

```
alternative = element alternative {
   element condition   { expression },
   element consequence { instruction + },
   element alternant   { instruction + } ?
}

sequence = element sequence {
   instruction +
}

blocUnaire = element blocUnaire {
   variable,
   element valeur { expression },
   element corps  { instruction + }
}

expression =
   constante
 | variable
 | operation
 | invocationPrimitive
```

```
variable = element variable {
   attribute nom { xsd:string - ( xsd:string { patter
   empty
}

invocationPrimitive = element invocationPrimitive {
   attribute fonction { xsd:string },
   expression *
}

operation =
   operationUnaire
 | operationBinaire
```

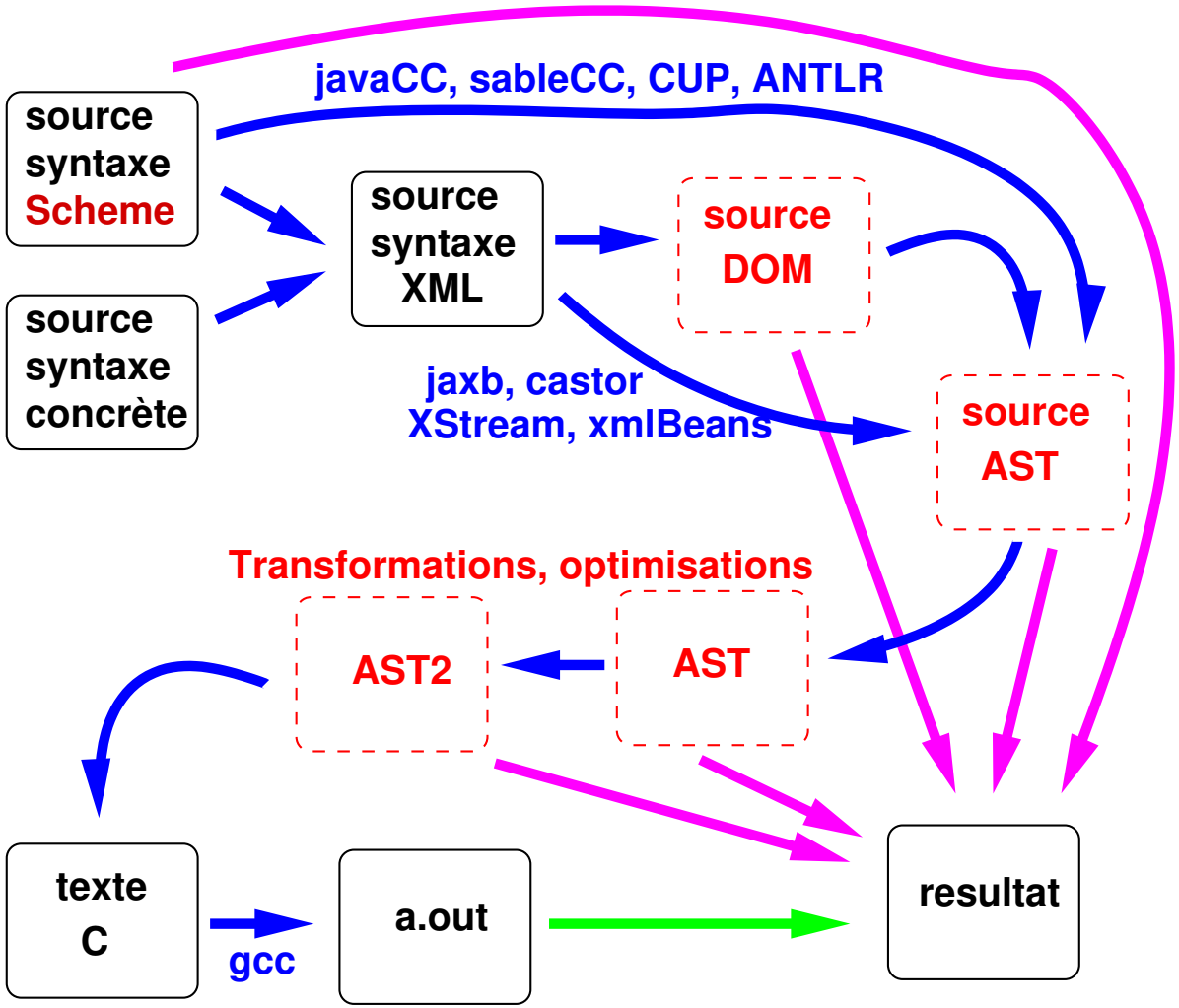
```
operationUnaire = element operationUnaire {
   attribute operateur { "-" | "!" },
   element operande { expression }
}

operationBinaire = element operationBinaire {
   element operandeGauche { expression },
   attribute operateur {
      "+" | "-" | "*" | "/" | "%" |
# arithmétiques
      "|" | "&" | "^" |
# booléens
      "<" | "<=" | "==" | ">=" | ">" | "<>" | "!="
# comparaisons
   },
   element operandeDroit { expression }
}
```

```
constante =
   element entier    {
      attribute valeur { xsd:integer },
      empty }
 | element flottant  {
    attribute valeur { xsd:float },
    empty }
 | element chaine    { text }
 | element booleen   {
    attribute valeur { "true" | "false" },
    empty }
```

AST

DOM est une façon simple de réifier un document XML (quelques lignes de programme)
Mais il est peu adapté à la manipulation d'arbres de syntaxe AST (pour *Abstract Syntax Tree*) car il est non typé, trop coûteux, mal extensible.
Une fois le DOM obtenu, on le transforme en un AST. Comme on souhaite que vous puissiez écrire vos propres syntaxes et les faire interpréter ou compiler par le système, on procure des interfaces pour toutes les concepts syntaxiques.
NOTA : on aurait pu passer directement de la syntaxe concrète à l'AST.

Grand schéma



IAST

Le paquetage `fr/upmc/ilp/ilp1/interfaces` fournit une interface pour chaque concept syntaxique :

```
IAST                                  //  Un marqueur
  IASTalternative
  IASTconstant
    IASTboolean
    IASTinteger
    IASTfloat
    IASTstring
  IASTinvocation
  IASToperation
    IASTunaryOperation
    IASTbinaryOperation
  IASTsequence
  IASTunaryBlock
  IASTvariable
```

Remarque : on ne peut typer une exception avec une interface (il faut attendre Java 7 mais on peut utiliser des classes génériques).

Alternative

D'un point de vue syntaxique, une alternative est une entité ayant trois composants dont un optionnel :

```
alternative = element alternative {
   element condition   { expression },
   element consequence { instruction + },
   element alternant   { instruction + } ?
}
```

IASTalternative

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces;

public interface IASTalternative<Exc extends Throw
extends IAST {

  IAST getCondition ();
  IAST getConsequent ();
  IAST getAlternant () throws Exc;

  /** Indique si l'alternative est ternaire (qu'e
  boolean isTernary ();
}
```

Remarque : on ne peut typer une exception avec une interface.
Les interfaces seront utiles par la suite.

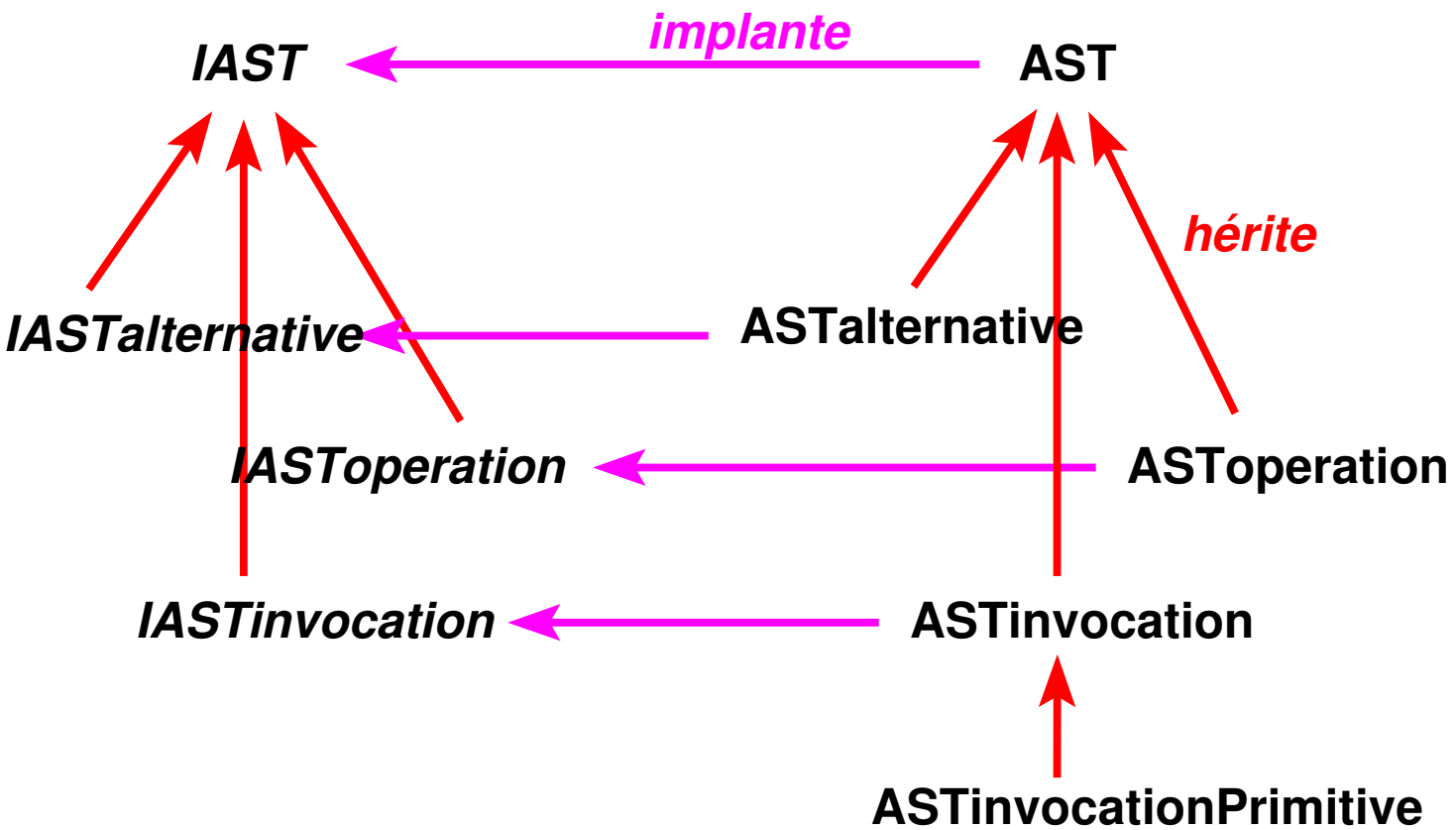
AST

Les classes `fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml.AST*` implantent les interfaces `fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.IAST*` respectives.

```
AST                 implante IAST
  ASTalternative    implante IASTalternative<ASTException>
  ASTblocUnaire     implante IASTunaryBlock<ASTException>
  ASTbooleen        implante IASTboolean
  ASTchaine         implante IASTstring
  ASTentier         implante IASTinteger
  ASTflottant       implante IASTfloat
  ASTinvocation     implante IASTinvocation<ASTException>
    ASTinvocationPrimitive
  ASToperation      implante IASToperation
    ASToperationUnaire    implante IASTunaryOperation
    ASToperationBinaire   implante IASTbinaryOperation
  ASTsequence       implante IASTsequence<ASTException>
  ASTvariable       implante IASTvariable

ASTfromXML
ASTParser
ASTException
ASTParserTest       TestCase JUnit
Main
MainTest
MainTestSuite
```

MOCHE ! les noms ne sont pas tout à fait semblables !

Hiérarchies



ASTalternative

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;

public class ASTalternative extends AST
implements IASTalternative<ASTException> {

  public ASTalternative (AST condition,
                         AST consequence,
                         AST alternant ) {
    this.condition   = condition;
    this.consequence = consequence;
    this.alternant   = alternant;
  }
  public ASTalternative (AST condition, AST consec
    this(condition, consequence, null);
  }
```

```
private final AST condition;
private final AST consequence;
private final AST alternant;

public IAST getCondition () {
  return this.condition;
}
public IAST getConsequent () {
  return this.consequence;
}                    // Attention aux NullPointerE
public IAST getAlternant () throws ASTException
  if ( isTernary() ) {
    return this.alternant;
  } else {
    throw new ASTException("No alternant");
  }
}
```

```
  public boolean isTernary () {
    return alternant != null;
  }
  public String toXML () {
    StringBuffer sb = new StringBuffer();  // Vitesse
    sb.append("<alternative><condition>");
    sb.append(condition.toXML());
    sb.append("</condition><consequence>");
    sb.append(consequence.toXML());
    sb.append("</consequence>");
    if ( isTernary() ) {
      sb.append("<alternant>");
      sb.append(alternant.toXML());
      sb.append("</alternant>");
    };
    sb.append("</alternative>");
    return sb.toString();
  }
}
```

Proverbe : ne jamais laisser fuir les nuls !

Exceptions

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml;

public class ASTException {

  public ASTException (Throwable cause) {
    super(cause);
  }
  public ASTException (String message) {
    super(message);
  }
}
```

Conversion DOM vers AST

La conversion est effectuée par la grande fonction nommée `ASTParser.parse(Node)` que voici :

```
public AST parse (Node n) throws ASTException {
  switch ( n.getNodeType() ) {

  case Node.ELEMENT_NODE: {
    Element e = (Element) n;
    NodeList nl = e.getChildNodes();
    String name = e.getTagName();

    if ( "programme1".equals(name) ) {
      return new ASTsequence(parseList(nl));
```

```
    } else if ( "alternative".equals(name) ) {
      AST cond   = findThenParseChild(nl, "condi
      AST conseq = findThenParseChild(nl, "conse
      try {
        AST alt = findThenParseChild(nl, "alterr
        return new ASTalternative(cond, conseq,
      } catch (ASTException exc) {
        return new ASTalternative(cond, conseq);
      }

    } else if ( "sequence".equals(name) ) {
      return new ASTsequence(this.parseList(nl));

    } else if ( "entier".equals(name) ) {
      return new ASTentier(e.getAttribute("valeu
...
```

Parcours de l'AST

`toXML()` est une méthode des `AST` mais pas des `IAST`, il y a une méthode équivalente sur DOM.
Un exemple de mise en œuvre est :

```
...
Document d = db.parse(this.xmlfile);

// (3) conversion vers un AST donc un IAST:
ASTParser ap = new ASTParser();
AST ast = (AST) ap.parse(d);

// (3bis) Impression en XML:
System.out.println(ast.toXML());
```

Architecture

Deux paquetages et quelques archives jar pour l'instant :

```
fr.upmc.ilp.tool1     // quelques utilitaires
fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces
fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml
trang, jing, junit3
```

Ressource: Java/jars/

Ressource: Java/src/

Ressource: Java/bin/

Ressource: Java/doc/

Récapitulation

- grand schéma
- syntaxe d'ILP1 (grammaire RelaxNG, XML, IAST)
- représentation d'un programme ILP1 (AST)

- RelaxNG, DOM, XML

Bibliographie

- Cours de C
  `http://www.infop6.jussieu.fr/cederoms/Videoc2000`
- Cours de Java `http://www.pps.jussieu.fr/~emmanuel/Public/enseignement/JAVA/SJP.pdf`
- developper en java avec Eclipse
  `http://www.jmdoudoux.fr/java/dejae/` (500 pages)
- Cours sur XML `http://apiacoa.free.fr/teaching/xml/`
- RelaxNG `http://www.oasis-open.org/committees/relax-ng/tutorial.html` ou le livre « Relax NG » d'Éric Van der Vlist, O'Reilly 2003.

Plan du cours 2

- Tests
- Interprétation
- Représentation des concepts
- bibliothèque d'exécution

Tests

Tests avec JUnit3http://www.junit.org/

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml;
import junit.framework.TestCase;

public class MainTest extends TestCase {
  public void processFile (String grammarName, String
    throws ASTException {
    Main m = new Main(new String[] {  //réutilisation
      grammarName, fileName });
    assertTrue(m != null);
    m.run();
    assertEquals(1, 1);
  }
  public void testP1 () throws ASTException {
    processFile("Grammars/grammar1.rng",
                "Grammars/Samples/p1-1.xml");
  }
```

Séquencement

Pour une classe de tests :

1. charger la classe
2. pour chaque méthode `test`*X*,
   1. instancier la classe
   2. tourner `setUp()`
   3. tourner `test`*X*
   4. tourner `tearDown()`

Suites de tests

Regrouper et ordonner des tests unitaires :

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml;
import junit.framework.Test;
import junit.framework.TestSuite;

/** Regroupement de classes de tests pour le paquetage

public class MainTestSuite extends TestSuite {

  public static Test suite() {
    TestSuite suite = new TestSuite();
    suite.addTest(new TestSuite(ASTParserTest.class));
    suite.addTest(new TestSuite(MainTest.class));
    return suite;
  }
}
```

Mise en œuvre en ligne de commande ou Eclipse.

JUnit 4

Les tests ne sont plus déclarés par héritage mais par annotation (cf. aussi TestNG). Les annotations sont (sur les méthodes) :

```
@BeforeClass
@Before
@Test
@After
@AfterClass
```

et quelques autres comme (sur les classes) :

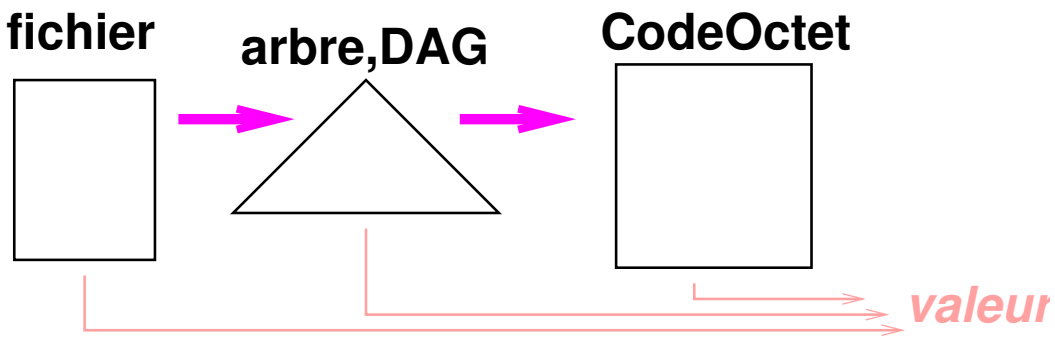
```
@RunWith   @SuiteClasses
           @Parameters
```

Automatiser

Sous Eclipse, les classes de tests JUnit3 et Junit4 sont dans les bibliothèques pré-existantes.
Lancés automatiquement par le `build.xml` de Ant.

Interprétation

Analyser la représentation du programme pour en calculer la valeur et l'effet.
Un large spectre de techniques :



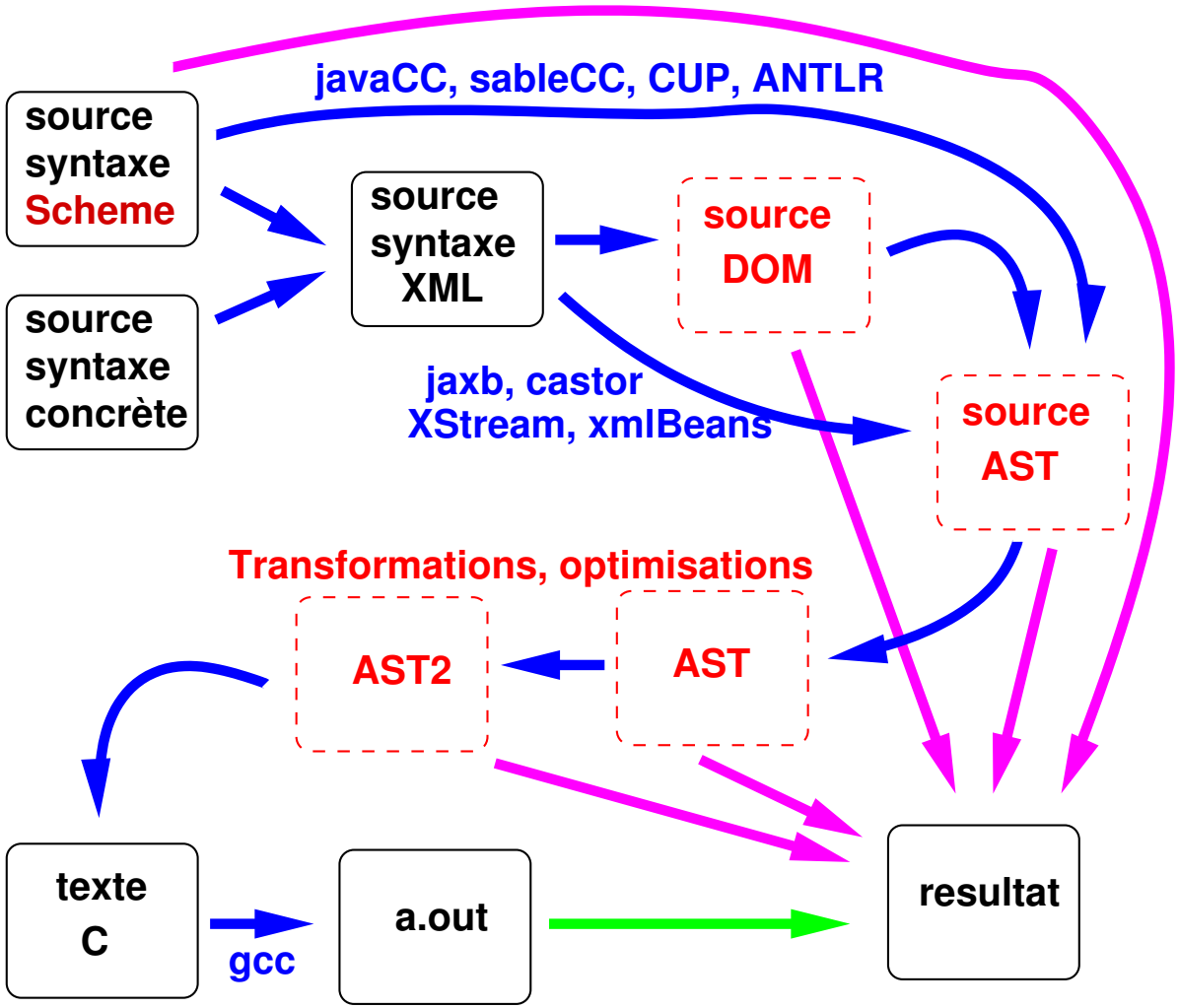
- interprétation pure sur chaîne de caractères : lent
- interprétation d'arbre (ou DAG) : rapide, traçable
- interprétation de code-octet : rapide, compact, portable

Concepts présents dans ILP1

- Les structures de contrôle : alternative, séquence, bloc local
- les opérateurs : `+`, `-`, etc.
- des variables prédéfinies : `pi`
- les fonctions primitives : `print`, `newline`
- instruction, expression, variable, opération, invocation
- les valeurs : entiers, flottants, chaînes, booléens.

Tous ces concepts existent en Java.

Grand schéma



Hypothèses

L'interprète est écrit en Java 5.

1. Il prend un IAST,
2. calcule sa valeur,
3. exécute son effet.

Il ne se soucie donc pas des problèmes syntaxiques (d'ILP1) mais uniquement des problèmes sémantiques.

Représentation des valeurs

On s'appuie sur Java :

- Les entiers seront représentés par des `BigInteger`
- Les flottants par des `Double`
- Les booléens par des `Boolean`
- Les chaînes par des `String`

En définitive, une valeur d'ILP1 sera un `Object` Java.

Le cas des nombres

La grammaire d'ILP1 permet le programme suivant (en syntaxe C) :

```
{ i = 12345678901234567890123456789012345678901234567890;
  f = 1.23456789012345678901234567890e-2345678901234567890
  ...
```

Une restriction d'implantation est que les flottants sont limités aux valeurs que prennent les `double` en revanche les entiers sont scrupuleusement respectés.

Environnement

En tout point, l'**environnement** est l'ensemble des noms utilisables en ce point.
Le bloc local introduit des variables locales.
Des variables globales existent également qui nomment les fonctions (primitives) prédéfinies : `print`, `newline` ou bien la constante `pi`.
On distingue donc l'environnement **global** de l'environnement **local** (ou **lexical**)

Interprétation

L'interprétation est donc un processus calculant une valeur ou un effet à partir :

1. d'un code (expression ou instruction)
2. et d'un environnement.

La méthode `eval` sur les AST

```
valeur = code.eval(environnement);
```

Bibliothèque d'exécution

L'environnement contient des fonctions qui s'appuient sur du code qui doit être présent pour que l'interprète fonctionne (gestion de la mémoire, des environnements, des canaux d'entrée/sortie, etc.). Ce code forme la **bibliothèque d'exécution**. Pour l'interprète d'ILP1, elle est écrite en Java.
La bibliothèque d'exécution (ou *runtime*) de Java est écrite en Java et en C et comporte la gestion de la mémoire, des tâches, des entités graphiques, etc. ainsi que l'interprète de code-octet.
Est **primitif** ce qui ne peut être défini dans le langage.
Est **prédéfini** ce qui est présent avant toute exécution.

Opérateurs

ILP1 a deux espaces de noms :

- l'environnement des variables (extensibles avec `let`)
- l'environnement des opérateurs (immuable)

L'**environnement** est formé de ces deux espaces de noms.

Interprète en Java

On souhaite ajouter à tous les objets représentant un morceau de code une méthode eval quelque chose comme :

```
Object eval (LexicalEnvironment lexenv, Common common)
    throws Exception;
```

On sépare environnement lexical et global. Les opérateurs sont dans l'environnement global. Des exceptions peuvent surgir !
On souhaite se réserver le droit de changer d'implantation d'environnements (pourquoi ?) :

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.eval;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;
import fr.upmc.ilp.ilp1.runtime.*;

public abstract class EAST implements IAST {

  public abstract Object eval (ILexicalEnvironment lex
    throws EvaluationException;
```

ILexicalEnvironment

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.runtime;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;

public interface ILexicalEnvironment {

  /** Renvoie la valeur d'une variable si présente dans
   * l'environnement.
   *
   * @throws EvaluationException si la variable est abse
   */
  Object lookup (IASTvariable variable)
    throws EvaluationException;

  /** Étend l'environnement avec un nouveau couple variab
  ILexicalEnvironment extend (IASTvariable variable, Obje
}
```

Une implantation naïve est une liste chaînée.

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/runtime/LexicalEnvironment.java

ICommon

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.runtime;

public interface ICommon {
  /** Appliquer un opérateur unaire sur un opérande. *
  Object applyOperator(String opName, Object operand)
        throws EvaluationException;
  /** Appliquer un opérateur binaire sur deux opérande
  Object applyOperator(String opName,
                       Object leftOperand,
                       Object rightOperand)
        throws EvaluationException;
}
```

Un opérateur n'est pas un « citoyen de première classe », il ne peut qu'être appliqué.

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/runtime/Common.java

Hiérarchies

```
EAST pour evaluable AST
    eval(ILexicalEnvironment, ICommon)

ILexicalEnvironment
    lookup(IASTvariable)
    extend(IASTvariable, Object)

ICommon
    applyOperator(opName, operand)
    applyOperator(opName, leftOperand, rightOperand
```

Opérateurs

Le code de bien des opérateurs se ressemblent à quelques variations syntaxiques près : il faut factoriser !
Pour ce faire, j'utilise un macro-générateur (un bon exemple est PHP `http://www.php.net/`).

```
texte ----MacroGénérateur----> texte.java
```

Des patrons définissent les différents opérateurs de la bibliothèque d'exécution :

Patron des comparateurs arithmétiques

```
private Object operatorLessThan
        (final String opName, final Object a, final Object b
  throws EvaluationException {
  checkNotNull(opName, 1, a);
  checkNotNull(opName, 2, b);
  if ( a instanceof BigInteger ) {
    final BigInteger bi1 = (BigInteger) a;
    if ( b instanceof BigInteger ) {
      final BigInteger bi2 = (BigInteger) b;
      return Boolean.valueOf(bi1.compareTo(bi2) < 0);
    } else if ( b instanceof Double ) {
      final double bd1 = bi1.doubleValue();
      final double bd2 = ((Double) b).doubleValue();
      return Boolean.valueOf(bd1 < bd2);
    } else {
      return signalWrongType(opName, 2, b, "number");
    }
  } else if ( a instanceof Double ) {
    ...
```

Fonctions génériques

ILP1 n'est pas typé statiquement.
ILP1 est typé dynamiquement : chaque valeur a un type (pour l'instant booléen, entier, flottant, chaîne).
Un opérateur arithmétique peut donc être appliqué à :

argument1	**argument2**	**résultat**
entier	entier	entier
entier	flottant	flottant
flottant	entier	flottant
flottant	flottant	flottant
autre	*autre*	**Erreur !**

Méthode binaire, **contagion flottante** !

Évaluation

- Évaluation des structures de contrôle
- Évaluation des constantes, des variables
- Évaluation des invocations, des opérations

Puzzles sémantiques

Les programmes suivants sont-ils légaux ? sensés ? Que font-ils ?

```
let x = print in 3;

let x = print in x(3);

let print = 3 in print(print);

if true then 1 else 2;
if 1 then 2 else 3;
if 0 then 1 else 2;
if "" then 1 else 2;
```

Alternative

```
public Object eval (ILexicalEnvironment lexenv, ICommon c
  throws EvaluationException {              // transmission
  Object bool = condition.eval(lexenv, common);
  if ( bool instanceof Boolean ) {          // typage
    Boolean b = (Boolean) bool;
    if ( b.booleanValue() ) {
      return consequence.eval(lexenv, common);
    } else {
      if ( isTernary() ) {
        return alternant.eval(lexenv, common);
      } else {
        return EAST.voidConstant();         // valeur
      }
    }
  } else {
    return consequence.eval(lexenv, common);
  }
}
```

Séquence

```
public Object eval (ILexicalEnvironment lexenv, ICom
  throws EvaluationException {
  Object last = EAST.voidConstant();
// !
  for ( int i = 0 ; i < instruction.length ; i++ ) {
    last = instruction[i].eval(lexenv, common);
  }
  return last;
}
```

Constante

Toutes les constantes sont décrites par une chaîne.

```
public abstract class EASTConstant extends EAST
{

  protected EASTConstant (Object value) {
    this.valueAsObject = value;
  }
  protected final Object valueAsObject;

  /** Toutes les constantes valent leur propre va

  public Object eval (ILexicalEnvironment lexenv,
    return valueAsObject;
  }
}
```

Flottant

```
public class EASTflottant
  extends EASTConstant
  implements IASTfloat {

  public EASTflottant (String valeur) {
    super(new Double(valeur));
  }
}
```

Variable

```
public Object eval (ILexicalEnvironment lexenv, ICom
  throws EvaluationException {
  return lexenv.lookup(this);
}
```

et l'environnement (une liste chaînée de couples (nom, valeur)) :

```
public class LexicalEnvironment
  implements ILexicalEnvironment {

  public LexicalEnvironment (IASTvariable variable,
                             Object value,
                             ILexicalEnvironment next
  {
    this.variableName = variable.getName();
    this.value = value;
    this.next = next;
  }
```

```
  private final String variableName;
  private volatile Object value;
  private final ILexicalEnvironment next;

  public Object lookup (IASTvariable variable)
    throws EvaluationException {
    if ( variableName.equals(variable.getName()) ) {
      return value;
    } else {
      return next.lookup(variable);
    }
  }

  /** On peut étendre tout environnement. */
  public ILexicalEnvironment extend (IASTvariable va
    return new LexicalEnvironment(variable, value, t
  }
}
```

Hiérarchies

```
EAST    // pour evaluable AST
    eval(ILexicalEnvironment, ICommon)
            fr.upmc.ilp.ilp1.eval.*

ILexicalEnvironment
    lookup(IASTvariable)
    extend(IASTvariable, Object)
            fr.upmc.ilp.ilp1.runtime.LexicalEnvironmen
            fr.upmc.ilp.ilp1.runtime.EmptyLexicalEnvir

ICommon
    applyOperator(opName, operand)
    applyOperator(opName, leftOperand, rightOperand)
            fr.upmc.ilp.ilp1.runtime.Common
```

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/runtime/*.java

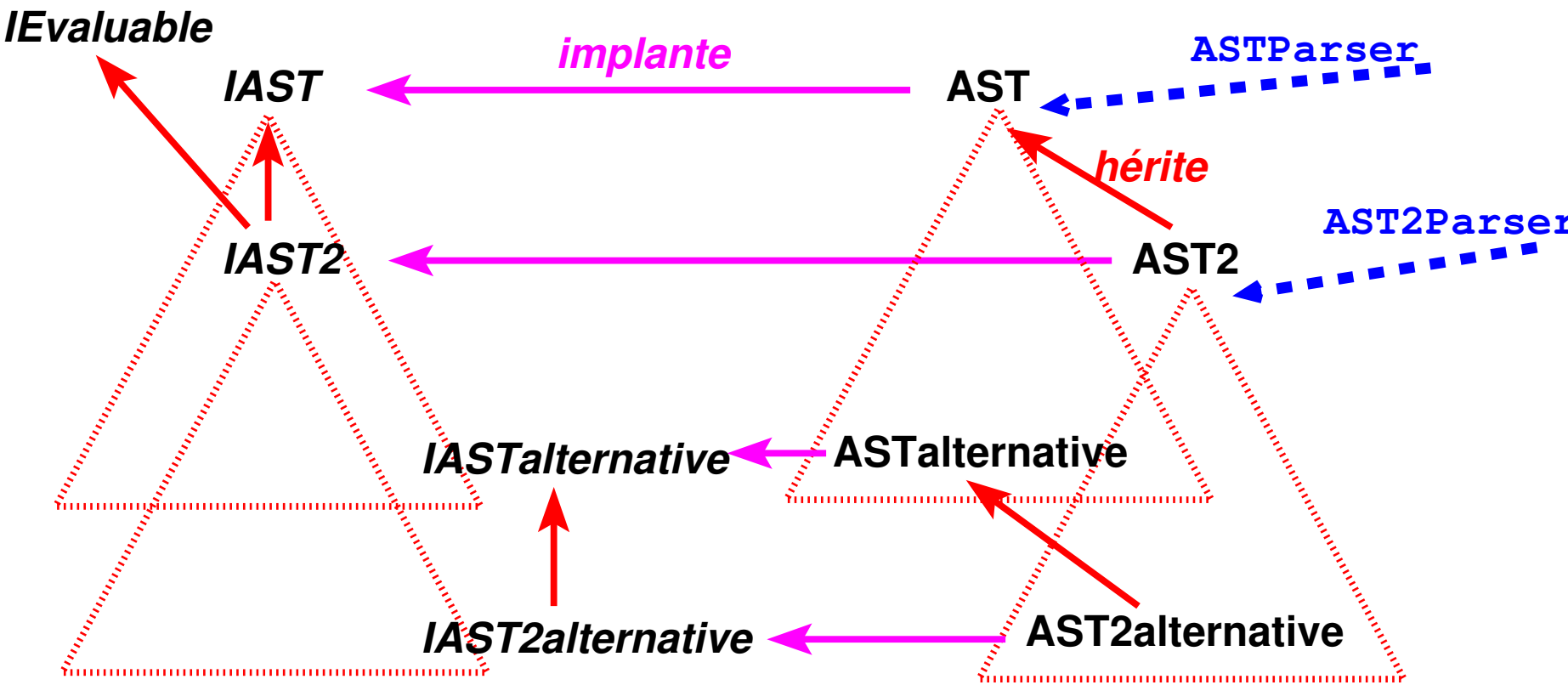
Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/eval/*.java

Problème !

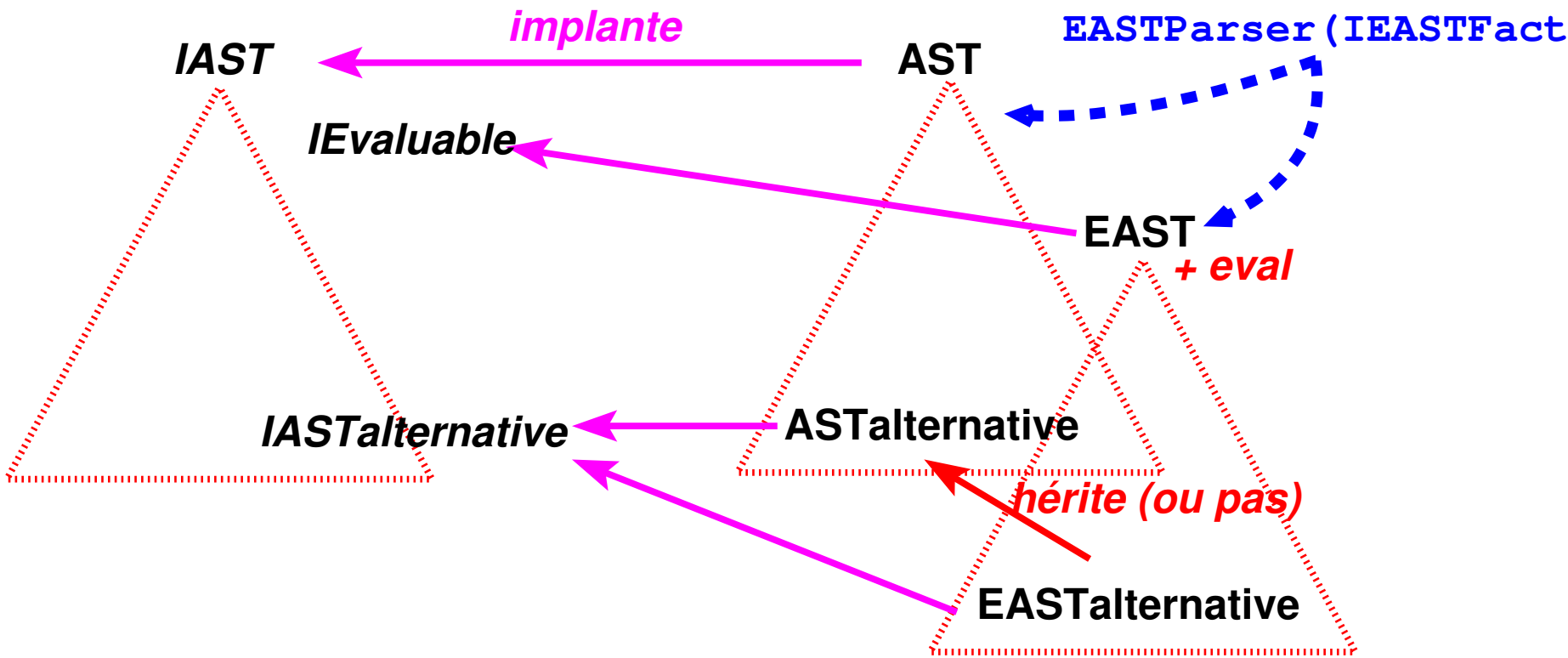
Comment installer la méthode `eval` ?

1. il est interdit de modifier une interface comme `IAST`
2. on ne peut modifier le code du cours précédent `ASTParser`

Solution 1 : duplication



Solution 2 : analyseur partagé



Fabrique : interface

Une **fabrique** permet de maîtriser explicitement le processus d'instanciation.

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.eval;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;

public interface IEASTFactory {

  /** Créer une séquence d'AST. */
  IASTsequence newSequence (IASTlist asts);

  /** Créer une alternative binaire. */
  IASTalternative newAlternative (IAST condition,
                                  IAST consequent);

  /** Créer une alternative ternaire. */
  IASTalternative newAlternative (IAST condition,
                                  IAST consequent,
                                  IAST alternant);
```

Fabrique : implantation

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.eval;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;

/** Une fabrique pour fabriquer des EAST. */

public class EASTFactory implements IEASTFactory {

  /** Créer une séquence d'AST. */
  public IASTsequence newSequence (IASTlist asts) {
    return new EASTsequence(asts);
  }

  /** Créer une alternative binaire. */
  public IASTalternative newAlternative (IAST condition
                                         IAST consequen
    return new EASTalternative(condition, consequent);
  }
```

Emploi de la fabrique

```
public class EASTParser {

  public EASTParser (final IEASTFactory factory) {
    this.factory = factory;
  }
  private final IEASTFactory factory;

  public IAST parse (final Node n)
  ...
      case Node.ELEMENT_NODE: {
        final Element e = (Element) n;
        final NodeList nl = e.getChildNodes();
        final String name = e.getTagName();

        ...
        } else if ( "sequence".equals(name) ) {
          return factory.newSequence(this.parseList(nl));

        } else if ( "alternative".equals(name) ) {
          final IAST cond   = findThenParseChild(nl, "condition");
          final IAST conseq = findThenParseChild(nl, "consequence");
          try {
            final IAST alt = findThenParseChild(nl, "alternant");
            return factory.newAlternative(cond, conseq, alt);
          } catch (ILPException exc) {
            return factory.newAlternative(cond, conseq);
          }
```

Architecture de tests

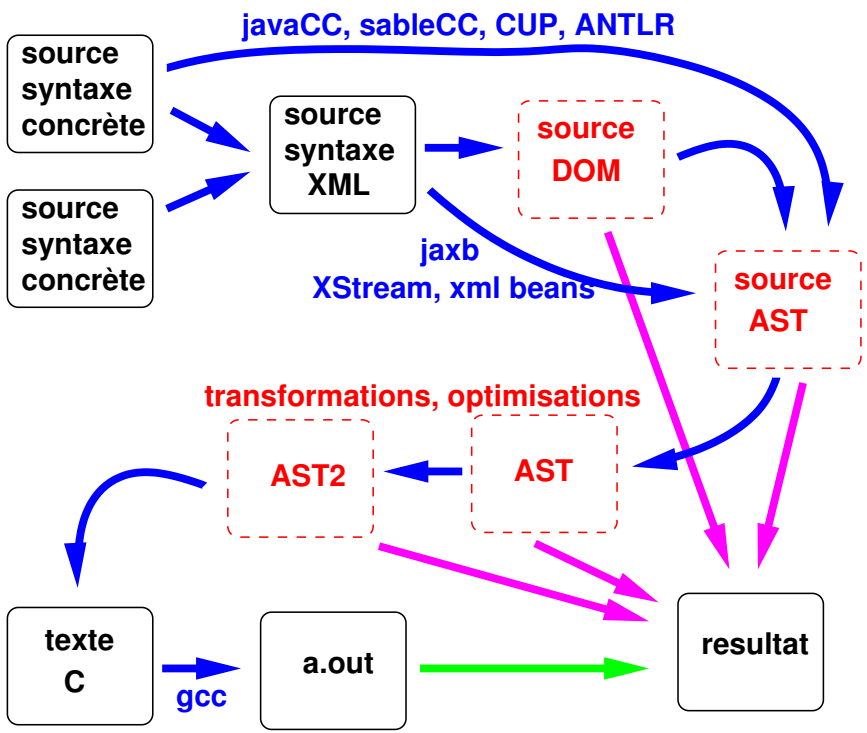
Tests unitaires et suite de tests :

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/eval/EASTTest.java

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/eval/EASTPrimitiveTest.java

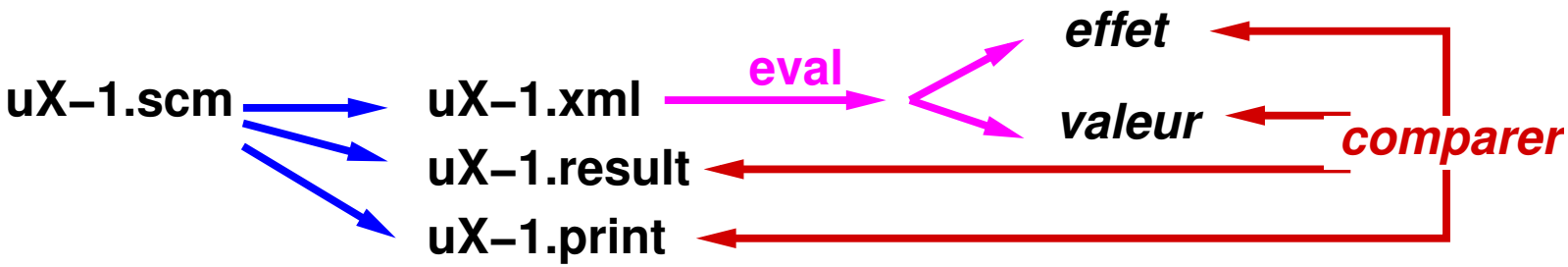
Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/eval/EASTTestSuite.java

Pour des tests plus conséquents . . .



Batterie de tests

Ressource: Grammars/Scheme/u*-1.scm



Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/eval/EASTFileTest.java

Récapitulation des paquetages

```
fr.upmc.ilp.tool1
fr.upmc.ilp.ilp1
fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces
fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml
fr.upmc.ilp.ilp1.runtime
fr.upmc.ilp.ilp1.eval
fr.upmc.ilp.ilp1.cgen      prochain cours...
```

Récapitulation

- interprétation
- choix de représentation (à l'exécution) des valeurs
- bibliothèque d'exécution
- environnement lexical d'exécution

- JUnit
- ajout de fonctionnalité
- fabrique

Plan du cours 3

- Compilation vers C
- Représentation des concepts en C
- Bibliothèque d'exécution

Compilation vers C

Analyser la représentation du programme pour le transformer en un programme calculant sa valeur et son effet.
Un interprète fait, un compilateur fait faire.

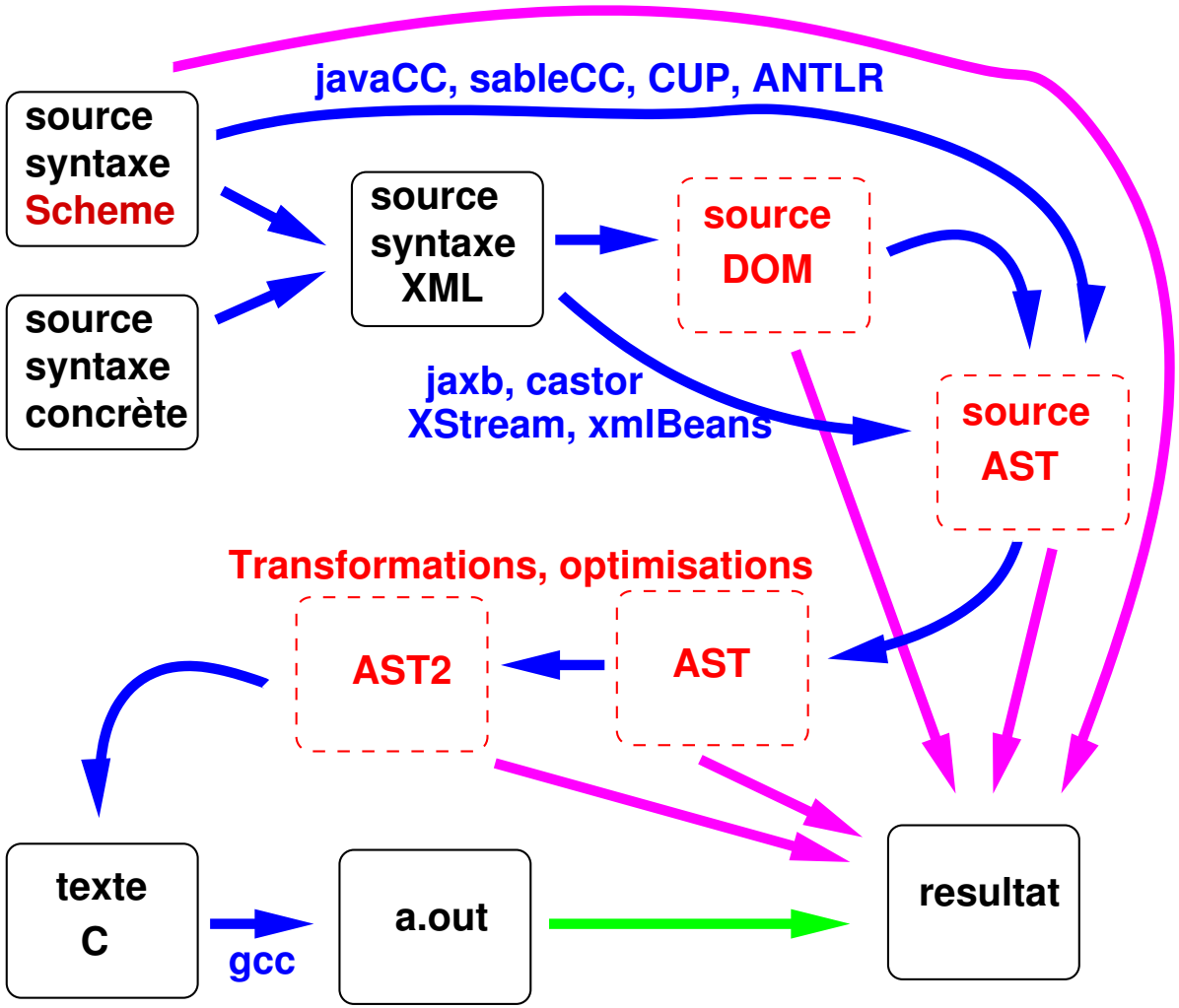
- Programme : données $\longrightarrow$ résultat
- Interprète : programme $\times$ données $\longrightarrow$ résultat
- Compilateur : programme $\longrightarrow$ données $\longrightarrow$ résultat

Concepts présents dans ILP1

- Les structures de contrôle : alternative, séquence, bloc local
- les opérateurs : +, -, etc.
- les fonctions primitives : `print`, `newline`
- instruction, expression, variable, opération, invocation
- les valeurs : entiers, flottants, chaînes, booléens.

mais, en C, pas de typage dynamique, pas de gestion de la mémoire.
Par contre, C connaît la notion d'environnement.

Grand schéma



Hypothèses

Le compilateur est écrit en Java.

1. Il prend un IAST,
2. le compile en C.

Il ne se soucie donc pas des problèmes syntaxiques d'ILP1 mais uniquement des problèmes sémantiques

- que ce soit lui qui le traite (propriété **statique**)
- ou le code engendré qui le traite (propriété **dynamique**).

Statique/dynamique

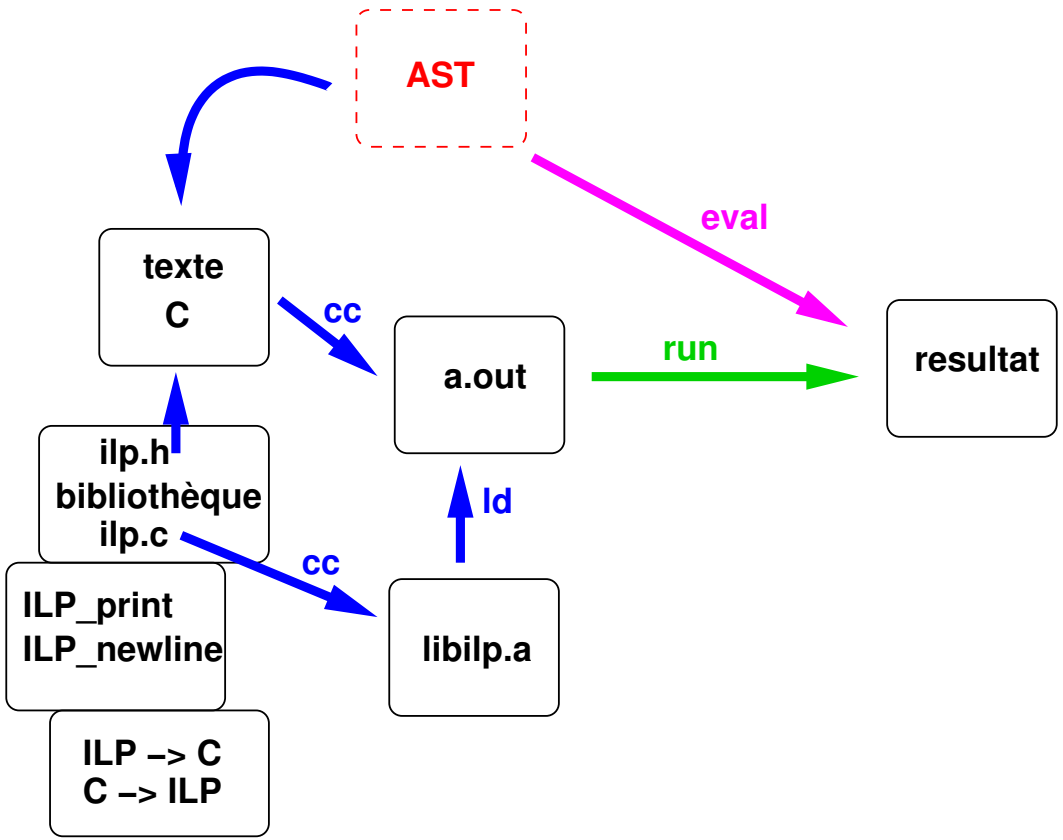
Est **dynamique** ce qui ne peut être résolu qu'à l'exécution.
Est **statique** ce qui peut être déterminé avant l'exécution.

Statique et dynamique

```
{ int x = round(2.78);
  print(y);              // y variable inconnue!
  float z;
  print(z);              // z indéfinie!
  if ( foo(x) ) {
    z = x/(3 - x);       //
    print(z);            // z est définie
  };
  print(z)               //
}
```

Composantes

On souhaite que le compilateur ne dépende pas de la représentation exacte des données.

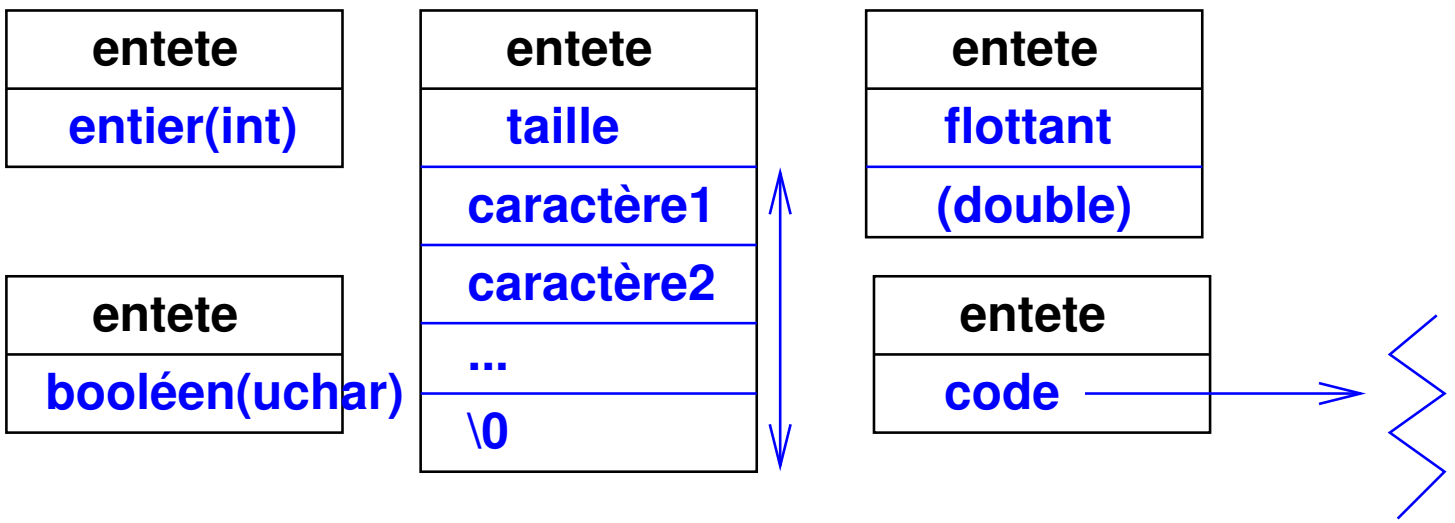


Représentation des valeurs

On s'appuie sur C :

Ressource: C/ilp.c

Afin de pouvoir identifier leur type à l'exécution (propriété dynamique), toute valeur est une structure allouée dotée d'un entête (indiquant son type) et d'un corps et manipulée par un pointeur.



```
typedef struct ILP_Object {
      enum ILP_Kind       _kind;
      union {
            unsigned char asBoolean;
            int           asInteger;
            double        asFloat;
            struct asString {
                  int       _size;
                  char      asCharacter[1];
            } asString;
            struct asPrimitive {
                  void*     _code;
            } asPrimitive;
            struct asComplex {
              double _real;
              double _im;
            } asComplex;
      }                     _content;
} *ILP_Object;
```

```
enum ILP_Kind {
      ILP_BOOLEAN_KIND          = 0xab010ba,
      ILP_INTEGER_KIND          = 0xab020ba,
      ILP_FLOAT_KIND            = 0xab030ba,
      ILP_STRING_KIND           = 0xab040ba,
      ILP_PRIMITIVE_KIND        = 0xab050ba,
      ILP_COMPLEX_KIND          = 0xab060ba
};
enum ILP_BOOLEAN_VALUE {
      ILP_BOOLEAN_FALSE_VALUE = 0,
      ILP_BOOLEAN_TRUE_VALUE  = 1
};
```

```
struct ILP_Object ILP_object_true = {
      ILP_BOOLEAN_KIND,
      { ILP_BOOLEAN_TRUE_VALUE }
};

#define ILP_TRUE  (&ILP_object_true)
```

Structures

Pour chaque type de données d'ILP :

- constructeurs (allocateurs)
- reconnaisseur (grâce au type présent à l'exécution)
- accesseurs
- opérateurs divers

et, à chaque fois, les macros (l'interface) et les fonctions (l'implantation).

Autour des booléens

Fonctions ou macros d'appoint :

```
#define ILP_Boolean2ILP(b) \
  ILP_make_boolean(b)
#define ILP_isBoolean(o) \
  ((o)->_kind == ILP_BOOLEAN_KIND)
#define ILP_CheckIfBoolean(o) \
  if ( ! ILP_isBoolean(o) ) { \
       ILP_domain_error("Not a boolean", o); \
  };
#define ILP_isEquivalentToTrue(o) \
  ((o) != ILP_FALSE)
```

```
ILP_Object
ILP_make_boolean (int b)
{
      if ( b ) {
            return ILP_TRUE;
      } else {
            return ILP_FALSE;
      }
}
```

Autour des entiers

Fonctions ou macros d'appoint :

```
#define ILP_Integer2ILP(i) \
  ILP_make_integer(i)
#define ILP_isInteger(o) \
  ((o)->_kind == ILP_INTEGER_KIND)
#define ILP_CheckIfInteger(o) \
  if ( ! ILP_isInteger(o) ) { \
       ILP_domain_error("Not an integer", o); \
  };
#define ILP_AllocateInteger() \
  ILP_malloc(sizeof(struct ILP_Object), ILP_INTEGE
```

```
#define ILP_Minus(o1,o2) \
  ILP_make_subtraction(o1, o2)
#define ILP_LessThan(o1,o2) \
  ILP_compare_less_than(o1,o2)
#define ILP_LessThanOrEqual(o1,o2) \
  ILP_compare_less_than_or_equal(o1,o2)
```

```
ILP_Object
ILP_make_integer (int d)
{
      ILP_Object result = ILP_AllocateInteger();
      result->_content.asInteger = d;
      return result;
}

ILP_Object
ILP_malloc (int size, enum ILP_Kind kind)
{
      ILP_Object result = malloc(size);
      if ( result == NULL ) {
            return ILP_error("Memory exhaustion");
      };
      result->_kind = kind;
      return result;
}
```

```
ILP_Object
ILP_make_addition (ILP_Object o1, ILP_Object o2)
{
  if ( ILP_isInteger(o1) ) {
    if ( ILP_isInteger(o2) ) {
      ILP_Object result = ILP_AllocateInteger();
      result->_content.asInteger =
          o1->_content.asInteger
        + o2->_content.asInteger;
      return result;
    } else if ( ILP_isFloat(o2) ) {
      ILP_Object result = ILP_AllocateFloat();
      result->_content.asFloat =
          o1->_content.asInteger
        + o2->_content.asFloat;
      return result;
    } else {
      return ILP_domain_error("Not a number", o2);
    }
    ...
```

Attention : l'addition consomme de la mémoire (comme en Java) !

```
#define DefineComparator(name,op)
\
ILP_Object
\
ILP_compare_##name (ILP_Object o1, ILP_Object o2)
\
{
\
  if ( ILP_isInteger(o1) ) {
\
    if ( ILP_isInteger(o2) ) {
\
      return ILP_make_boolean(
\
          o1->_content.asInteger op o2->_content.asInteger); \
    } else if ( ILP_isFloat(o2) ) {
\
      return ILP_make_boolean(
\
          o1->_content.asInteger op o2->_content.asFloat);
\
    } else {
\
      return ILP_domain_error("Not a number", o2);
\
    }
   ...
```

Primitives

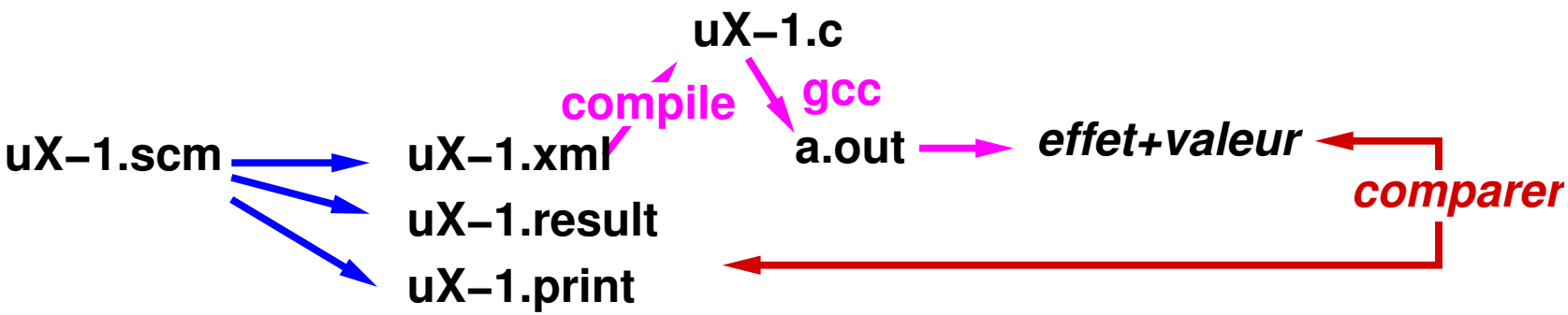
```
ILP_Object
ILP_print (ILP_Object o)
{
  switch (o->_kind) {
    case ILP_INTEGER_KIND: {
      fprintf(stdout, "%d", o->_content.asInteger
      break;
    }
    case ILP_FLOAT_KIND: {
      fprintf(stdout, "%12.5g", o->_content.asFlo
      break;
    }
    case ILP_BOOLEAN_KIND: {
      fprintf(stdout, "%s", (ILP_isTrue(o) ? "tru
      break;
    }
    ...
```

Mise en œuvre du compilateur

Ressource: Java/src/fr/upmc/ilp/ilp1/cgen/CgeneratorTest.java

```
public void setUp () {
  ICgenEnvironment common = new CgenEnvironment
  compiler = new Cgenerator(common);
  factory = new EASTFactory();
  lexenv = CgenEmptyLexicalEnvironment.create();
  lexenv = common.extendWithPrintPrimitives(lexe
}
private Cgenerator compiler;
private EASTFactory factory;
private ICgenLexicalEnvironment lexenv;
```

Mise en œuvre et test du compilateur



```
...
EAST east = (EAST) parser.parse(d);
// Compiler vers C
String ccode = compiler.compile(east, lexenv, "retur
FileTool.stuffFile(basefilename + ".c", ccode);
String program = "bash "
  + "C/compileThenRun.sh "                          //
  + basefilename + ".c";
ProgramCaller pc = new ProgramCaller(program);
pc.setVerbose();
pc.run();
String expectedResult = readExpectedResult(basefilen
String expectedPrinting = readExpectedPrinting(basef
assertEquals(expectedPrinting + expectedResult, pc.g
```

Plan du cours 4

- Génération de code
- Récapitulation
- Techniques Java

Compilation

Le compilateur doit avoir connaissance des environnements en jeu.
Il est initialement créé avec un environnement global :

Ressource: Java/fr/upmc/ilp/ilp1/cgen/Cgenerator.java

```
public Cgenerator (final ICgenEnvironment common)
  this.common = common;
}
private final ICgenEnvironment common;
```

et compile avec l'environnement lexical courant :

```
public synchronized String compile (
                final IAST iast,
                final ICgenLexicalEnvironment lexenv,
                final String destination)
  throws CgenerationException;
```

Environnement global

- Compiler les appels aux opérateurs,
- Compiler les appels aux primitives,
- Vérifier l'existence, l'arité,
- Coordonner les ressources communes.

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.cgen;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;
public interface ICgenEnvironment {
  /** Comment convertir un opérateur unaire en C. */
  String compileOperator1 (String opName)
    throws CgenerationException ;

  /** Comment convertir un opérateur binaire en C. *
  String compileOperator2 (String opName)
    throws CgenerationException ;

  /** un générateur de variables temporaires. */
  IASTvariable generateVariable ();

  /** L'enrichisseur d'environnement lexical avec le
  ICgenLexicalEnvironment
    extendWithPrintPrimitives (ICgenLexicalEnvironme
}
```

Environnement lexical

- Compiler une variable locale
- Détecter les variables manquantes

```
package fr.upmc.ilp.ilp1.cgen;
import fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces.*;
public interface ICgenLexicalEnvironment  {
  /** Renvoie le code compilé d'accès à cette variable.
*/
  String compile (IASTvariable variable)
    throws CgenerationException;
  /** Étend l'environnement avec une nouvelle variable et
   * nom la compiler. */
  ICgenLexicalEnvironment extend (IASTvariable variable,
                                  String compiledName );
  /** Étend l'environnement avec une nouvelle variable qu
   * compilée par son propre nom. */
  ICgenLexicalEnvironment extend (IASTvariable variable);
}
```

Génération de code

Le compilateur va essayer de produire du C ressemblant :

```
void analyzeExpression (IAST iast,
                        ICgenLexicalEnvironment le
                        ICgenEnvironment common)
  throws CgenerationException;
void analyzeInstruction (IAST iast,
                         ICgenLexicalEnvironment l
                         ICgenEnvironment common,
                         String destination)
  throws CgenerationException;
```

Tout repose sur une méthode analyze qui utilisera une méthode privée surchargée generate (afin de ne pas modifier les programmes précédents !)

```
private void analyze (IAST iast,
                      ICgenLexicalEnvironment le
                      ICgenEnvironment common,
                      String destination)
  throws CgenerationException {
  if ( iast instanceof IASTconstant ) {
    if ( iast instanceof IASTboolean ) {
      generate((IASTboolean) iast, lexenv, commo
    } else if ( iast instanceof IASTfloat ) {
      generate((IASTfloat) iast, lexenv, common
    ...
    } else {
      final String msg = "Unknown type of consta
      throw new CgenerationException(msg);
    }
```

```
    } else if ( iast instanceof IASTalternative )
      generate((IASTalternative) iast, lexenv, com
    } else if ( iast instanceof IASTinvocation ) {
      generate((IASTinvocation) iast, lexenv, comm
    } else if ( iast instanceof IASToperation ) {
      if ( iast instanceof IASTunaryOperation ) {
          ...
}
private void generate (final IASTunaryOperation ias
                       final ICgenLexicalEnviron
                       final ICgenEnvironment co
                       final String destination)
  throws CgenerationException {
      ...
}
```

Destination

Toute expression doit rendre un résultat.
Toute fonction doit rendre la main avec `return`.
La **destination** indique que faire de la valeur d'une expression ou d'une instruction.
Notations pour ILP1 :

$\overrightarrow{\textit{expression}}$	laisser la valeur en place
$\longrightarrow$`return` *programme*	sortir de la fonction avec la valeur
$\longrightarrow$`(void)` *instruction*	finir l'instruction en perdant la valeur

Compilation de l'alternative

$$\overrightarrow{alternative}^{d}$$

```
if ( ILP_isEquivalentToTrue( condition ) ) {
   consequence ;
} else {
   alternant ;
}
```

Compilation de la séquence

$\longrightarrow$d
séquence

```
{
    ⟶(void)
  instruction1  ;
    ⟶(void)
  instruction2  ;
  ...
            ⟶d
  dernièreInstruction  ;
}
```

Compilation du bloc unaire I

Comme au judo, utiliser la force du langage cible !

$\overrightarrow{bloc}^{d}$

```
{
   ILP_Object variable = initialisation→ ;

   instruction1 →(void) ;
   instruction2 →(void) ;
   ...
   dernièreInstruction →d ;
}
```

Mais ...

Compilation du bloc unaire II

$\overrightarrow{bloc}^{d}$

```
{
   ILP_Object temporaire = initialisation ;
   ILP_Object variable = temporaire;

   instruction1 (void) ;
   instruction2 (void) ;
   ...
   dernièreInstruction d ;
}
```

En C, une variable existe dès qu'elle est nommée.

Compilation d'une constante

$$\xrightarrow{} \mathtt{d}$$
$$\mathit{constante}$$

```
d   ILP_Integer2ILP(constanteEntière)    /* ou Cgenera
d   ILP_Float2ILP(constanteFlottante)
d   ILP_TRUE
d   ILP_FALSE
d   ILP_String2ILP("constanteChaînePlusProtection")
```

Compilation d'une invocation

On utilise la force du langage C. La bibliothèque d'exécution comprend également les implantations des fonctions prédéfinies `print` et `newline` (respectivement `ILP_print` et `ILP_newline`).

$$\overrightarrow{invocation}^{\longrightarrow d}$$

```
d fonctionCorrespondante(
```
$\overrightarrow{argument1}$,
$\overrightarrow{argument2}$,
`...`)

Compilation d'une opération

À chaque opérateur d'ILP1 correspond une fonction dans la bibliothèque d'exécution.

$$\overrightarrow{opération}^{\longrightarrow \mathtt{d}}$$

```
d fonctionCorrespondante(
```
$\overrightarrow{opérandeGauche}^{\longrightarrow}$,
$\overrightarrow{opérandeDroit}^{\longrightarrow}$)

Compilation d'une variable

$$\xrightarrow{\texttt{d}} \mathit{variable}$$

```
d variable      /* ou CgenerationException */
```

Attention aussi une conversion (*mangling*) est parfois nécessaire !

Exemples

```
;;; $Id: u10-1.scm 405 2006-09-13 17:21:53Z queinnec $
(comment "operateur binaire -" 9)
(- 43 34)

;;; end of u10-1.scm

{
  return ILP_Minus( ILP_Integer2ILP(43) ,
                    ILP_Integer2ILP(34) ) ;
}
```

```
;;; $Id: u29-1.scm 405 2006-09-13 17:21:53Z queinnec $
(comment "bloc unaire (portee des initialisations)" 30
(let ((x 3))
  (let ((x (+ x x)))
    (* x x) ) )

;;; end of u29-1.scm
```

```
{
  { /* let x = 3 in */
    ILP_Object TEMP6 = ILP_Integer2ILP(3) ;
    ILP_Object x = TEMP6 ;
    {
      { /* let x = x + x in */
        ILP_Object TEMP7 = ILP_Plus( x , x ) ;
        ILP_Object x = TEMP7 ;
        { /* x * x */
          return ILP_Times( x , x ) ;
        }
      };
    }     /* conflit si mot clé */
  };      /* conflit possible TEMPi */
}
```

Habillage final

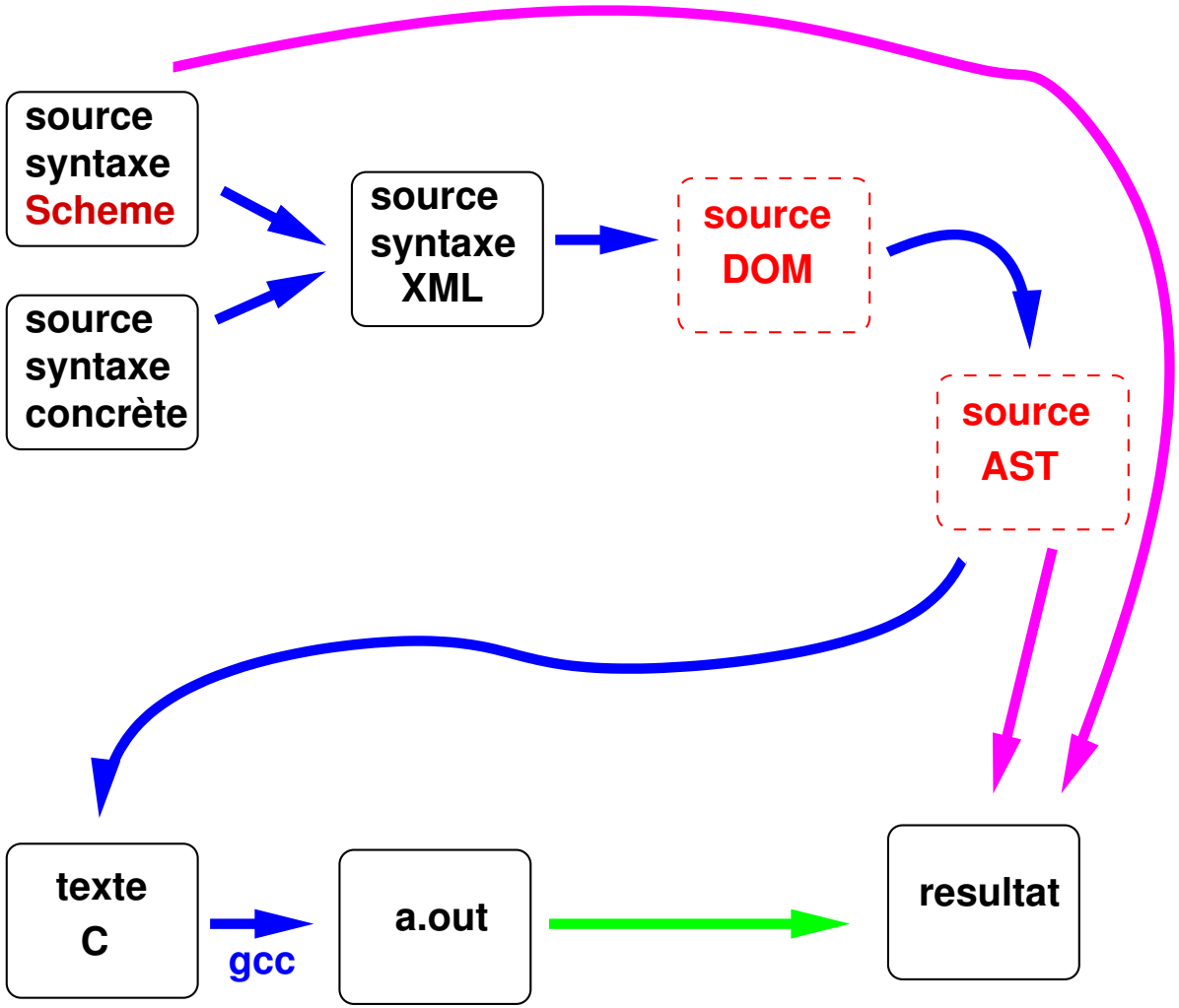
Le script `compileThenRun.sh` insère le C engendré dans un vrai programme syntaxiquement complet :

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "ilp.h"

ILP_Object program ()
#   include FICHIER_C

int main (int argc, char *argv[]) {
     ILP_print(program());
     ILP_newline();
     return EXIT_SUCCESS;
}
```

D'autres habillages sont possibles !

Ne pas oublier en compilant de lier avec la bibliothèque `libilp.a`.

Grandes masses



Les grandes masses, paquetages et leur fonction :

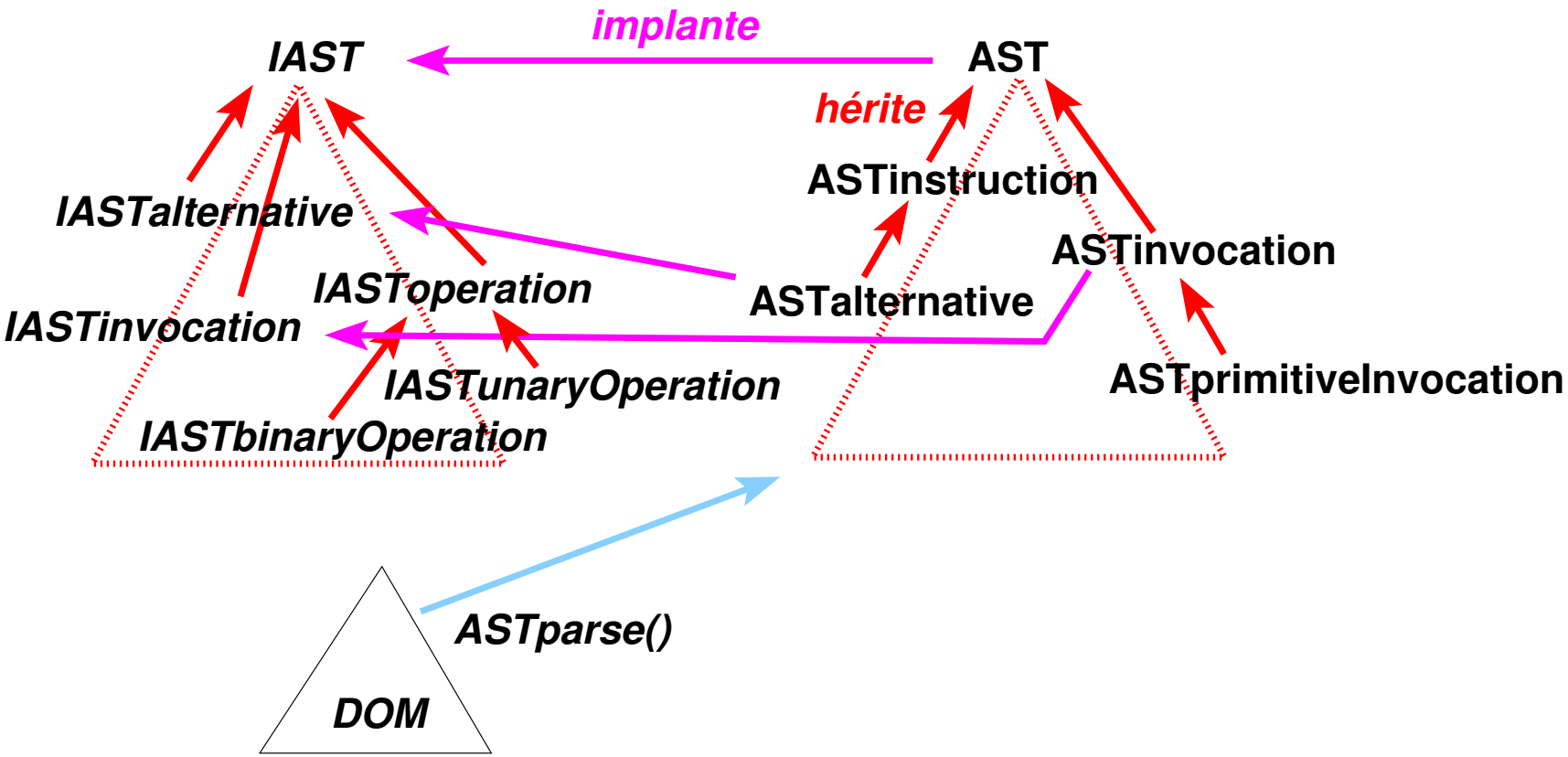
```
fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces     interfaces d'AST
                 fromxml        texte -> AST
                 runtime        bibliothèque d'exécuti
                 eval           interprète
                 cgen           compilateur
C/libilp.a                      bibliothèque d'exécuti
```

Interfaces

```
      En fr.upmc.ilp.ilp1.interfaces
IAST                        Hiérarchie minimale
  IASTalternative
  IASTconstant
    IASTboolean
    IASTfloat
    IASTinteger
    IASTstring
  IASTinvocation
  IASToperation
    IASTunaryOperation
    IASTbinaryOperation
  IASTsequence
  IASTvariable
...
```

Analyse syntaxique

```
      En fr.upmc.ilp.ilp1.fromxml
AST                                Hiérarchie plate
  ASTalternative
  ASTblocUnaire
  ASTbooleen
  ASTchaine
  ASTentier
  ASTinvocation
    ASTinvocationPrimitive
...
ASTParser
ASTException
```



Bibliothèque d'interprétation

En fr.upmc.ilp.ilp1.runtime

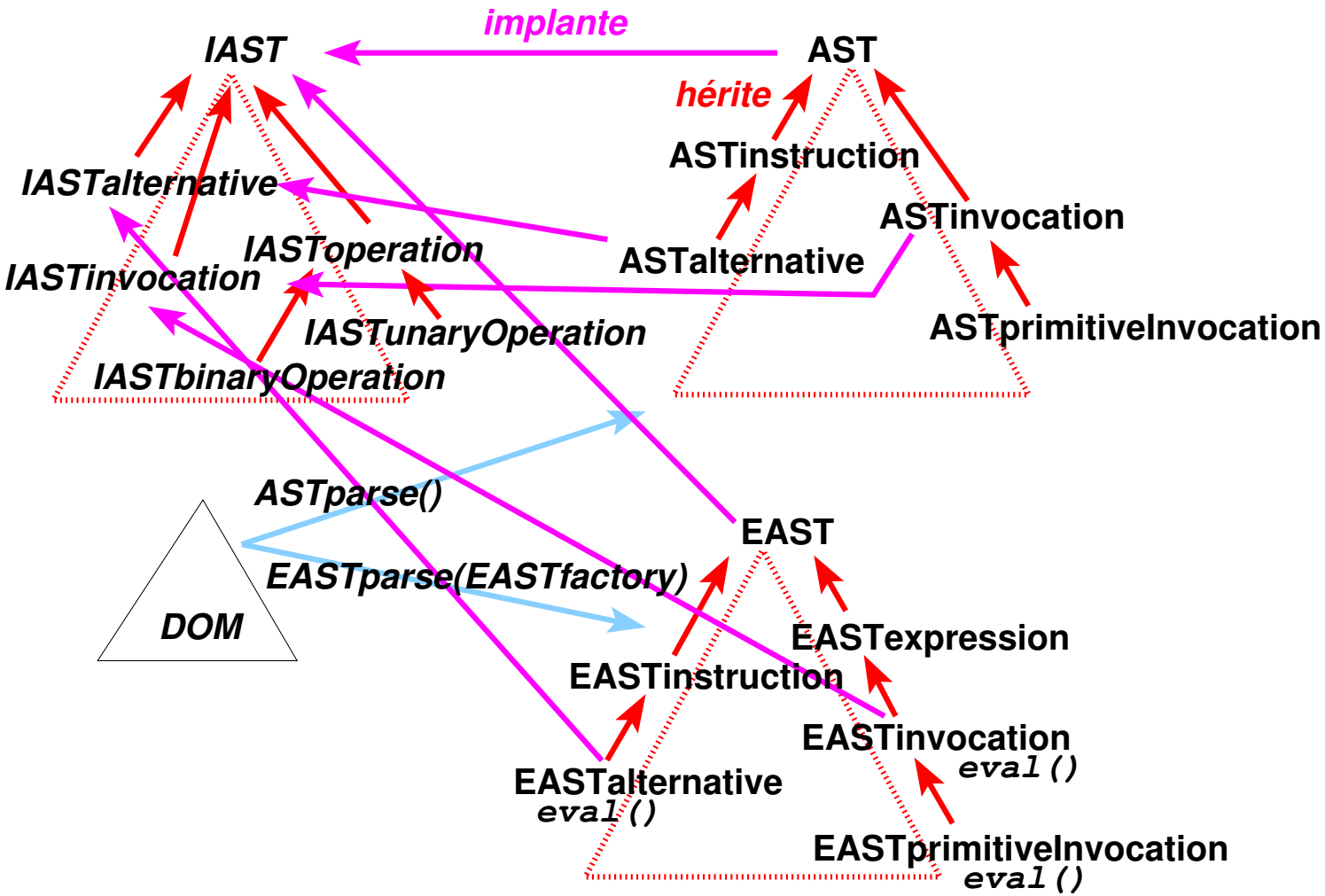
```
ILexicalEnvironment
  LexicalEnvironment
  EmptyLexicalEnvironment
ICommon
  Common
  CommonPlus
PrintStuff                Extenseurs d'ICommon
ConstantsStuff
Invokable                 Pour les primitives
  AbstractInvokableImpl
```

Interprétation

En fr.upmc.ilp.ilp1.eval

```
EAST                          avec méthode eval
  EASTalternative
  EASTblocUnaire
  EASTConstant
    EASTbooleen
    EASTchaine
    EASTentier
    EASTflottant
  EASTOperation
    EASTOperationUnaire
    EASTOperationBinaire
  EASTvariable
  ...
```

```
IEASTFactory        fabrique
  EASTFactory
EASTParser          paramétré par fabrique
EASTException
```



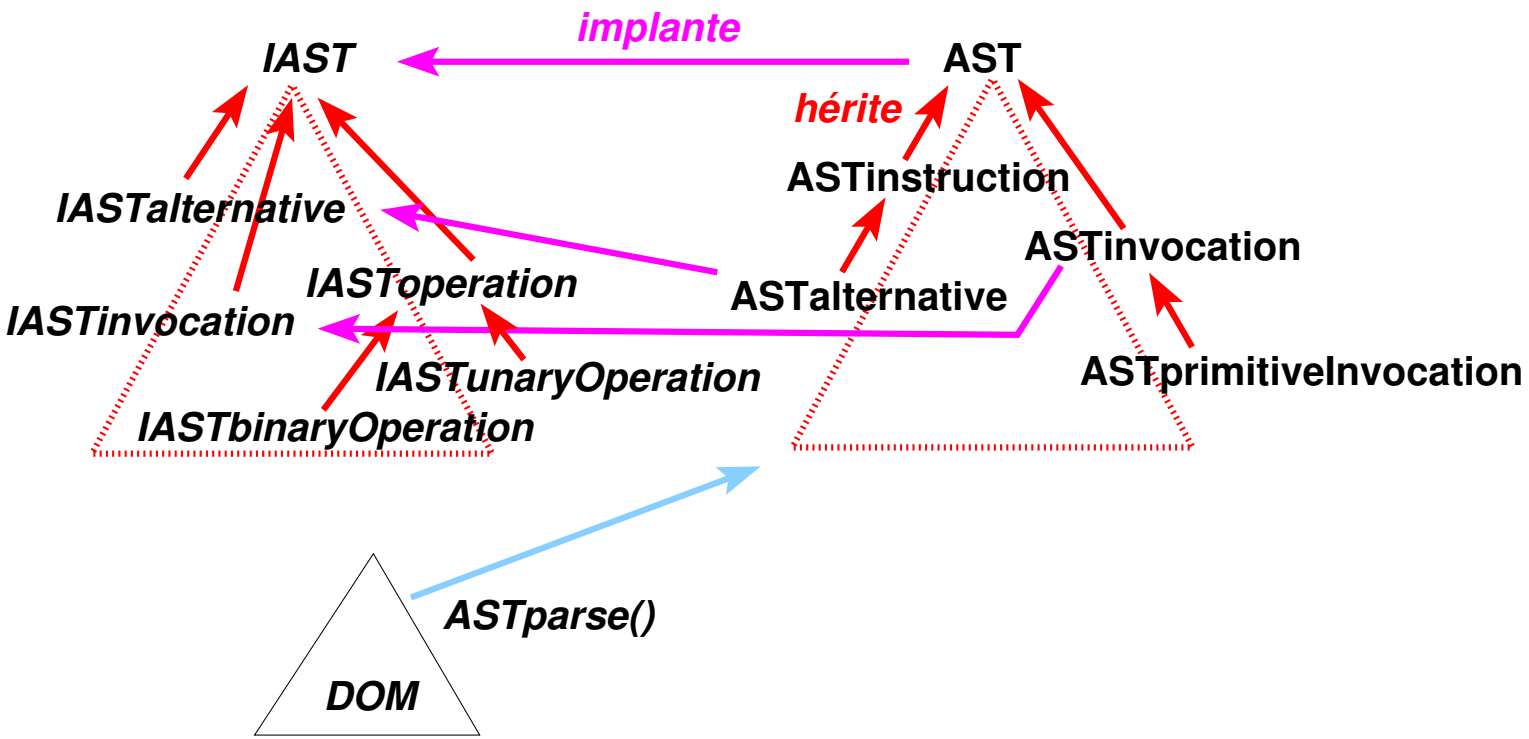
Compilation

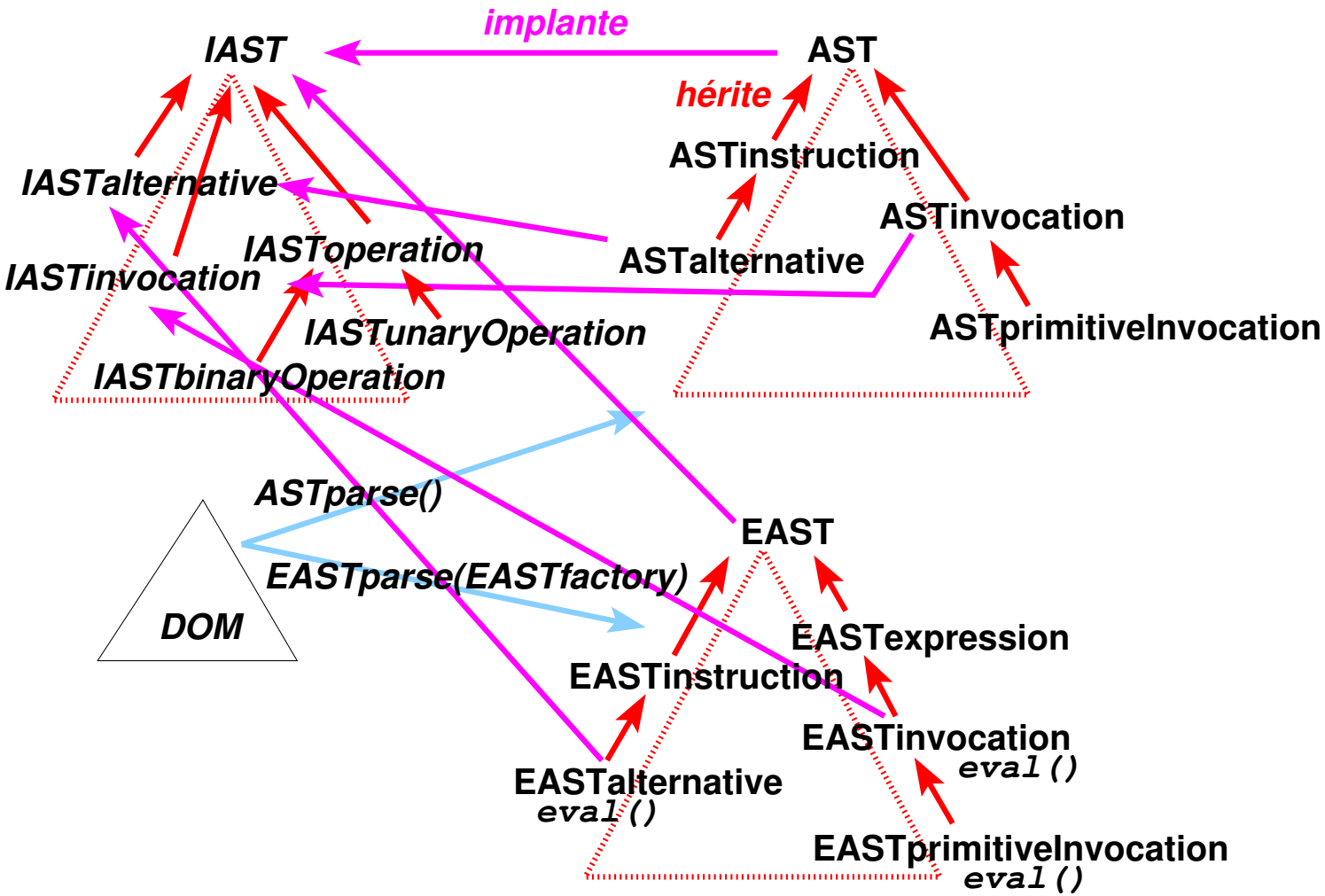
```
      En fr.upmc.ilp.ilp1.cgen
ICgenEnvironment
  CgenEnvironment
ICgenLexicalEnvironment
  CgenLexicalEnvironment
    CgenEmptyLexicalEnvironment
CgenerationException
Cgenerator     discriminant + méthodes/AST
```

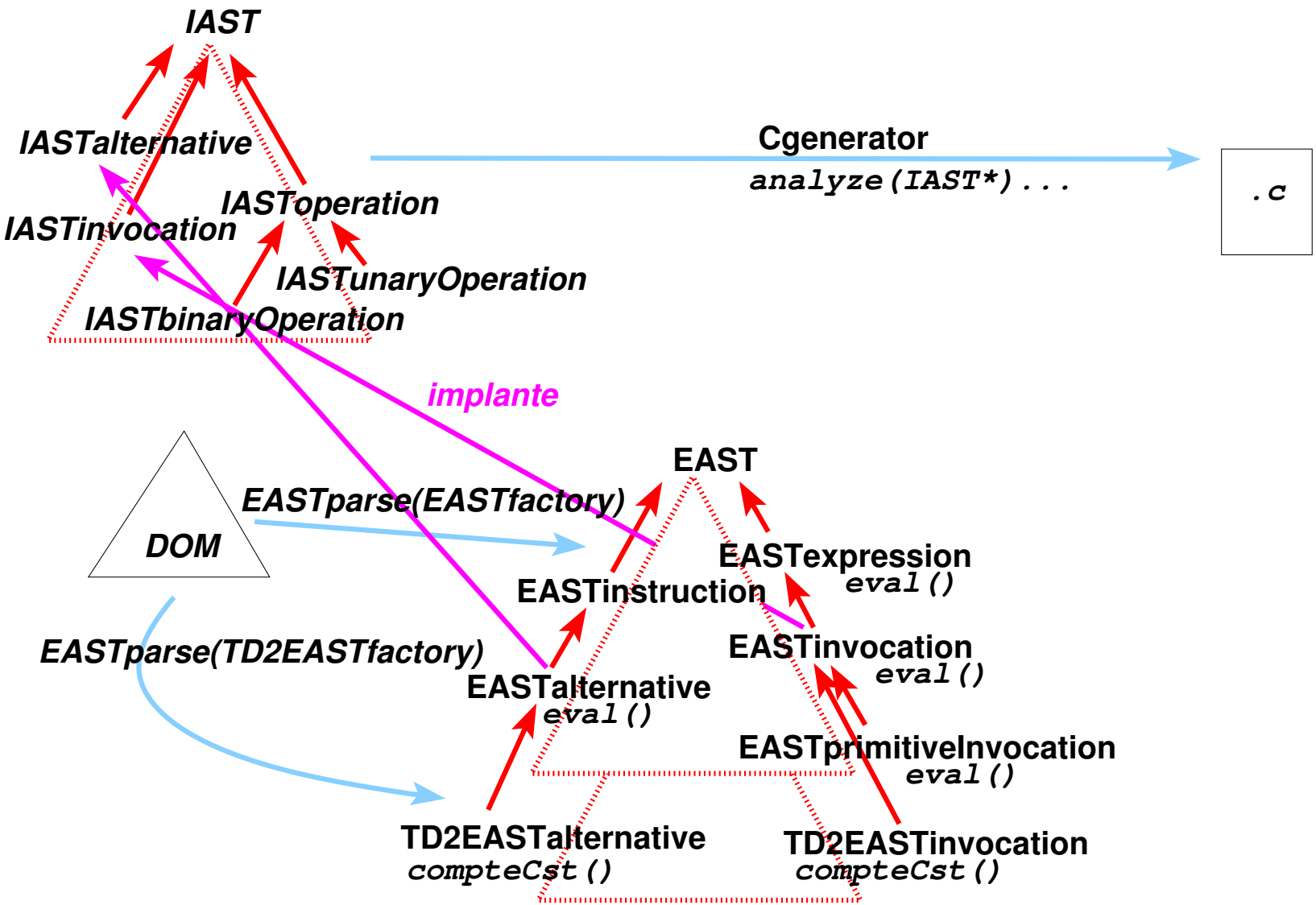
Mise en oeuvre et tests

```
      En fr.upmc.ilp.ilp1
   Process        et notifieur
   ProcessTest
   WholeTestSuite

fromxml.ASTParserTest

    eval.Test
    eval.EASTPrimitiveTest
    eval.FileTest

    cgen.CgeneratorTest
```

Techniques Java



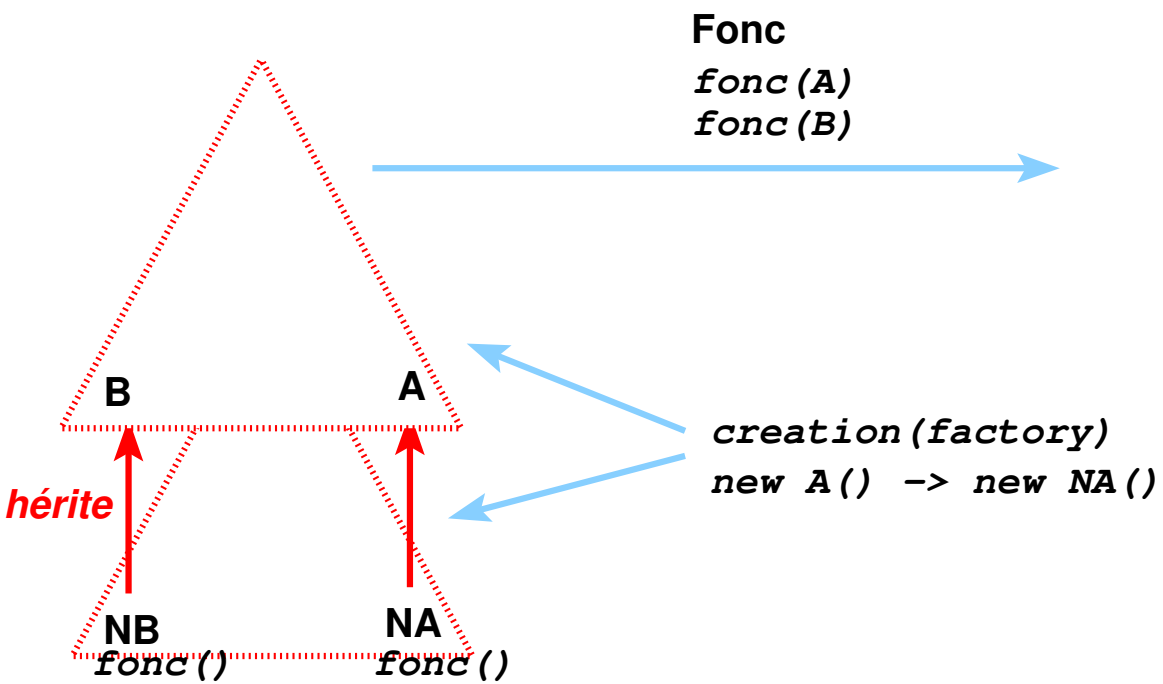


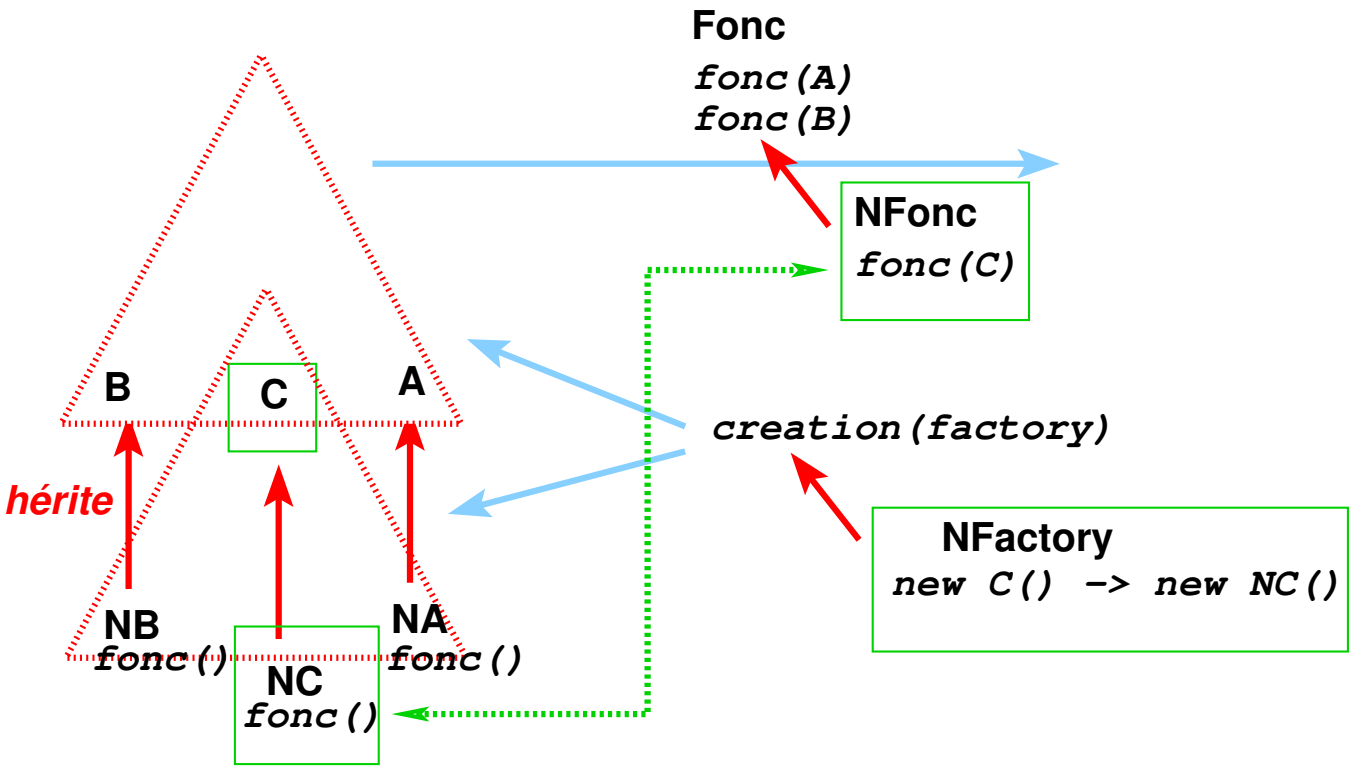


Extensions

Deux sortes d'évolution :

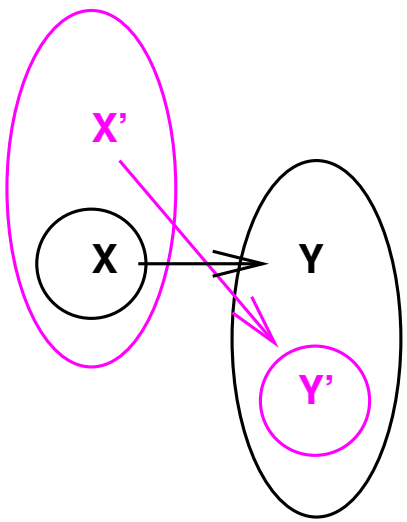
- introduction de nouveaux noeuds d'AST
- introduction de nouvelles fonctionnalités

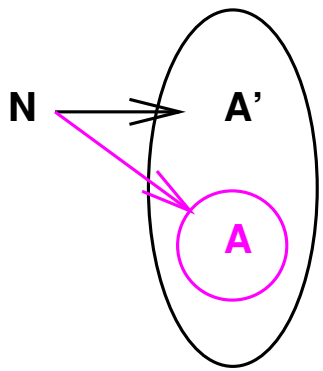


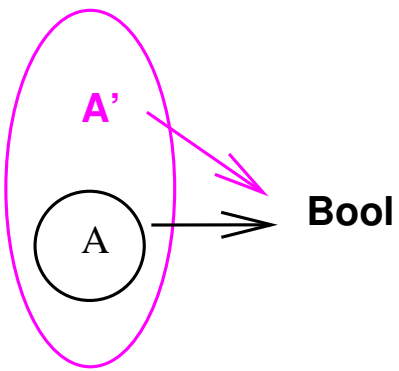


Contravariance/covariance

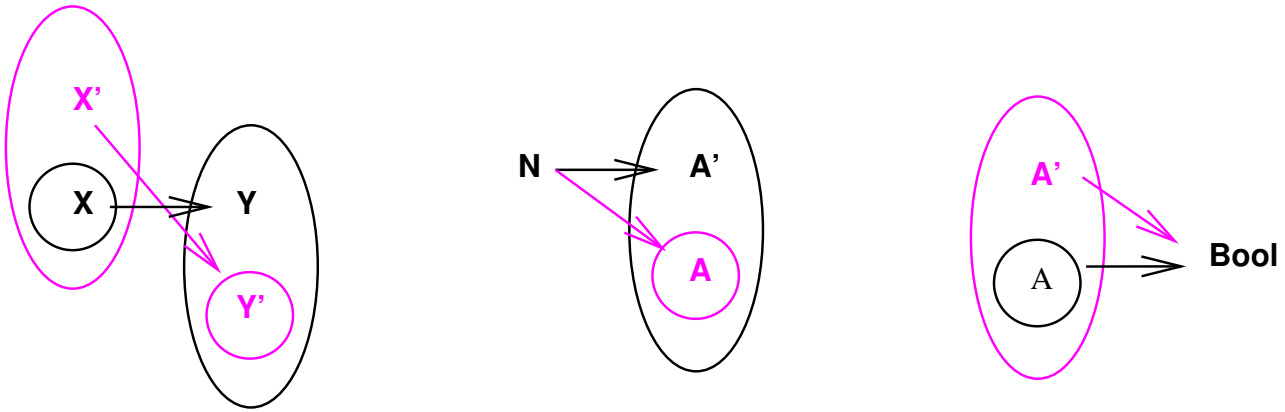
A est un sous-type de B si un $a \in A$ peut remplacer un $b \in B$ dans tous ses emplois possibles.
Une fonction $X' \to Y'$ est un sous-type de $X \to Y$ ssi $X \subset X'$ et $Y' \subset Y$.





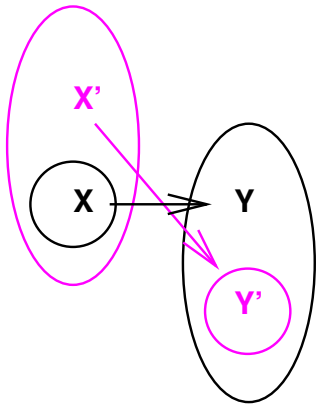


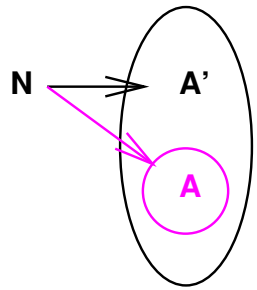
NB : J'utilise l'inclusion ensembliste comme notation pour le sous-typage.

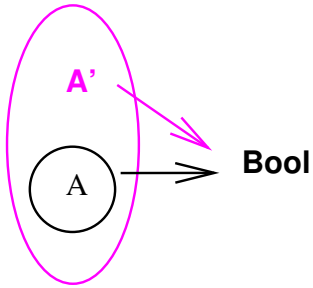


Cas des tableaux : si $A \subset A'$ alors $N \rightarrow A$ sous-type de $N \rightarrow A'$ donc `A[]` sous-type de `A'[]`.
Attention, en Java, le type d'un tableau est statique et ne dépend pas du type de ses éléments :

```
Point[] ps = new Point[]{ new PointColore() };
// PointColore[] pcs = (PointColore[]) ps;    // FAUX
PointColore[] pcs = new PointColore[ps.length];
for ( int i=0 ; i<pcs.length ; i++ ) {
   pcs[i] = (PointColore) ps[i];
}
```



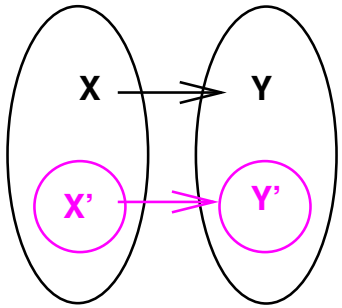




Cas des ensembles : Si $A \subset A'$ alors $A' \rightarrow$ Bool sous-type de $A \rightarrow$ Bool mais Set<A'> n'est pas en Java un sous-type de Set<A> ni vice-versa. Par contre Set<A> est un sous-type de Collection<A>.

```
Set<Point> ss = new HashSet<Point>();
ss.add(new PointColore());
Set<PointColore> spc = new HashSet<PointColore>();
// spc.add(new Point());              // INCORRECT!
// spc.addAll(ss);                    // INCORRECT!
// ss = (Set<Point>) spc;             // FAUX!
// spc = (Set<PointColore>) ss;       // FAUX!
ss.addAll(spc);
```

Exemple de covariance




```
public interface
 fr.upmc.ilp2.interfaces.IEnvironment<V> {
    IEnvironment<V> getNext ();
    ...
}
public interface
 fr.upmc.ilp2.interfaces.ICgenLexicalEnvironment
 extends IEnvironment<IAST2variable> {
  // Soyons covariant:
  ICgenLexicalEnvironment getNext ();
  ...
}
```

Récapitulation

- statique/dynamique
- choix de représentation (à l'exécution) des valeurs
- bibliothèque d'exécution
- environnements de compilation
- environnements d'exécution de C
- destination

- ajout de classe ou fonctionnalité