

L'interopérabilité entre OCaml et Java

Béatrice Carre
beatrice.carre@etu.upmc.fr

encadrants : Emmanuel Chailloux, Xavier Clerc et Grégoire Henry

23 avril 2014

Table des matières

1	L'interopérabilité entre OCaml et Java	3
1.1	O'Jacaré, un générateur de code d'interface	3
1.1.1	La syntaxe de l'idl	3
1.1.2	Analyse lexical, syntaxique et sémantique	3
1.1.3	génération stub_file	4
1.1.4	génération des classes encapsulantes	4
1.1.5	compilation par camljava	4
1.2	OCaml-Java et la compilation de code OCaml vers du bytecode Java . . .	5
1.2.1	Accès à du code Java	5
1.3	profiter des deux approches	6
2	Portage d'O'Jacaré pour OCaml-Java	6
2.1	schémas de compilation actuels d'O'Jacaré	6
2.2	Génération de code pour Ocaml-Java	10
3	Bibliographie, références	14
4	Annexe	15

introduction

Il arrive d'avoir envie de réutiliser des structures écrites dans un certain langage sans avoir à les réécrire complètement. Il peut arriver de vouloir d'utiliser l'efficacité et l'élégance du style fonctionnel d'Ocaml pour les calculs d'un programme mais aussi la portabilité du style objet de Java et la diversité de son API.

C'est pourquoi l'interopérabilité est un problème intéressant. L'interopérabilité engendre beaucoup de questions sur la gestion de plusieurs éléments : le cohérence des types d'un langage à l'autre, la copie ou partage des valeurs d'un monde à l'autre, le passage des exceptions, la gestion automatique de la mémoire (GC), et celle des caractéristiques de programmation pas forcément gérées dans les deux langages.

Deux études ont déjà été réalisées pour l'interopérabilité entre Ocaml et Java à travers leur modèle objet respectif :

O'Jacaré conserve les runtimes des deux langages (GC, Exceptions, ...) et les fait communiquer.

OCaml-java 2.0 utilise un seul runtime, celui de Java, en compilant les programmes OCaml en byte-code Java.

L'idée est de profiter des deux approches, l'accès direct à toute l'API Java grâce à OCaml-Java, et l'accès à d'autres classes définies par le programmeur intéressé, en générant le code nécessaire à cet accès grâce à O'Jacaré, et le tout en gardant qu'un seul runtime, la JVM.

Après l'étude des deux outils, le projet consiste à engendrer pour ocaml-java les fichiers d'encapsulation d'O'Jacaré. Ce portage est réalisé en OCaml étant donné qu'il reprend ce qui a déjà été développé pour O'Jacaré.

Dans ce rapport, nous décrivons le schéma global avec ses avantages du générateur de code d'O'Jacaré, et celui du compilateur d'Ocaml-Java, pour détailler ensuite les modifications apportées à la génération d'interfaces, adaptée pour une encapsulation utilisable par le compilateur d'OCaml-Java. Pour finir, un exemple d'application accompagnée d'un test de performance sera présenté.

1 L'interopérabilité entre OCaml et Java

1.1 O'Jacaré, un générateur de code d'interface

O'Jacaré génère le code nécessaire à l'encapsulation des classes définies dans un IDL, pour permettre aux interface avec C de chacune de communiquer.

La génération de code se fait en plusieurs passes :

- analyse lexicale et analyse syntaxique de l' idl donnant un AST.
- vérification des types de l'AST, donnant un nouvel arbre nommé CAST (Checked AST).
- la génération des fichiers stub java nécessaires pour un appel callback
- la génération à partir du CAST des classes encapsulantes dans un fichier .ml
- la génération à partir du CAST du module .mli adapté

Ces différentes étapes seront présentées plus en profondeur.

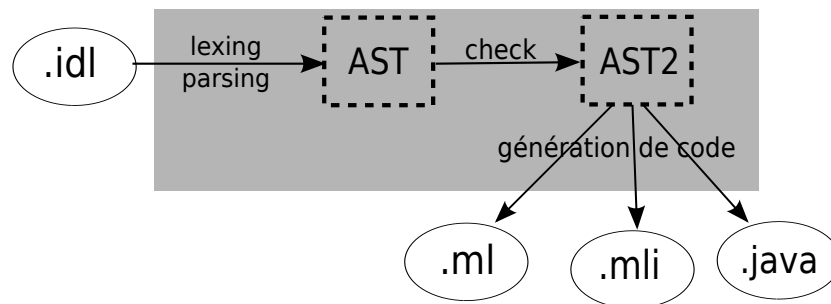


FIGURE 1 – Schéma global de la génération d'O'Jacaré

1.1.1 La syntaxe de l'idl

L'IDL est défini pour la construction des interfaces entre OCaml et Java, il est donc défini en s'approchant de l'intersection des deux mondes objet (TODO : A compléter : définir cette intersection)

La syntaxe du langage d'interface est donné en annexe, en utilisant la notation BNF.

Les symboles `<` et `>` encadrent des règles optionnelles, les terminaux sont en bleu, et les non-terminaux sont en italique.

1.1.2 Analyse lexical, syntaxique et sémantique

La première phase est celle d'analyse lexicale et syntaxique, séparant l'idl en lexèmes et construisant l'AST, défini en annexe par `Idl.file`, dont la structure est définie en annexe.

Vient ensuite la phase d'analyse sémantique, analysant l'AST obtenue par la phase précédente, vérifiant si le programme est correct, et

construisant une liste de `CIdl.clazz`, restructurant chaque classe ou interface définie dans l'idl. Le module `Cidl` définit le nouvel AST nommé CAST allant être manipulé dans les passes de génération de code. Il est décrit en annexe.

1.1.3 génération stub_file

pour callback : génération java

1.1.4 génération des classes encapsulantes

Type jni

Class type

Cast JNI (up et down)

Fonction d'allocation

Capsule / souche

Downcast utilisateur (_downcast, _instance_of)

Tableaux

Fonction d'initialisation Classe de construction

fonctions / methodes static

1.1.5 compilation par camljava

interfacage C, 2 runtimes, destiné à Jni,

1.2 OCaml-Java et la compilation de code OCaml vers du bytecode Java

intro TODO presentation

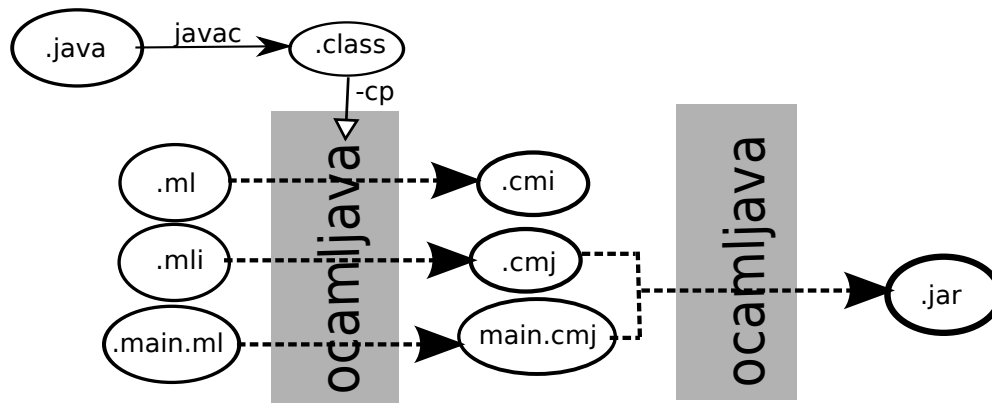


FIGURE 2 – Schéma global du compilateur d'OCaml-Java

1.2.1 Accès à du code Java

Description des types manipulés par OCaml-Java permettant un accès au monde de Java depuis celui d'OCaml.

type Java	description et exemple
java_constructor	signature d'un constructeur "java.lang.Object()"
java_method	signature d'une méthode "java.lang.String.lastIndexOf(string) :int"
java_field_get	signature d'un attribut "mypack.Point.x :int"
java_field_set	signature d'un attribut "mypack.Point.x :int"
java_type	classe, interface ou type Array "java.lang.String"
java_proxy	type d'une interface "java.lang.Comparable"

Description du module Java

```

1 make : 'a java_constructor -> 'a (* cr e une instance d'objet *)
2 call : 'a java_method -> 'a (* appelle d'une m thode *)
3 get : 'a java_field_get -> 'a (* acc s un champ, statique ou non *)
4 set : 'a java_field_set -> 'a (* modification du champ non statique
5 d'une instance d'objet *)
6 is_null : 'a java_instance -> bool (* teste si une instance est gale
7 null*)
instanceof : 'a java_type -> 'b java_instance -> bool
  
```

```

8 | cast : 'a java_type -> 'b java_instance -> 'a
9 | proxy : 'a java_proxy -> 'a

```

Une exception est définie dans le module pour permettre d'attraper les exceptions du côté OCaml :

```

1 | exception Java_exception of java 'lang' Throwable java_instance

```

1.3 profiter des deux approches

O'Jacaré construit les classes encapsulantes de classes java définies par l'utilisateur, et permet ainsi l'accès aux méthodes (d'instance ou de classe) Java en OCaml en passant par l'interface de bas niveau CamlJava. Cette interface de bas-niveau

OCaml-Java permet l'accès à toute l'API Java depuis OCaml TODO

Solution problèmes : TODO - gestion de la surcharge (absente en OCaml) -> renommage obligatoire dans IDL. - 2 runtimes vs 1 seul (-> résoud pd de communication GC et exceptions) - gestion du typage (statype en OCaml vs dynamique en Java) -

2 Portage d'O'Jacaré pour OCaml-Java

2.1 schémas de compilation actuels d'O'Jacaré

Nous considérons un environnement contenant les variables suivantes, initialisées à leur valeur par défaut :

$\rho = ""$: le nom du **package** où trouver les classes définies.

$\Lambda = ""$: le **nom de la classe** courant.

$\gamma = false$: si la déclaration est une **interface**.

$\theta = false$: si l'élément porte l'attribut **callback**.

$\alpha = false$: si l'élément est déclaré **abstract**.

$\delta = "JniHierarchy.top"$: la classe dont **extends** la classe courante.

$\Delta = []$: les interfaces qu'**implements** la classe courante.

package

$$\llbracket \text{package } qname ; decl^* \rrbracket \longrightarrow \llbracket decl^* \rrbracket_{\rho=qname}$$

decl interface

$$\llbracket \text{interface } name \rrbracket \longrightarrow \llbracket \text{class } name \rrbracket_{\rho, \Lambda=name, \gamma=true}$$

decl class

$$\llbracket [\text{callback}] \text{class } name \rrbracket_{\rho, \Lambda, \gamma, \theta, \alpha} \longrightarrow$$

$$\llbracket \textcolor{blue}{class} \ name \rrbracket_{\rho, \Lambda = name, \gamma, \theta = true, \alpha}$$

```

decl class
[[class CLASS extends E implements I1, I2...{
  attr1; attr2; ...;
  m1; m2; ...;
  init1; init2; ...;
}]] $\rho = \text{PACK}, \Lambda, \gamma, \theta = \text{false}, \alpha = \text{false}, \delta, \Delta \longrightarrow$ 

 $\Lambda = \text{CLASS}$ 
 $\alpha = \text{false}$ 
 $\delta = E$ 
 $\Delta = [I1, I2, I3]$ 

let clazz = Jni.find_class PACK/CLASS

(** type jni.obj t *)
"type _jni_jCLASS = Jni.obj"

(** classe encapsulante *)
"class type jCLASS = object
  inherit E
  inherits jI1
  inherits jI2 ...
  method _get_jni_jCLASS : _jni_jCLASS
end"

(** upcast jni *)
"let __jni_obj_of_jni_jCLASS (java_obj : _jni_jCLASS) =
  (Obj.magic : _jni_jCLASS -> Jni.obj) java_obj"
(** downcast jni *)
"let __jni_jCLASS_of_jni_obj =
  fun (java_obj : Jni.obj) ->
    Jni.is_instance_of java_obj clazz"

(* allocation *)
if not  $\gamma$  then
"let _alloc_jCLASS =
  fun () -> (Jni.alloc_object clazz : _jni_jCLASS)"

(* capsule wrapper *)
"class _capsule_jCLASS = fun (jni_ref : _jni_jCLASS) ->
  object (self)
    method _get_jni_jCLASS = jni_ref
    method _get_jni_jE = jni_ref
    method _get_jni_jI1 = jni_ref
    method _get_jni_jI2 = jni_ref
    inherit JniHierarchy.top jni_ref
  end"

(* downcast utilisateur *)
"let jCLASS_of_top (o : TOP) : jCLASS =
  new _capsule_jCLASS (__jni_jCLASS_of_jni_obj o#_get_jniobj)"
(* instance_of *)

```



```

"let _instance_of_jCLASS =
  in fun (o : TOP) -> Jni.is_instance_of o#_get_jniobj clazz"

(* tableaux *)
"let _new_jArray_jCLASS size =
  let java_obj = Jni.new_object_array size (Jni.find_class \"PACK/CLASS
    \")
  in
    new JniArray._Array Jni.get_object_array_element Jni.
      set_object_array_element (fun jniobj -> new _capsule_jCLASS jniobj)
      (fun obj -> obj#_get_jni_jCLASS) java_obj"
"let jArray_init_jCLASS size f =
  let a = _new_jArray_jCLASS size
  in (for i = 0 to pred size do a#set i (f i) done; a)"

(* inits *)
[[[name init1]<init>(arg*);...]]ρ, Λ, γ, θ, α, δ, Δ
[[[name init2]<init>(arg*);...]]ρ, Λ, γ, θ, α, δ, Δ
...

(* fonctions et methodes statiques *)

(*TODO*)

```

Ce tableau représente le résultat des fonctions str, jni_type, getJni, cast sur les types lors des générations des constructeurs ou des méthodes.

TYPE	str	jni_type	getJni	cast
void	V			
boolean	Z	Jni.Boolean _pi	_pi	_pi
byte	B	Jni.Byte _pi	_pi	_pi
char	C	Jni.Char _pi	_pi	_pi
short	S	Jni.Short _pi	_pi	_pi
int	I	Jni.Camlint _pi	_pi	_pi
long	J	Jni.Long _pi	_pi	_pi
float	F	Jni.Float _pi	_pi	_pi
double	D	Jni.Double _pi	_pi	_pi
string	LJava/lang/String;	Jni.Obj _pi	Jni.string_to_java _pi	_pi
pack/Obj	Lpack/Obj;	Jni.Obj _pi	_pi#_get_jni_jname	(_pi : jObj)

inits

[[[*name* *INIT*]<*init*>(A0, A1, ...)] →

```

"let _init_INIT =
  let id = Jni.get_methodID clazz \"<init>\"
    \"(\"(toStr A0)(toStr A1)...\")V\"
  in
    fun (java_obj : _jni_jCLASS) \"(cast A0) (cast A1) ...\" -> ...
    let _p1 = \"(getJni A1)\" in

```

```

let _p0 = "(getJni A0)" in
Jni.call_nonvirtual_void_method java_obj clazz id
  [| "(jni\_type A0)"; "(jni\_type A1)"; ... |]

class INIT _p0 _p1 ... =
  let java_obj = _alloc_jCLASS ()
  in let _ = _init_INIT java_obj _p0 _p1 ...
  in object (self) inherit _capsule_jCLASS java_obj
end"

```

attributs

$\llbracket TYPE\ ATTR; \rrbracket \longrightarrow$

```

...
(* type class *)
"class type jCLASS =
  ...
  method set_ATTR : (j)TYPE -> unit
  method get_ATTR : unit -> (j)TYPE
  ... "
(* capsule *)
"class _capsule_jCLASS =
  let __fid_ATTR = try Jni.get_fieldID clazz \ATTR\ " (toStr TYPE) in
  ...
  fun (jni_ref : _jni_jCLASS) ->
    object (self)
      method set_ATTR =
        fun "(castArg TYPE)" ->
          let _p = "(getJni TYPE)"
          in Jni.set_object_field jni_ref __fid_ATTR _p
      method get_ATTR =
        fun () ->
          (new _capsule_jCLASS (Jni.get_object_field jni_ref __fid_ATTR) :
           jCLASS)
      ...
    "

```

methodes

TYPE	str	jni_type	getJni	cast
void	" V			
boolean	Z	Jni.Boolean _pi	_pi	_pi
byte	B	Jni.Byte _pi	_pi	_pi
char	C	Jni.Char _pi	_pi	_pi
short	S	Jni.Short _pi	_pi	_pi
int	I	Jni.Camlint _pi	_pi	_pi
long	J	Jni.Long _pi	_pi	_pi
float	F	Jni.Float _pi	_pi	_pi
double	D	Jni.Double _pi	_pi	_pi
string	LJava/lang/String;	Jni.Obj _pi	Jni.string_to_java _pi	_pi
pack/Obj	Lpack/Obj;	Jni.Obj _pi	_pi#_get_jni_jname	(_pi : jObj)

$\llbracket TYPE METH(ARG1, ARG2, \dots) \rrbracket \longrightarrow$

```

...
(* type class *)
"class type jCLASS =
  ...
  method METH : ARG1 -> ARG2 -> ... -> TYPE
  ... "
(* capsule *)
"class _capsule_jCLASS =
  let __mid_METH = Jni.get_methodID clazz "mETH"
    \(" (toStr ARG1) (toStr ARG2) ... ") (toStr TYPE) "\ "
  ...
  in
  object (self)
    (*TODO*) " (*method METHObj1Obj2 =
      fun (_p0 : jObj1) ->
        let _p0 = _p0#_get_jni_jObj1
        ...
        in
          (new _capsule_jObj2
            (Jni.call_"Object" _method jni_ref __mid_METHObj1Obj2
              [| Jni.Obj _p0 |]) : jObj2)
        *)
      method METH =
        fun "(cast A0) (cast A1) ..." ->
          let _p2 = "(getJni ARG2)" in
          let _p1 = "(getJni ARG1)" in
          let _p0 = "(getJni ARG0)" in
          in
            Jni.call_"(aJniType TYPE)" _method jni_ref __mid_METH
              [| "(jni\_type ARG0)"; "(jni\_type ARG1)"; ... |]
    )
  //TODO : retour Obj dans methode array callback

```

2.2 Génération de code pour Ocaml-Java

L'idée est de partir de Le type top manipulé sera le type d'instance objet de Ocaml-Java :

```
1 type top = java`lang`Object java_instance;;
```

Exception :

```
1 exception Null_object of string
```

class

Le schéma de compilation de base pour une classe est largement allégé. En effet, la fonction downcast jni est inutile, puisqu'on a la fonction Java.cast, effectuant tout le travail.

De même, l'upcast ->

TODO : voir <http://www.pps.univ-paris-diderot.fr/~henry/ojacare/doc/ojacare006.html>.
 (** cast JNI, exporté pour préparer la fonction 'import' *)
 L'allocation n'est pas non plus nécessaire, OCaml-Java gérant tout ça côté Java.
 La capsule est aussi très simplifiée, les tests d'existence des méthodes classes etc est aussi géré par COaml-Java.

```
[[class CLASS extends E implements I1, I2...{
  attr1; attr2; ...;
  m1; m2; ...;
  init1; init2; ...;
}]]ρ, CB →
```

```
(** type 'a java_instance *)
"type _jni_jCLASS = PACK'CLASS java_instance;;"

(** classe encapsulante *)
"class type jCLASS =
  object inherit E
    inherits jI1
    inherits jI2 ...
  method _get_jni_jCLASS : _jni_jCLASS
  end"

(* capsule wrapper *)
"class _capsule_jCLASS =
  fun (jni_ref : _jni_jCLASS) ->
    let _ =
      if Java.is_null jni_ref
      then raise (Null_object "mypack/Point")
      else ()
    in

    object (self)
      (* method _get_jni_jCLASS = jni_ref
        method _get_jni_jE = jni_ref
        method _get_jni_jI1 = jni_ref
        method _get_jni_jI2 = jni_ref *)
      inherit JniHierarchy.top jni_ref
    end"

(* downcast utilisateur *)
"let jCLASS_of_top (o : TOP) : jCLASS =
  new _capsule_jCLASS (__jni_jCLASS_of_jni_obj o#_get_jniobj)"
(** instance_of *)
"let _instance_of_jCLASS =
  in fun (o : TOP) -> Jni.is_instance_of o#_get_jniobj clazz"
```

methodes

Tableau représentant les équivalents en OCaml des types Java manipulés par OCaml-Java. La troisième colonne représente les types manipulés par les programmes OCaml écrit par l'utilisateur du nouvel outil. Le problème est donc de convertir du deuxième au troisième type pour la manipulation côté OCaml et du troisième au second lors d'un appel à une fonction du module Java (un appel, un constructeur ou autre).

TYPE IDL	type Java (java_type)	type OCaml pour OCaml-Java (oj_type t)	type OCaml (ml_type t)
<i>void</i>	void	unit	unit
<i>boolean</i>	boolean	bool	bool
<i>byte</i>	byte	int	int
<i>char</i>	char	int	char
<i>double</i>	double	float	float
<i>float</i>	float	float	float
<i>int</i>	int	int32	int
<i>long</i>	long	int64	int
<i>short</i>	short	int	int
<i>string</i>	java.lang.String	java'lang'String java_instance	string
<i>pack/Obj</i>	pack.Obj	pack'Obj java_instance	jObj

Tableau associant pour chaque types de l'IDL les fonctions utiles aux schémas de compilation manipulant ceux-ci, comme explicité ci-dessus.

TYPE IDL	to_oj_Type ARGi	to_ml_type ARGi	fcast
<i>void</i>			
<i>boolean</i>			_pi
<i>byte</i>			_pi
<i>char</i>	TODO	TODO	_pi
<i>short</i>			
<i>int</i>	Int32.of_int	Int32.to_int	_pi
<i>long</i>	Int64.of_int	Int64.to_int	_pi
<i>float</i>			_pi
<i>double</i>			_pi
<i>string</i>	JavaString.of_string	JavaString.to_string	_pi
<i>pack/Obj</i>	_pi#_get_jni_jObj	(new _capsule_jObj ... : jObj)	(_pi : jObj)

$\llbracket RTYPE \text{ METH } (TARG1, TARG2, \dots) \rrbracket_{TODO} \rightarrow$

```

...
(* type class *)
"class type jCLASS =
  ...
  method METH : "(ml_type TARG1) -> (ml_type TARG2)" -> ... ->(ml_type
    RTYPE)
  ... "
(* capsule *)
"class _capsule_jCLASS =
  object (self)

```

```

method METH =
  fun "(fcast TARG0) (fcast TARG1) ..." ->
    let _p1 = "(to_obj_type TARG1)" _p1 in
    let _p0 = "(to_obj_type TARG0)" _p0
    in "
      (to_ml_type RTYPE)
      "Java.call \"PACK.CLASS.METH(\"(javaType TARG1),(javaType TARG2
        ),...):(javaType RTYPE)\" \" jni_ref _p0 _p1 ..."

```

inits

$\llbracket \text{[name INIT]} < \text{init} > (TARG0, TARG1, \dots) \rrbracket \longrightarrow$

```

" class INIT _p0 _p1 ... =
  let _p1 = "(to_obj_type TARG1)" in
  let _p0 = "(to_obj_type TARG2)" in
  let java_obj = Java.make \"PACK.CLASS(\"(javaType
    TARG0),(javaType TARG1),...)\ " _p0 _p1
  in
  object (self)
    inherit _capsule_jCLASS java_obj
  end;; "

```

attributs

$\llbracket \text{TYPE ATTR;} \rrbracket \longrightarrow$

```

...
(* type class *)
" class type jCLASS =
  ...
  method set_ATTR : "(ml_type TYPE)" -> unit
  method get_ATTR : unit -> "(ml_type TYPE)"
  ... "
(* capsule *)
" class _capsule_jCLASS =
  ...
  fun (jni_ref : _jni_jCLASS) ->
    object (self)
      ...
      method set_ATTR =
        fun "(fcast TYPE)" ->
          let _p = "(to_obj_type TYPE)" _p
          in Java.set \"PACK.CLASS.ATTR:TYPE\" \" jni_ref _p
      method get_ATTR =
        fun () ->
          \"(to_ml_type TYPE)\" (Java.get \"PACK.CLASS.ATTR:TYPE\" \" jni_ref)
      ...
    "

```

3 Bibliographie, références

- [1] CHAILLOUX E., MANOURY P., PAGANO B., *Développement d'applications avec Objective Caml*, O'Reilly , 2000, (<http://www.oreilly.fr/catalogue/ocaml.html>)
- [2] CHAILLOUX E., HENRY G., *O'Jacaré, une interface objet entre Objective Caml et Java*, 2004,
- [3] CLERC X., *OCaml-Java : Typing Java Accesses from OCaml Programs*, Trends in Functional Programming, Lecture Notes in Computer Science Volume 7829, 2013, lien
- [4] CLERC X., *OCaml-Java : OCaml on the JVM*, Trends in Functional Programming, 2012,lien
- [5] CLERC X., *OCaml-Java :OCaml-Java : from OCaml sources to Java bytecodes* , Trends in Functional Programming, 2012,lien
- [6] Leroy X., *The camljava project*, (<http://forge.ocamlcore.org/projects/camljava/>)
- [7] CLERC X.,*OCaml-java : module Java* <http://ocamljava.x9c.fr/preview/javalib/index.html>
- [8] CamlP4 (* todo *)

4 Annexe

BNF

```
class

file ::= package <package>*
      | decl <decl>*

package ::= package qname ; decl <decl>*

decl ::= class
      | interface

class ::= <[attributes]> <abstract> class name
      < extends qname >
      < implements qname <, qname>* >
      { <class_elt ;>* }
class_elt ::= <[ attributes ]> <static> <final> type name
            | <[ attributes ]> <static> <abstract> type name (<args>)
            | [ attributes ] <init> (<args>)

interface ::= <[ attributes ]> interface name
            < extends qname <, qname>* >
            { <interface_elt;>* }
interface_elt ::=
            <[ attributes ]> type name
            | <[ attributes ]> type name (<args>)

args ::= arg <, arg>*
arg ::= <[ attributes ]> type <name>

attributes ::= attribute <, attribute>*
attribute ::= name ident
            | callback
            | array

type ::= basetype
      | object
      | basetype [ ]
basetype ::= void
           | boolean
           | byte
           | char
           | short
           | int
           | long
           | float
           | double
           | string
object ::= qname
qname ::= name <.name>*
name ::= ident
```


Module CIdl, structure manipulée par O’Jacaré à partir de l’IDL

```
(** module CIdl *)
type typ =
| Cvoid
| Cboolean (** boolean -> bool *)
| Cchar (** char -> char *)
| Cbyte (** byte -> int *)
| Cshort (** short -> int *)
| Ccamlint (** int -> int<31> *)
| Cint (** int -> int32 *)
| Clong (** long -> int64 *)
| Cfloat (** float -> float *)
| Cdouble (** double -> float *)
| Ccallback of Ident.clazz
| Cobject of object_type (** object -> ... *)
and object_type =
| Cname of Ident.clazz (** ... -> object *)
| Cstring (** ... -> string *)
| Cjavaarray of typ (** ... -> t jArray *)
| Carray of typ (** ... -> t array *)
| Ctop

type clazz = {
  cc_abstract: bool;
  cc_callback: bool;
  cc_ident: Ident.clazz;
  cc_extend: clazz option; (* None = top *)
  cc_implements: clazz list;
  cc_all_inherited: clazz list; (* tout jusque top ... (et avec les
    interfaces) sauf elle-meme. *)
  cc_inits: init list;
  cc_methods: mmethod list; (* methodes + champs *)
  cc_public_methods: mmethod list; (* methodes declarees + celles
    heritees *)
  cc_static_methods: mmethod list;
}
and mmethod_desc =
| Cmethod of bool * typ * typ list (* abstract, rtype, args *)
| Cget of typ
| Cset of typ
and mmethod = {
  cm_class: Ident.clazz;
  cm_ident: Ident.mmethod;
  cm_desc: mmethod_desc;
}
and init = {
  cmi_ident: Ident.mmethod;
  cmi_class: Ident.clazz;
  cmi_args: typ list;
}
type file = clazz list
```

module Ident

```
(* module Ident *)
(* le type des identifiants de classe de l'IDL *)
type clazz = {
  ic_id: int;
  ic_interface: bool;
  ic_java_package: string list;
  ic_java_name: string;
  ic_ml_name: string;
  ic_ml_name_location: Loc.t;
  ic_ml_name_kind: ml_kind;
}
type mmethod = {
  im_java_name: string;
  im_ml_id: int; (** entier unique pour une nom ml *)
  im_ml_name: string;
  im_ml_name_location: Loc.t;
  im_ml_name_kind: ml_kind;
}
```

idl_camlgen.make ast

Type jni

MlClass.make_jni_type

Class type

MlClass.make_class_type

Cast JNI

MlClass.make_jniupcast

MlClass.make_jnidowncast

Fonction d'allocation

MlClass.make_alloc

MlClass.make_alloc_stub

Capsule / souche

MlClass.make_wrapper

Downcast utilisateur

MlClass.make_downcast

MlClass.make_instance_of

Tableaux

MlClass.make_array

Fonction d'initialisation

MlClass.make_fun

Classe de construction

MlClass.make_class

fonctions / methodes static

MlClass.make_static