

Java Native Interface

D'après le cours de Jean-Michel Douin, Cf. Références



Machine Virtuelle (d'exécution)

Et p-code ...

Principe du p-code

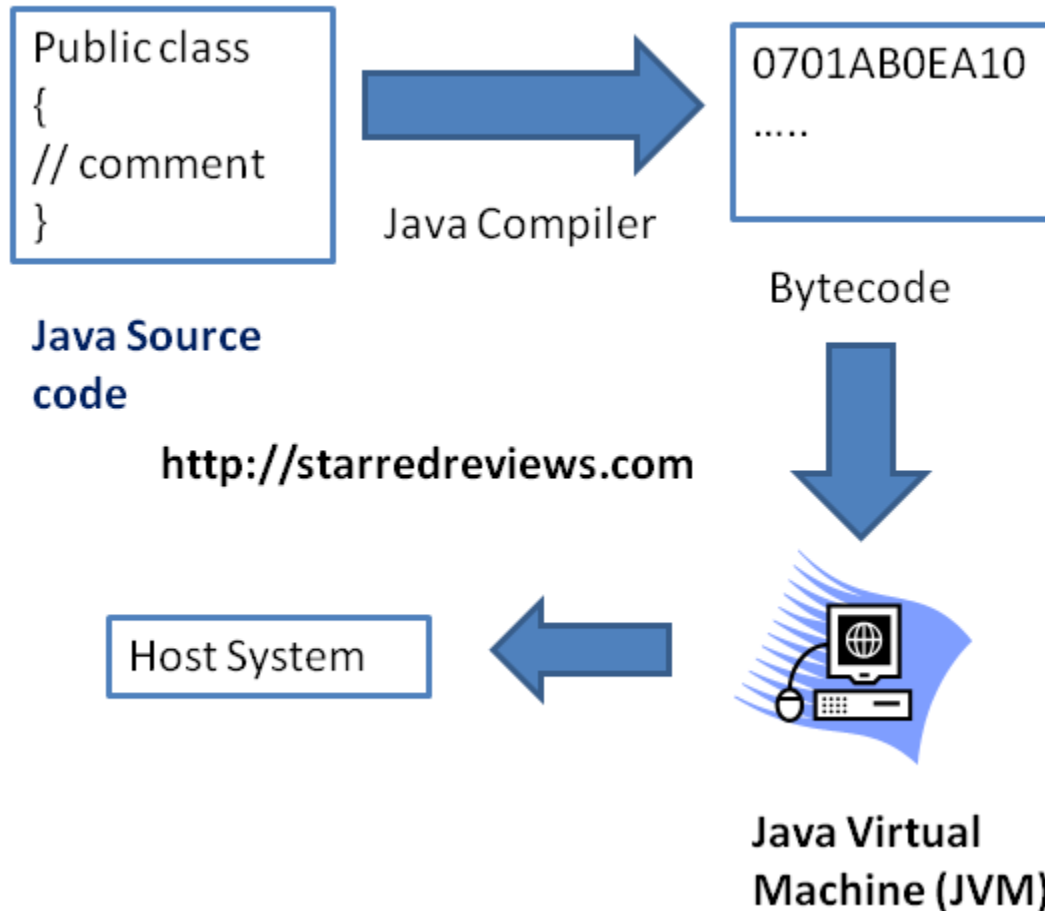
- ◆ Une machine à code p ou une machine à code portable est une machine virtuelle conçue pour exécuter du p-code (un langage assembleur d'un CPU virtuel).
- ◆ Le terme de p-code apparaît pour la première fois au début des années 1970
- ◆ Principale Motivation
 - Construire une machine à pile pour l'exécution
 - Lutter contre la fuite mémoire (alors première source de BUG sur du code « classique »)
- ◆ Pas que Java et CLR mais aussi Matlab etc...



Machine Virtuelle Java

Et bytecode ...

Bytecode en java pour la JVM



Bytecode en java pour la JVM

- ◆ **Langage portable : un programme une fois compilé fonctionnera aussi bien sous des stations Unix, que sous Windows ou autre, sans aucune modification.**
- ◆ **Le code source Java est compilé non pas pour un processeur donné, mais pour une machine virtuelle (c'est-à-dire qui n'a pas d'existence physique), la JVM (Java Virtual Machine).**
- ◆ **Le code résultant est nommé ByteCode.**

Bytecode en java pour la JVM

- ◆ Lors de l'exécution le ByteCode est transformé en un code machine compréhensible par le processeur de la machine réelle.
- ◆ Java est donc aussi un langage interprété.
- ◆ L'interprète de la JVM est très élaboré pour être le plus rapide possible : il inclut un JIT (Just In Time Compiler) de façon à faire la traduction du bytecode vers du code natif seulement lorsque c'est nécessaire (première instantiation d'une classe, boucles...).



Machine Virtuelle

« .Net » CLR

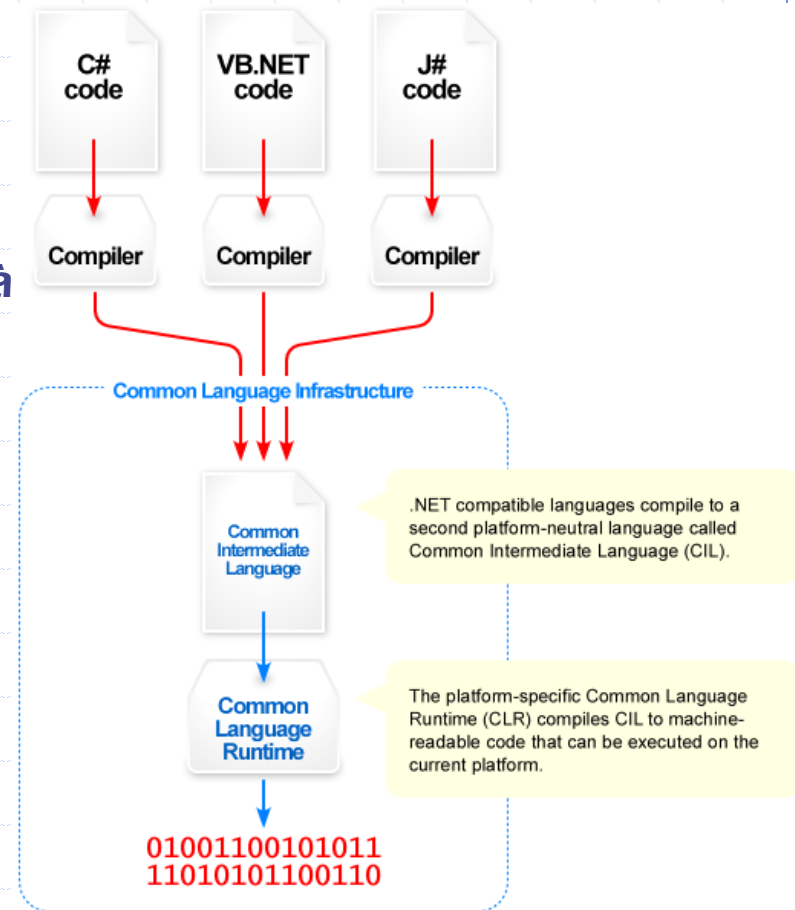
Et CLI (historiquement MSIL ...)

Common Language pour le CLI/CLR chez microsoft

- ◆ CLI : Common Intermediate Language
- ◆ Equivalent bytecode Java
- ◆ Normalisé par l'ECMA
- ◆ Langage proche de la machine
- ◆ MSIL : implémentation MS du CIL

Le CLR et le langage CIL

- ◆ **Compilation du code CIL en langage machine, à l'exécution**
- ◆ **Chaque méthode est compilée juste avant sa première utilisation : Compilation JIT (Just In Time = Juste à temps)**
- ◆ **La compilation JIT est quasi-transparente au niveau des performances car le langage CIL proche du langage machine**
- ◆ **Compilation JIT : permet d'exécuter un même assemblage sur plusieurs types de machines**
- ◆ **Possibilité de précompiler le code CIL d'un assemblage pour un type de machine**



Comment rendre du Code Natif et du p-code interopérable ?

**ByteCode en java et Librairies Natives
Avec Java Native Interface (JNI)**

Pourquoi JNI

- ◆ Applications existantes dans un environnement Java, avec ou sans les sources...
- ◆ Programmation d'un nouveau périphérique, logiciel de base, Entrées/Sorties, Cartes d'acquisition, de commandes
 - Adressage physique, Accès au matériel, aux pilotes de la carte, interruptions...
- ◆ Développement en C/C++, tout en bénéficiant de l'environnement Java pour des IHM par exemple
- ◆ Code natif pour de meilleures performances en temps d'exécution (pas toujours vrai)
- ◆ Mais portabilité remise en question

Possibilités de JNI

- ◆ L 'API JNI offre l 'accès à la machine virtuelle
 - accès aux variables d 'instance, appel de méthodes, chargement d 'une classe, création d 'instances...
 - Mécanisme de bas-niveau...
 - Exceptions,
 - Threads....

Deux grands Intérêts ...

◆ Quand Java appelle C/C++ :

- Prototypes et Conventions entre les deux langages
- Chargement dynamique de librairies en Java

◆ Quand du C/C++ accède à l' environnement Java

- lecture/écriture de données d'instance et de classes
- invocation de méthodes d'instance et de classes
- création d'objet
- création de tableaux et de String
- Levée et filtrage d'exceptions
- utilisation des moniteurs (de hoare)
- Entrées/sorties Série
- création de machine(s) Java

Quand Java appelle C/C++

De Java vers C/C++

1. usage du mot clé **native**
2. chargement de la librairie (DLL/sol) dans laquelle sera implémentée le code C de bonjour avec la méthode `loadLibrary` de la classe `System`

```
public class JavaVersC {  
  
    // méthode statique loadLibrary()  
    // de la classe system  
    static { System.loadLibrary("JavaVersC"); }  
  
    public native void bonjour();  
  
    public static void main(String args[ ]) {  
        new JavaVersC().bonjour();  
    }  
}  
javac JavaVersC.java
```


De Java vers C/C++

Le source C/C++ : .h et prototype

3. génération de
l'interface « .h »
javah -jni JavaVersC

```
/* file generated */  
#include <jni.h>  
#ifndef _Included_JavaVersC  
#define _Included_JavaVersC  
#ifdef __cplusplus  
extern "C" {  
#endif  
  
/* Class:  JavaVersC, Method:  bonjour, Signature: (J)V  
*/  
  
JNIEXPORT void JNICALL  
Java_JavaVersC_bonjour(JNIEnv *, jobject);  
  
#ifdef __cplusplus  
}  
#endif  
  
#endif
```

Le source C/C++ : Implémentation

```
#include <stdio.h>
```

```
#include "JavaVersC.h"
```

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_JavaVersC_bonjour (JNIEnv *env, jobject j){  
    printf("Java_JavaVersC_bonjour");  
}
```

3. Génération de la DLL, (JavaVersC.dll)

1. Avec visual c++
2. `cl -lc:\jdk\include -lc:\jdk\include\win32 -LD JavaVersC.c -FeJavaVersC.dll`

4. Exécution par

1. `java JavaVersC`

JNIENV et jobject

◆ JNIEnv *env

- Il s'agit de l'environnement de la machine Java associé au « Thread » courant, (le Thread ayant engendré l'appel de la méthode native bonjour)

◆ jobject j

- Il s'agit de l'objet receveur du message bonjour(), ici l'instance créée dans la méthode main

◆ En résumé

- A chaque appel d'une méthode native sont transmis par la machine Java
 - ◆ un environnement
 - ◆ l'objet receveur ou la classe si c'est une méthode classe
 - ◆ et éventuellement les paramètres

Quand du C/C++ accède à l'environnement du programme Java

◆ depuis une DLL/SO engendrée par javah

- emploi du mot clé **native**

- $\text{java} \xrightarrow{\text{native}} \text{C/C++}$

|

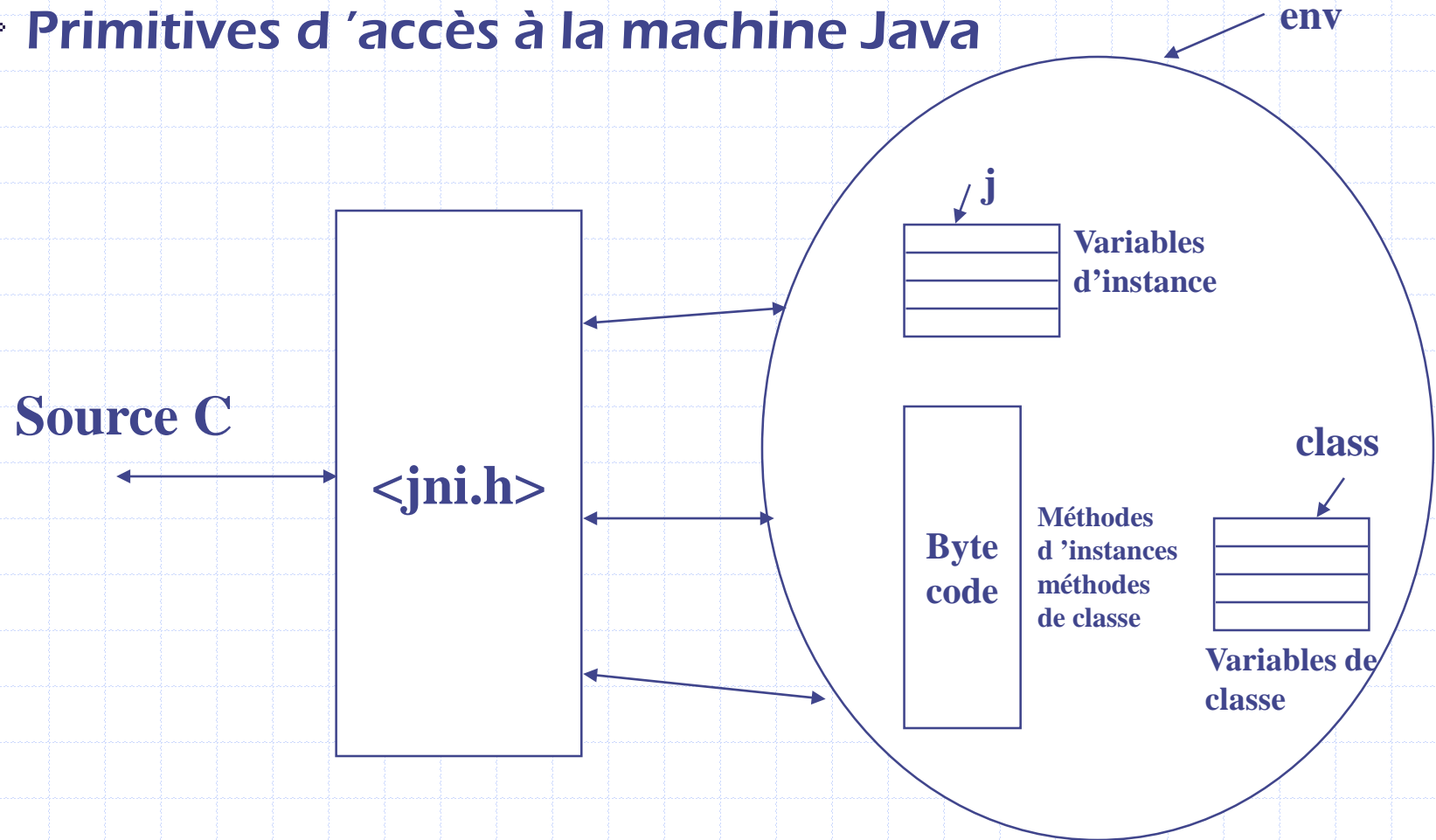
- $\text{java} \xleftarrow{\text{API_JNI}} \text{C/C++}$

◆ ou depuis une application C/C++ ordinaire quand un exécutable natif lance une machine java et accède à son environnement

- $\text{java} \xleftarrow{\text{API_JNI}} \text{C/C++}$

Les Accès

◆ Primitives d'accès à la machine Java



Simple Exemple de bout en bout ...

```
import java.io.*;

public class Program
{
    static { System.loadLibrary("Program"); }

    public static native void printCpp();

    public static void main(String args[])
    {
        System.out.println("Hello non Natif");
        Program.printCpp();
    }
}
```

◆ javah -jni Program



```
/* DO NOT EDIT THIS FILE - it is machine
generated */
#include <jni.h>
/* Header for class Program */

#ifndef _Included_Program
#define _Included_Program
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
/*
 * Class:   Program
 * Method:  printCpp
 * Signature: ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL
Java_Program_printCpp
(JNIEnv *, jclass);

#ifdef __cplusplus
}
#endif
#endif
```

Simple Exemple de bout en bout ...

◆ Extrait fichier Makefile.txt

```
...
# Compilation et execution
*.obj : *.cpp
    $(CC) -o
$(DLL_NAME).dll : $(SRC_FILES_CPP)
    $(CC) $(INCLUDE_PATH) -LD $(SRC_FILES_CPP) -Fe$(DLL_NAME).dll
$(JAVA_PROGRAM_NAME) : $(SRC_FILES_JAVA) $(DLL_NAME).dll
    $(JAVAC) $(SRC_FILES_JAVA)
exec : $(JAVA_PROGRAM_NAME).class
    $(JAVA) $(JAVA_PROGRAM_NAME)

clean:
    del $(DLL_NAME).dll $(DLL_NAME).lib $(DLL_NAME).exp $(DLL_NAME).exp $(DLL_NAME).obj
    del $(JAVA_PROGRAM_NAME).class
all: clean $(JAVA_PROGRAM_NAME)
```

◆ **nmake -f Makefile.txt all**

◆ **nmake -f Makefile.txt exec**



L'API de JNI

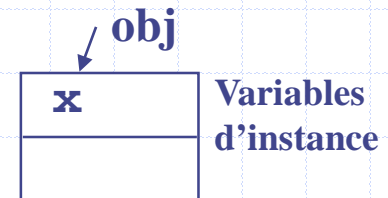
Fonctions de JNI

- Versions
- Opérations sur les classes
- Exceptions
- Références locales et globales
- Opérations sur les objets
- Accès aux champs des objets
- Appels de méthodes d'instances
- Accès aux champs statiques
- Appels de méthodes de classes
- Opérations sur les instances de type String
- Opérations sur les tableaux
- Accès aux moniteurs
- Interface de la JVM

Accès aux Variables d'instance

◆ GetFieldID, Get<type>Field, Set<type>Field

```
◆ public class Exemple{  
    private int x;  
    public native void setX(int val);  
}
```



◆ En C :

```
◆ JNIEXPORT void JNICALL Java_Exemple_setX (JNIEnv *env, jobject  
obj, jint val){  
    jclass classe = (*env)->GetObjectClass(env,obj);  
    jfieldID fid = (*env)->GetFieldID(env,classe,"x","I");  
    (*env)->SetIntField(env,obj,fid,val) ;  
}  
  
◆ instructions JVM : getfield, putfield
```

Exemple.java au complet

```
public class Exemple{  
    private int x;  
    public native void setX(int val);  
  
    static{  
        System.loadLibrary("Exemple");  
    }  
  
    public static void main(String args[]) {  
        Exemple e = new Exemple();  
        e.setX(33);  
        System.out.println(" dites " + e.x);  
    }  
}
```

Exemple.c au complet

```
#include "Exemple.h"
```

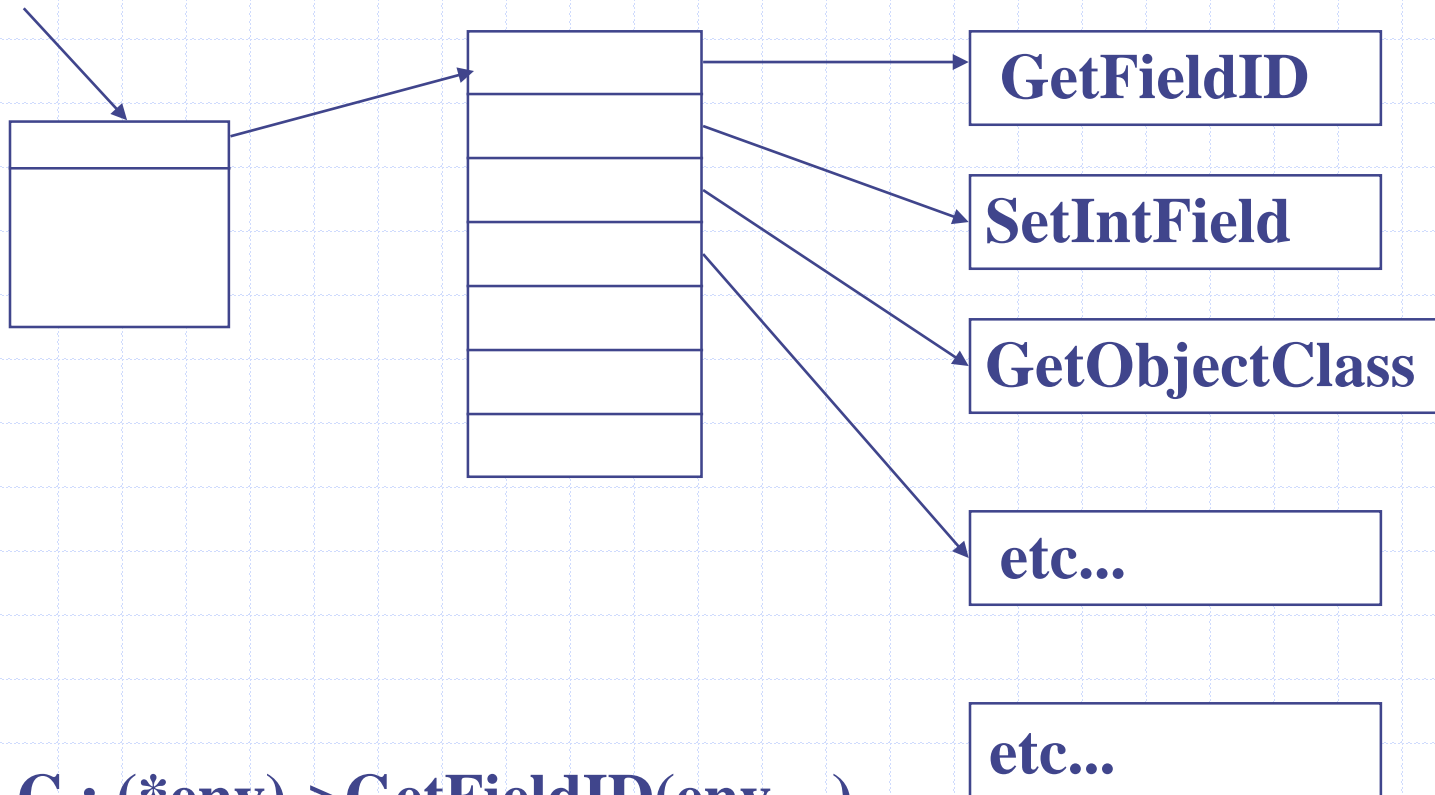
```
JNIEXPORT void JNICALL Java_Exemple_setX(JNIEnv* env,  
    jobject obj, jint val){  
    jclass cl = (*env)->GetObjectClass(env,obj);  
    jfieldID fid = (*env)->GetFieldID(env,cl,"x","I");  
    (*env)->SetIntField(env,obj,fid,val) ;  
}
```

Les commandes Win32 au complet

1. `javac -classpath . Exemple.java`
2. `javah -jni -classpath . Exemple`
3. `cl /Ic:\jdk\include /Ic:\jdk\include\win32 /LD
Exemple.c /FeExemple.dll`
4. `java -cp . Exemple`

Retour sur JNIENV *env

env



en C : (*env)->GetFieldID(env,...)

en C++ : env->GetFieldID(...)

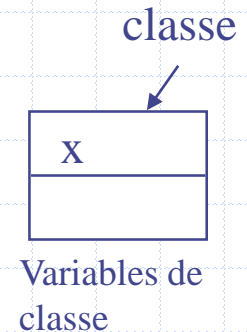
JNIENV *env

- ◆ Chaque fonction est accessible par un déplacement fixe dans une table,
- ◆ Une table peut donc être substituée par une autre sans avoir à recompiler,
- ◆ L'implantation des fonctions de cette table est à la charge du fournisseur de la JVM,
- ◆ Le code C/C++ d'accès à la JVM devient portable
- ◆ Analogue à l'implémentation de la table des méthodes virtuelles d'une instance

Accès aux Variables de classes

◆ GetStaticFieldID, GetStatic<type>Field, SetStatic<type>Field

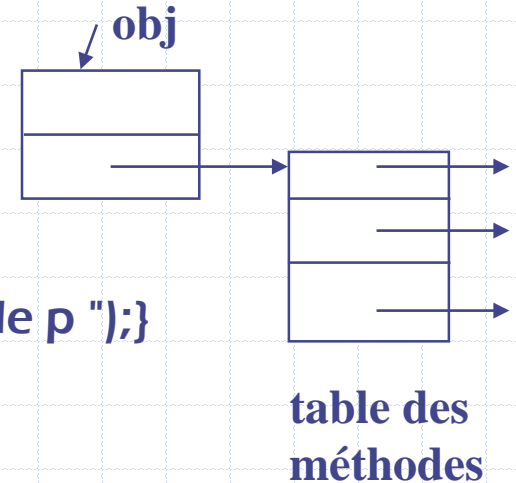
- `public class Exemple{
 private static int x;
 public native setStaticX(int val);
}`
- `JNIEXPORT void JNICALL Java_Exemple_setStaticX
(JNIEnv *env, jobject obj, jint val) {
 jclass classe = (*env)->GetObjectClass(env,obj);
 jfieldID fid = (*env)->GetStaticFieldID(env,classe,"x","I");
 (*env)->SetStaticIntField(env,classe,fid,val) ;
}`
- instructions JVM : `getstatic`, `putstatic`



Appels de méthodes d'instance

◆ Call<type>Method

```
◆ public class Exemple{  
    public void p(){System.out.println( "appel de p ");}  
    public native callP(int val);  
}
```



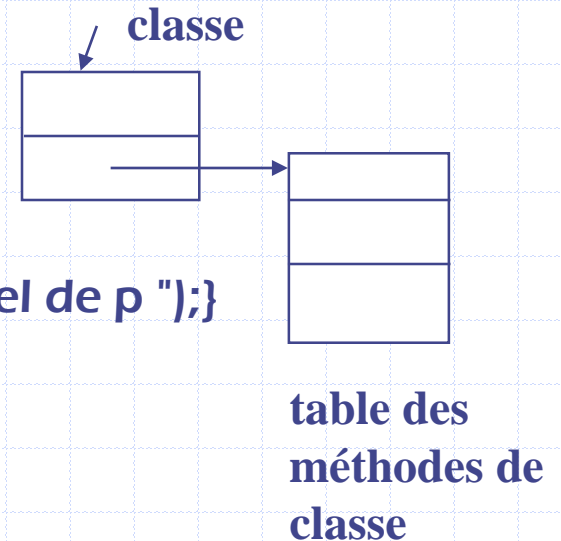
```
◆ JNIEXPORT void JNICALL Java_Exemple_callP (JNIEnv *env, jobject  
obj, jint val){  
    jclass classe = (*env)->GetObjectClass(env,obj);  
    jMethodID mid = (*env)->GetMethodID(env,classe,"p","()V");  
    (*env)->CallVoidMethod(env,obj,mid) ;  
}
```

◆ instruction JVM : invokevirtual

Appels de méthodes de classe

◆ `CallStatic<type>Method`

```
◆ public class Exemple{  
    public static void p(){System.out.println( "appel de p ");}  
    public native callP(int val);  
}
```



```
◆ JNIEXPORT void JNICALL Java_Exemple_callP (JNIEnv *env, jobject  
obj){  
    jclass classe = (*env)->GetObjectClass(env,obj);  
    jMethodID mid = (*env)->GetStaticMethodID(env, classe,"p", "()V");  
    (*env)->CallStaticVoidMethod(env, classe,mid) ;}
```

◆ instruction JVM : `invokestatic`

Types natifs

◆ jni.h, interpreter.h, oobj.h, typecodes.h

◆ Types natifs / types java

- jbyte / byte, jshort / short, jint / int
-
- jobject / Object, jclass / Class, jstring / String, jarray / array,
- jthrowable / Throwable

sur la plate-forme Win32

nous avons typedef jint long;

Signature des méthodes

- ◆ **FieldType ::= BaseType | ObjectType | ArrayType**
 - **BaseType**
 - ◆ B byte , C char, D double, F float, I int, J long, S short, Z boolean
 - **ObjectType**
 - L<classname>;
 - **ArrayType**
 - [table
- ◆ **MethodDescriptor ::= (FieldType *) ReturnDescriptor**
- ◆ **ReturnDescriptor ::= FieldType | V**
 - ◆ V si le type retourné est void

Signature des méthodes en "clair"

◆ javap -s -private JavaVersC

◆ Compiled from JavaVersC.java

```
public synchronized class JavaVersC extends java.lang.Object
/* ACC_SUPER bit set */
{
    public native void bonjour();
    /* ()V */
    public static void main(java.lang.String[]);
    /* ([Ljava/lang/String;)V */
    public JavaVersC();
    /* ()V */
    static static {};
    /* ()V */
}
```

Objets et classe

◆ NewObject, NewObjectA, NewObjectV

◆ création d'une instance

- obtention de la classe
- obtention du constructeur
- passage des paramètres et création
- ...//en Java : ClasseA newObj = new ClasseA(10,"hello");

```
jclass classe = (*env)->FindClass("ClasseA");  
jMethodID mid = (*env)->GetMethodID(classe, "<init>",  
"(Ljava/lang/String;)V");  
jint val = 10;  
jstring str = (*env)->NewStringUTF(env, "hello");  
jobject newObj = (*env)->NewObject(env, classe, mid, val, str)  
;}
```

◆ instruction JVM : new et invokespecial

instanceof

◆ IsInstanceOf

```
class A{}
```

```
class B extends A{void callP(boolean b){...};}
```

...// obj est de classe déclarée A mais constatée B

```
jclass classeB = (*env)->FindClass("B");  
if ((*env)->IsInstanceOf(obj,classeB)){  
    jMethodID mid = (*env)->GetMethodID(classeB, "callP", "(Z)V");  
    jbool val = JNI_TRUE;  
    (*env)->CallVoidMethod(obj,mid,val) ;  
}
```

■ instruction JVM : instanceof, (checkcast)

Tableaux et String

◆ NewObjectArray,

```
public class Exemple{  
    public void p(){String sa = newArray( 10);}  
    public native String [] newArray(int taille);  
}
```


Tableaux et String

...

```
jclass classe = (*env)->FindClass(env, "java/lang/String");
jObjectArray newArr = (*env)->NewObjectArray(env,taille,classe,NULL);
for(int i = 0; i< taille; i++){
    str = (*env)->NewStringUTF("hello");
    (*env)->SetObjectArrayElement(env, newArr,i,str);
    (*env)->DeleteLocalRef(env, str);
}
return newArr;
}
```

DeleteLocalRef -> str a 2 références, en jni et en java (gc)

■ instruction JVM : newarray

Objets et ramasse miettes

- ◆ Chaque objet créé par JNI ne peut être collecté par le ramasse miettes Java, (l'objet str est référencé dans la machine Java)
 - DeleteLocalRef(str) // de l'exemple précédent
 - **permet de libérer cet objet** (autorise la récupération mémoire par le ramasse miettes)
 - NewGlobalRef(obj);
 - **"bloque" l'objet en mémoire**

Levée d'exceptions

- ◆ **ThrowNew, ExceptionClear, ExceptionOccured, ExceptionDescribe**

- ◆ ...

```
jclass classeExc = (*env)-  
    >FindClass("java/lang/OutOfMemoryError");  
...  
if (Condition){  
    (*env)->ThrowNew(classeExc,"OutOfMemoryError");  
  
    printf("apres le traitement de l'exception en Java ...");  
    ...  
}
```

- ◆ **instruction JVM : athrow**

Monitor

◆ MonitorEnter, MonitorExit

```
// l'équivalent de l'instruction synchronized  
(*env)->MonitorEnter(env,obj);
```

```
//du code C/C++
```

```
(*env)->MonitorExit(env,obj);  
}
```

- instructions JVM : **monitorenter, monitorexit**

Monitor

◆ Appels de wait et notify par les primitives GetMethodID et CallVoidMethod

```
jclass classe = (*env)->GetObjectClass(env,obj);  
jMethodID waitMid = (*env)->GetMethodID(env,classe,"wait","()V");  
(*env)->CallVoidMethod(env,obj,waitMid);  
if((*env)->ExceptionOccured()!=NULL)  
    // une exception est générée en Java, mauvais usage de Wait ...  
}
```

Appel de la machine Java

- ◆ « appel de la JVM et exécution de Java tout en C »
 - utilisation de `javai.lib`
 - chargement et appel de la machine Java depuis le point d'entrée main
- ◆ le source Java ordinaire
 - n'importe quelle application

Le source C

```
#include <jni.h>
```

```
int main(int argc, char *argv[]){
```

```
// declarations ici
```

```
options[0].optionString = "-Djava.class.path=.";
```

```
memset(&vm_args, 0, sizeof(vm_args));
```

```
vm_args.version = JNI_VERSION_1_2;
```

```
vm_args.nOptions = 1;
```

```
vm_args.options = options;
```

```
res = JNI_CreateJavaVM(&jvm, &env, &vm_args);
```

```
classe = (*env)->FindClass(env, "CVersJava");
```

```
methodeID = (*env)->GetStaticMethodID(env,classe,"main","([Ljava/lang/String;)V");
```

Le source C

```
jstr = (*env)->NewStringUTF(env," depuis du c !!!");  
args = (*env)->NewObjectArray(  
    env,1,(*env)->FindClass(env,"java/lang/String"),jstr);  
(*env)->CallStaticVoidMethod(env,classe,methodeID,args);  
(*jvm)->DestroyJavaVM(jvm);  
} return (0);}
```


Le source Java

```
public class CVersJava{  
  
    public static void main(String [] args){  
        System.out.println("en java dans main " + args[0]);  
    }  
}
```

Le source Complet (1)

```
#include <jni.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[]){
    JNIEnv      *env;
    JavaVM      *jvm;
    JavaVMInitArgs vm_args;
    JavaVMOption options[1];

    jint      res;
    jclass     classe;
    jmethodID  methodeID;
    jstring     jstr;
    jobjectArray args;
    char        classpath[1024];
```

```
options[0].optionString = "-
Djava.class.path=.";
options[1].optionString = "-verbose:jni";
memset(&vm_args, 0, sizeof(vm_args));
vm_args.version = JNI_VERSION_1_2;
vm_args.nOptions = 1;
vm_args.options = options;
```

Le source Complet (2)

```
res = JNI_CreateJavaVM(&jvm, (void**)&env, &vm_args);
if (res==JNI_ERR){
    printf(" erreur lors de la création de la JVM ....\n");
    return 1;
}
classe = (*env)->FindClass(env, "CVersJava");
methodeID = (*env)->GetStaticMethodID( env,classe,"main","([Ljava/lang/String;)V");

jstr = (*env)->NewStringUTF(env," depuis du c !!!");
args = (*env)->NewObjectArray(env,1,(*env)->FindClass(env,"java/lang/String"),jstr);
(*env)->CallStaticVoidMethod(env,classe,methodeID,args);
(*jvm)->DestroyJavaVM(jvm);

return (0);
}

cl -lc:\jdk\include -lc:\jdk\include\win32 SimpleHttpd.c c:\jdk\lib\jvm.lib
set path = c:\jdk\jre\bin\classic\;%path%    (accès à jvm.dll)
```



Test JNI

GetLocalTime, SetLocalTime et SYSTEMTIME

- **Rappel SYSTEMTIME**

```
typedef struct _SYSTEMTIME {  
    WORD wYear;  
    WORD wMonth;  
    WORD wDayOfWeek;  
    WORD wDay;  
    WORD wHour;  
    WORD wMinute;  
    WORD wSecond;  
    WORD wMilliseconds; }  
SYSTEMTIME
```

- **Rappel GetLocalTime, SetLocalTime**

```
SYSTEMTIME It;  
GetLocalTime(&It); SetLocalTime(&It);
```

Classe Wrapper : Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Classe wrapper de JNI

```
class JavaHowTo {
```

```
    public native void setSystemTime( short hour, short minutes);
```

```
    static {
```

```
        System.loadLibrary("javahowto");
```

```
    }
```

```
}
```

Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Définition du fichier d'entête

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_..._setSystemTime  
(JNIEnv *, ...);
```

- Fonction JNI

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_..._setSystemTime  
(JNIEnv *env, ...) {  
  
    SYSTEMTIME st;  
  
    GetLocalTime(&st);  
    st.wHour = ...;  
    st.wMinute = ...;  
    SetLocalTime(...);  
}
```

Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Utilisation de la Classe Wrapper

```
public class JNIJavaHowTo {
```

```
    public static void main(String[] args) {
```

```
        short hour = 10;
```

```
        short minutes = 21;
```

```
        // this example will set the system at 10h21 using the Windows API
```

```
        // SetLocalTime.
```

```
        ...
```

```
        // set the time at 10h21
```

```
        ...
```

```
    }
```

```
}
```


Correction : Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Définition du fichier d'entête

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_JavaHowTo_setSystemTime  
(JNIEnv *, jobject, jshort, jshort);
```

- Fonction JNI

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_JavaHowTo_setSystemTime  
(JNIEnv *env, jobject obj, jshort hour, jshort minutes) {
```

```
    SYSTEMTIME st;
```

```
    GetLocalTime(&st);  
    st.wHour = hour;  
    st.wMinute = minutes;  
    SetLocalTime(&st);
```

```
}
```

Correction : Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Classe wrapper de JNI

```
class JavaHowTo {
```

```
    public native void setSystemTime( short hour, short minutes);
```

```
    static {
```

```
        System.loadLibrary("javahowto");
```

```
    }
```

```
}
```

Correction : Accès à l'horloge de l'ordinateur depuis java

- Utilisation de la Classe Wrapper

```
public class JNIJavaHowTo {
```

```
    public static void main(String[] args) {
```

```
        short hour = 10;
```

```
        short minutes = 21;
```

```
        // this example will set the system at 10h21 using the Windows API
```

```
        // SetLocalTime.
```

```
        JavaHowTo jht = new JavaHowTo();
```

```
        // set the time at 10h21
```

```
        jht.setSystemTime(hour, minutes);
```

```
    }
```

```
}
```

Bibliographie utilisée

- ◆ **Cours Java Native Interface, jean-michel Douin, douin@cnam.fr, CNAM Paris**
- ◆ **Un ouvrage sur le sujet**
Essential JNI: Java Native Interface, rob Gordon, Prentice hall.1998, ISBN 0-13-679895-0