

POO et Java

Jean-Francois Lalande - September 2019 - Version 2

Ce cours traite des concepts de la programmation objets, illustrés principalement avec le langage Java, et parfois en Python.



CentraleSupélec

1 Plan

Plan du module

1 Plan	2
2 Historique et syntaxe	3
3 Programmation orientée objet	5
4 La machine virtuelle Java	19
5 Divers	28

2 Historique et syntaxe

[Bref historique](#)

3

[La syntaxe en 3 minutes](#)

3

Bref historique

- JDK 1.0 - 1996 - Init
- JDK 1.1 - 1997 - Reflection, JDBC, Inner classes
- JDK 1.2 - 1998 - Collection, JIT
- J2SE 1.3 - 2000 - Java sound, JNDI, JPDA
- J2SE 1.4 - 2002 - Assert, regex, exception chaining, parser XML, XSLT
- J2SE 5 - 2004 - Generics, autoboxing, enums, varargs, for (x : X)
- Java SE 6 - 2006 -
- Java SE 7 - 2011 - Java NIO
- Java SE 8 - 2014 - Lambdas
- Java SE 9 - 2015 - Modules, JSON, HTTP/2
- Java SE 10 - 2018 - compilateur JIT Graal
- Java SE 11 - 2018 -
- Java SE 12 - 2019 - Shenandoah: un ramasse miette à courtes pauses

La syntaxe en 3 minutes



Basic code structure

text file named HelloWorld.java

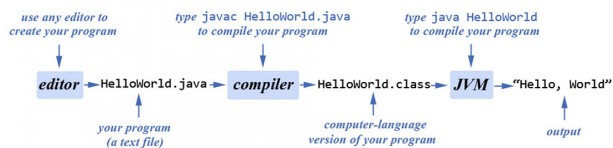
```

public class HelloWorld
{
    public static void main(String[] args)
    {
        System.out.print("Hello, World");
        System.out.println();
    }
}

```

name: HelloWorld, main() method: main, statements: System.out.print, System.out.println, body: the entire method block.

Input and output



Date types

type	set of values	common operators	sample literal values
int	integers	+ - * / %	99 -12 2147483647
double	floating-point numbers	+ - * /	3.14 -2.5 6.022e23
boolean	boolean values	&& !	true false
char	characters		'A' '1' '%' '\n'
String	sequence of characters	+	"AB" "Hello" "2.5"

Assignment status

declaration statement: `int a, b;`

variable name: `a`, `b`

literal: `1234`

assignment statement: `a = 1234;`

combined declaration and assignment statement: `int c = a + b;`

Booleans

values	true or false
literals	true false
operations	and or not
operators	&& !

Comparison

op	meaning	true	false
==	equal	2 == 2	2 == 3
!=	not equal	3 != 2	2 != 2
<	less than	2 < 13	2 < 2
<=	less than or equal	2 <= 2	3 <= 2
>	greater than	13 > 2	2 > 13
>=	greater than or equal	3 >= 2	2 >= 3

Loops

initialization is a separate statement: `int v = 1;`

loop continuation condition: `while (v <= N/2)`

braces are optional when body is a single statement: `v = 2*v;`

declare and initialize a loop control variable: `int v = 1;`

initialization another variable in a separate statement: `for (int i = 0; i <= N; i++)`

loop continuation condition: `i <= N`

increment: `i++`

body: `System.out.println(i + " " + v); v = 2*v;`

Functions

signature: `public static double sqrt (double c)`

return type: `double`

method name: `sqrt`

argument type: `double`

argument variable: `c`

local variables: `double err = 1e-15; double t = c;`

method body: `while (Math.abs(t - c/t) > err * t) t = (c/t + t) / 2.0;`

return statement: `return t;`

call on another method: `sqrt(c)`

References:

- <http://introcs.cs.princeton.edu/java/11cheatsheet/>
- <http://mindprod.com/jgloss/jcheat.html/>
- <http://www.javaassignmenthelp.net/>

3 Programmation orientée objet

Les concepts de la POO	5
L'objet	5
La classe	5
Soit même: this et self	6
Le constructeur	7
Visibilité et masquage des données	8
La composition	10
Généralisation et spécialisation	11
Polymorphisme	14
Références	17

Les concepts de la POO

Organisation du code pour atteindre de nouveaux objectifs:

- proche d'une réalité métier
- favoriser la réutilisabilité du code
- favoriser la conception

Basée sur quatre grands principes:

- l'encapsulation
- le masquage des données
- la composition
- le polymorphisme

L'objet

L'objet met en oeuvre le principe d'**encapsulation** et étend le concept de variable des langages non objets.

Encapsulation: regrouper et masquer les données et programmes relatifs à un objet vis-à-vis des autres objets.

L'objet contient:

- des attributs typés (des variables)
- des méthodes (du code)

En UML, on représente l'objet ainsi:

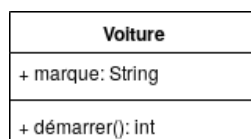


D'un point de vue d'un programme qui s'exécute, un objet occupe une zone mémoire pour stocker ses attributs, et ses méthodes.

La classe

La **classe** est le modèle ou patron, qui permet de créer un objet.

En UML, on représente la classe ainsi:



Un objet est **une instance** de classe.

Conséquent: - une classe contient des noms d'attributs mais pas de valeurs d'attributs - une classe contient le code des méthodes - l'objet peut se passer du code des méthodes

Et en Java ?

Définition de la classe Vehicule:

```
public class Vehicule {  
    public String marque = "Peugeot";  
    public int demarrer() { return 0; }  
}
```

Instanciation depuis le programme "main":

```
public class Main {  
    public static void main(String[] args) {  
        Vehicule v = new Vehicule();  
        v.demarrer();  
        System.out.println(v.marque);  
    }  
}
```

Et en Python ?

C'est un peu le bordel:

```
class Vehicule:  
    marque = "Peugeot" # Static variable... but may used as an object attribute  
  
    def demarrer(self):  
        return 0  
  
v = Vehicule()  
print("Vehicule.marque: " + Vehicule.marque)  
print("v.marque: " + v.marque + " -- WTF?")  
v2 = Vehicule()  
v2.marque = "Toyota"  
print("v2.marque: " + v2.marque)  
print("v.marque: " + v.marque)
```

```
Vehicule.marque: Peugeot  
v.marque: Peugeot -- WTF?  
v2.marque: Toyota  
v.marque: Peugeot
```

Solution: utiliser *self* et un *constructeur* (cf. plus tard)

Soit même: this et self

Puisque on souhaite mettre en oeuvre l'encapsulation, c'est-à-dire distinguer ce qui est dans l'objet et extérieur à l'objet, les langages définissent un mot du langage désignant l'objet contenant le code qui s'exécute:

En Java: *this*

```
public class Vehicule {  
    public int vitesse;  
    public int demarrer() {  
        this.vitesse = 0;  
        return this.vitesse; }  
}
```

En Python: self

```
class Vehicule:  
    demarrer():  
        self.vitesse = 0
```

Le constructeur

Il s'agit de la méthode appelée lors de l'instanciation d'un objet. Son rôle est de:

- d'initialiser les attributs
- de réaliser des actions obligatoires rendant l'objet viable

En général on a trois grand types de constructeurs:

- le constructeur par défaut (sans paramètre)
- le constructeur par **recopie** (1 paramètre du même type)
- les constructeurs avec des tas de paramètres

Et en Java ?

```
public class Vehicule {  
  
    public String marque = null;  
    public Moteur m = null;  
    /* Constructeur par défaut */  
    public Vehicule() { this.marque = "Peugeot"; this.m = new Moteur(); }  
    /* Constructeur sympa */  
    public Vehicule(String marque) {  
        this.marque = marque;  
        this.m = new Moteur();  
    }  
    /* Constructeur par recopie */  
    public Vehicule(Vehicule v) {  
        // this.moteur = v.moteur; // Hérésie  
        this.m = new Moteur(); // Pas top, mais mieux  
        this.marque = v.marque; // Possible et toléré car String immutable  
        this.marque = new String(v.marque);  
    }  
}
```

Et en Python ?

Pas de surcharge des constructeurs:

```
class Vehicule:  
  
    def __init__(self):  
        self.marque = "Peugeot"  
  
    def __init__(self, marque): # Vient d'écraser le constructeur précédent  
        self.marque = marque
```

```
# v = Vehicule() # Plante ! Pas de surcharge de constructeur !
m2 = "Toyota"
v2 = Vehicule(m2)
m3 = "Nissan"
v3 = Vehicule(m3)
print("v2.marque: " + v2.marque)
print("v3.marque: " + v3.marque)
```

Output:

```
v2.marque: Toyota
v3.marque: Nissan
```

Retour sur le principe d'encapsulation

Encapsuler les données et le code permet d'améliorer la qualité du code, sa réutilisabilité et d'aider le prochain développeur dans sa compréhension de ce code.

Le but **premier** de l'encapsulation est de **grouper** le code et les données dans une même classe pour éviter l'éparpillement du code qui traite ces données.

Cependant, l'encapsulation n'empêche nullement d'accéder aux données. On peut donc par inadvertance les modifier à loisir depuis l'extérieur de la classe. Pour éviter cela, on cherche donc à :

- masquer les données à ne pas exposer à ce risque
- exposer les données que chacun peut lire/écrire

On parle de **visibilité** et de **masquage** de données.

Visibilité et masquage des données

Certains langages proposent de définir une sorte de **contrôle d'accès aux données** de l'objet. Cela permet de :

- se poser des questions sur la visibilité des attributs et méthodes
- se poser des questions sur le code:
 - mécanique interne à l'objet ou pas ?
 - actions légitimes de l'utilisateur de l'objet ?

La visibilité des attributs

Les langages orientés objets proposent généralement au moins deux niveaux de visibilité des attributs :

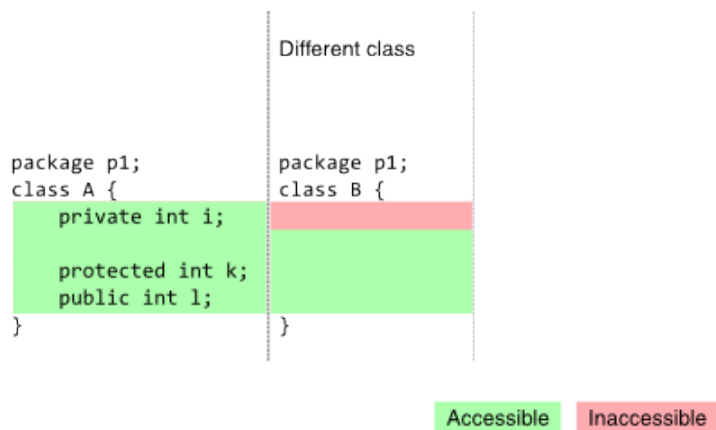
- **public** : tout code peut y avoir accès
- **private** : seule le code de classe a un accès

On trouve aussi la notion de visibilité "package", "module" et "amie" :

- **package / module** : une classe du même package, module a un accès
- **protected** : les sous-classes peuvent y avoir accès
- **amie** : une classe déclarée amie a un accès
- **published** : visible par tous et à conserver tel quel dans le futur

Et en Java ?

- **private** : non visible classes
- **protected** : comme public pour l'instant (cf. section héritage)
- **public** : visible pour tous



cf answer of aioobe about [What is the difference between public, protected, package-private and private in Java?](#)

La visibilité des méthodes Java

Elle est identique aux règles de visibilité des attributs en Java.

```
public class Machin {
    public void f();
    private void g();
}

public class Truc {
    public void h() {
        Machin m = new Machin();
        m.f();
    }
}
```

Et en Python ?

Les méthodes et attributs privées existent et son préfixés par un double underscore. Cependant, il n'y a pas de garantie du langage car on peut contourner la visibilité par introspection...

Par exemple, le programme suivant:

```
class Toto():
    def test(self):
        return 10;

    def __test2(self):
        return 15;

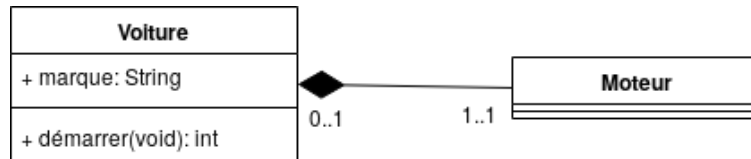
if __name__ == "__main__":
    t = Toto()
    print t.test(); # Ok, that's public
    #print t.test2(); # Not ok, that's private
    print t._Toto__test2(); # Ok, too !
```

écrit en console:

```
10
15
```

La composition

La composition permet de définir un lien entre deux classes. Il y a un lien fort entre les deux objets composés, à tel point que la destruction de l'un entraîne la destruction de l'autre.



La cardinalité du composé (le moteur) est forcément de 1 maximum (pas de * possible). Dans l'autre sens, on est libre car dans notre exemple, une voiture pourrait avoir plusieurs moteurs (une hybride par exemple).

Implémentation

D'un point de vue de l'implémentation, on utilise tout simplement un attribut de type:

- référence simple: 0 à 1 objet composé
- collection: 0 à * objets composés

```

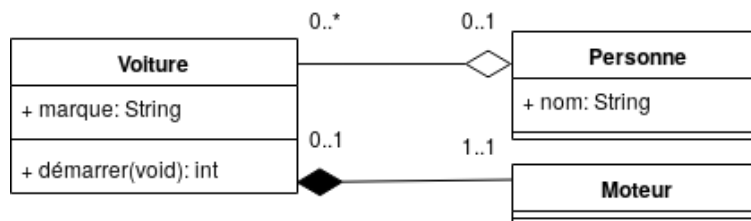
public class Voiture {
    private Moteur p = null;

    Moteur getMoteur() {
        return p;
    }
}
  
```

La destruction du moteur est automatique: elle est assurée par le *garbage collector* si la voiture est détruite.

L'agrégation

Une relaxation de la composition est l'agrégation: les entités sont liées mais ne s'appartiennent pas: on peut être agrégé à plusieurs classes différentes. Il n'y a pas de destruction automatique à implémenter quand lie les objets par agrégation.



```

public class Personne {
    private Vector<Voiture> p = null;
}
  
```

L'agrégation n'a pas de sens: on peut agréger la voiture à la personne ou dans l'autre sens. Le choix dépend de l'implémentation: quel est l'objet qui sera manipulé à un plus haut niveau. Eventuellement, on peut agréger dans les deux sens, mais la cohérence de l'ensemble est plus difficile à maintenir: à éviter.

Et en python ?

Les concepts sont les mêmes, et on utilise des attributs de classe:

```

class Patient:
    name = "Anonyme"

class Hopital:
  
```

```

patients = []

def putPatient(self, p):
    self.patients.append(p)

if __name__ == "__main__":

    p = Hopital()
    jf = Patient()
    jf.name = "JF"
    fred = Patient()
    fred.name = "Fred"
    p.putPatient(jf)
    p.putPatient(fred)

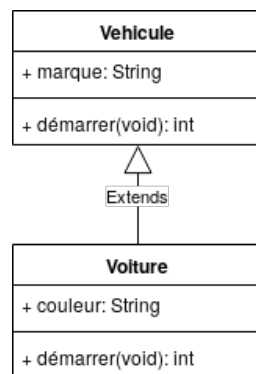
```

Généralisation et spécialisation

La généralisation et spécialisation de classe sont des mécanismes importants des langages orientés objets. Cela sert principalement à:

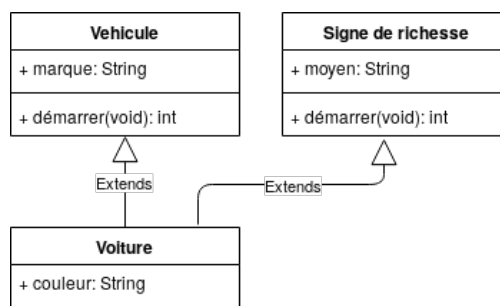
- factoriser du code dégagé de comportements généraux
- forcer l'implémentation de comportement spécifiques

D'un point de vue implémentatoire, on utilise l'héritage pour lier deux classes entre elle et on dit que "A hérite de B" ou bien que "A est un B".



L'héritage multiple

Une classe peut éventuellement hériter de plusieurs classes: c'est l'héritage multiple. Supporté dans certains langages de programmation, ce n'est pas permis dans d'autres.



Notamment, cela pose des problèmes de:

- chaînage d'appels dans les classes parentes (plusieurs chemins possibles)
- chaînage des constructeurs
- cast

Et donc en python ?

La résolution des méthodes en collision (**constructeur** compris) se fait de gauche à droite lors de l'héritage multiple:

```
class Vehicule():
    def __init__(self):
        print("Vehicule")
    def a(self):
        print("a")

class SigneDeRichesse():
    def __init__(self):
        print("La classe !")
    def b(self):
        print("b")
    def a(self):
        print("je suis riche !")

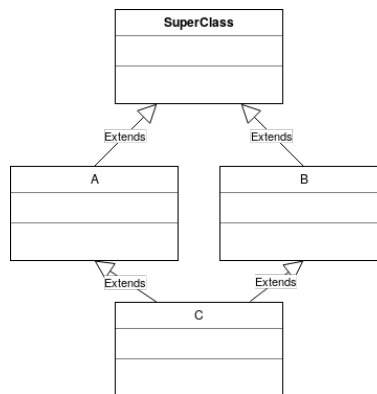
class Voiture(Vehicule, SigneDeRichesse):
    def __init__(self):
        super(Voiture, self).__init__()
        print("Voiture")

v = Voiture()
v.a()
v.b()
```

Output: Vehicule Voiture a b

Et donc pour Java, nada ?

Nada. Afin d'éviter le problème du diamant, Java n'autorise pas l'héritage multiple. Dans le problème du diamant, la super classe définit des méthodes qui existent ensuite pour A et B, peuvent être redéfinies, mais qui entrent en conflit pour la définition de C.



En fait, on a coutume de dire que dans Java on réalise l'héritage multiple en utilisant des *Interfaces*.

Interfaces

Une interface définit un contrat, en général sans code, qu'il faut implémenter pour une classe qui *implements* cette interface.

```
interface Contrat1 {
    public void g(double i);
    public void f(int i);
}
```

```
interface Contrat2 {
    public void f(int j);
}
```

```
public class Test implements Contrat1, Contrat2 {
    @Override
    public void g(double i) { // ...
    }
    @Override
    public void f(int i) { // ...
    }
}
```

Pas de collision possible ici: on respecte le contrat et il n'y a pas de chainage d'appel à faire.

Oui mais...

Dans Java 8, on peut mettre du code dans les interfaces (à l'aide du mot clef *default*) ! Diable !

Il n'y a pas de problème pour la signature de la méthode, mais plutôt pour appeler l'implémentation faite dans l'interface depuis la classe. La solution est de nommer l'interface avant le mot clef *super*.

```
interface Contrat1J8 {
    public void g(double i);
    default void f(int i) {System.out.println("f - contrat1");}
}
```

```
interface Contrat2J8 {
    public void f(int j);
}
```

```
public class TestJ8 implements Contrat1J8, Contrat2J8 {
    @Override
    public void g(double i) { // ...
    }
    @Override
    public void f(int i) {
        Contrat1J8.super.f(i);
    }
}
```

Généralisation concrète ou abstraite

Lorsqu'on généralise une classe par héritage, la classe parente est dite "concrète" ou "abstraite". Une classe concrète est instantiable, c'est-à-dire que créer un objet de ce type a un sens pour le modèle. Une classe abstraite est une classe dont on ne pourra jamais faire d'instance. Dans les exemples précédents, Vehicule aurait dû être une classe abstraite, car on ne peut pas construire de véhicule de type Vehicule.

```
public abstract class AVehicule {
    abstract void f();
    void g() { System.out.println("Implemented");}
}
```

```
public class Voiture extends AVehicule {
    @Override
    void f() {
        // Should be implemented
    }
}
```

Extension et restriction

Lorsqu'on réalise un héritage, on souhaite factoriser du code (généralisation). Mais parfois, on souhaite spécialiser la classe, lui ajouter un comportement particulier: on parle d'**extension**. Cela signifie:

- ajouter des attributs
- ajouter des méthodes
- changer l'implémentation de la méthode parente

Parfois, on souhaite faire l'inverse: restreindre les capacités d'une classe, car dans la classe fille, ces capacités n'ont plus de sens: on parle de **restriction**. En général, c'est à éviter mais cela peut avoir un sens: une méthode restreinte peut par exemple ne plus être valide dans la classe fille: on peut par exemple y lever une exception. Par exemple, si on a une classe *Forme* avec une méthode *tourner()*, on peut dire que cette méthode n'est plus utile pour *Cercle*.

Bilan

- héritage d'une classe
 - pas d'héritage multiple
 - la méthode héritée n'est pas à réécrire
- implémentation d'une interface
 - implémentation multiple: pas de collision de méthodes
 - la méthode implémentée est à réécrire même si une implémentation existe dans l'interface
- généralisation
 - classe parente abstraite ou concrète
 - par extension ou restriction

Polymorphisme

Le polymorphisme (poly morph) est la capacité d'un langage à considérer un objet sous plusieurs formes et d'agir en conséquence, notamment lors d'appels de méthodes. Cela est rendu possible par la notion d'héritage. La relation "est un" permet à un objet d'être à la fois son type, ou le type d'une classe parente, voire d'une interface.

Pour rendre l'objet polymorphe, on parle:

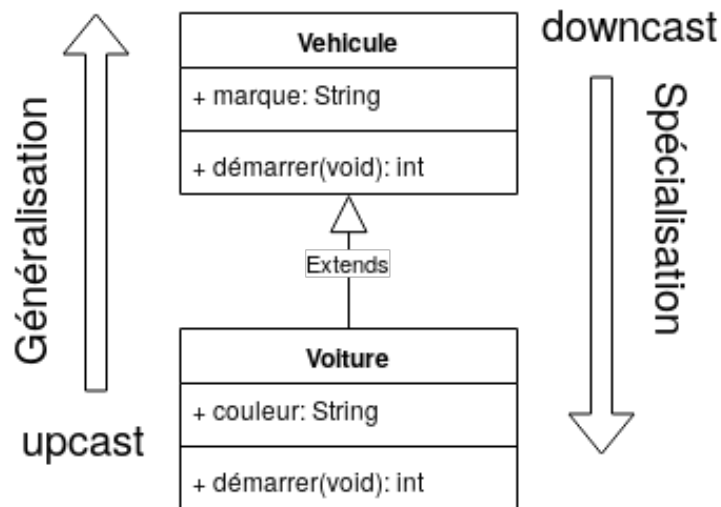
- du *cast* d'un objet: (Type) o
- de généralisation lorsqu'on *upcast*
- de spécialisation lorsqu'on *downcat*

```
Voiture vo = new Voiture();  
Vehicule ve = (Vehicule)vo; // upcast
```

Upcaster n'est jamais dangereux, mais à l'inverse un *downcast* peut lever une exception.

Polymorphisme

On parle de polymorphisme au *runtime* parce que la nature des objets n'est connue qu'à l'exécution. La résolution de la bonne méthode à appeler est donc effectuée à l'exécution. Par exemple, on peut écrire un algorithme utilisant des *Vehicule* et appelant *démarrer*, et à l'exécution exécuter l'algorithme sur une *Voiture*.



Polymorphisme au runtime

Les règles suivantes s'appliquent en Java:

- Dynamic Method Dispatch: la méthode la plus spécialisée est exécutée
- Data member: on récupère la donnée du niveau considéré

```

/**
 * (Exemple de "Java en concentré", D. Flanagan)
 */
public class HeritageA {
    int i = 1;
    int f() { return i; }
    static char g() { return 'A'; }
}
  
```

```

/**
 * Une classe B héritant de A.
 * (Exemple de "Java en concentré", D. Flanagan)
 */
public class HeritageB extends HeritageA {
    int i = 2; // Masque le champ i de A
    int f() { return -i; } // Redéfinit la méthode f de A
    static char g() { return 'B'; } // Masque la méthode de classe de A
}
  
```

```

public class PolymorphismeAB {
    public static void main(String[] args) {
        HeritageB b = new HeritageB();
        System.out.println("b.i : " + b.i);
        System.out.println("b.f() : " + b.f());
        System.out.println("b.g() : " + b.g());
        System.out.println("HB.g() : " + HeritageB.g());
        HeritageA a = (HeritageA)b;
        System.out.println("a.i : " + a.i);
        System.out.println("a.f() : " + a.f());
        System.out.println("a.g() : " + a.g());
        // System.out.println("(super)b.f() : " + b.super.f()); // impossible
        // https://stackoverflow.com/questions/6386343
    }
}
  
```

qui donne à l'exécution:

```
b.i: 2
b.f(): -2
b.g(): B
HB.g(): B
a.i: 1
a.f(): -2
a.g(): A
```

Finalement

Dernier point, le mot clef **final**.

Il permet de protéger l'accès à des éléments d'une classe dans le cas d'une spécialisation de celle-ci:

- méthode finale: on ne peut redéfinir cette méthode dans la classe fille
- classe finale: on ne peut hériter de cette classe

Petite confusion possible avec une variable *final*:

- une variable de type simple *final* ne peut être modifiée
- une référence *final* vers un objet ne peut être modifié

Cela n'a pas grand chose à voir avec une classe ou une méthode *final*.

```
public class Homme {
    private String nom;
    protected String poches;
    public int richesse;
    public Homme(String naissance){
        nom = naissance;
    }
    protected void remplirPoches(String s) {
        poches = new String(s);
    }
}
```

```
/** Appel aux méthodes/attributs parents et méthodes finales. */
public class SDF extends Homme {
    // Redéfinition
    public int richesse;
    public final int num_secu_social;

    public SDF(String naissance) {
        super(naissance);
        num_secu_social = 179;
        num_secu_social = 12; // impossible
    }

    final protected void remplirPoches(String s) {
        super.richesse = 0;
        richesse = 0;
        poches = "";
    }
}
```

```
/**
 *La redéfinition de remplirPoches est impossible à cause du final.
 */
public class SDF2 extends SDF {
    public int num_secu_social; // possible !
    private String habitation = "carton"; // implicitement final
```



```

public SDF2(String naissance) {
    super(naissance);
    super.num_secu_social = 0; // impossible !
    num_secu_social = 0;
}
protected void remplirPoches(String s) { // impossible !
    super.remplirPoches(s + " + 1 euro.");
}
}

```

- la modification du champs parent num_seu_social est impossible car *final*
- la méthode remplirPoches(String) est devenue *final* et donc non redéfinissable
- dans SDF, seule une affectation dans le constructeur est possible

La classe spéciale Object

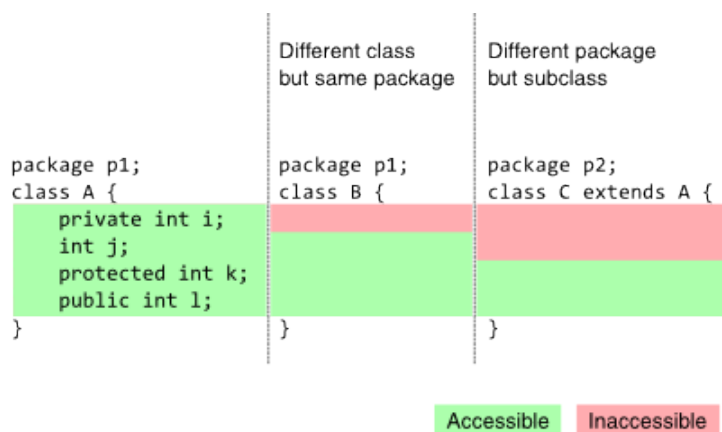
En Java, toute classe hérite de Object.

- sans héritage, le *extends Object* est implicite
- avec héritage, la dernière classe parente hérite de *Object*

Les méthodes de la classe Object sont les suivantes:

Object class methods	Description
<code>boolean equals(Object o);</code>	Gives generic way to compare objects
<code>Class getClass();</code>	The <code>Class</code> class gives us more information about the object
<code>int hashCode();</code>	Returns a hash value that is used to search objects in a collection
<code>void notify();</code>	Used in synchronizing threads
<code>void notifyAll();</code>	Used in synchronizing threads
<code>String toString();</code>	Can be used to convert the object to String
<code>void wait();</code>	Used in synchronizing threads
<code>protected Object clone() throws CloneNotSupportedException ;</code>	Return a new object that are exactly the same as the current object
<code>protected void finalize() throws Throwable;</code>	This method is called just before an object is garbage collected

Retour sur la visibilité



Références

Quelques liens utiles:

- <https://www.uml-diagrams.org/generalization.html>

- <https://www.geeksforgeeks.org/java-and-multiple-inheritance/>
- <https://www.geeksforgeeks.org/oops-generalization-as-extension-and-restriction-using-java/>
- <https://www.geeksforgeeks.org/generalization-and-specialization-in-java/>
- <http://d.martg.pagesperso-orange.fr/la.htm>

Codes source:

<https://github.com/jflalande/Heritage>

4 La machine virtuelle Java

Machine virtuelle Java	19
Le bytecode	19
Chargement dynamique de code	21
Packages et modules	22
Les modules	23

Machine virtuelle Java

La machine virtuelle travaille sur le *bytecode*, en général obtenu à partir de fichiers sources Java. Elle interprète le *bytecode* contenu dans les `.class` ou `.jar`. Elle peut aussi les compiler à la volée (*just-in-time* compiler, JIT). La plupart des machines virtuelles modernes peuvent interpréter ou compiler le *bytecode*. Enfin, certains outils permettent de compiler du *bytecode* en code natif.

A la différence des langages classiques *write once, compile anywhere*, le langage Java est du type *compile once, run anywhere*. Le code compilé, le *bytecode* peut être exécuté indifféremment sur une machine virtuelle implémentée pour fonctionner sur Windows, Linux, Android, etc...

Liste non exhaustive de quelques machines virtuelles:

- Sun Microsystems
- GNU Compiler for the Java Programming Language
- IBM
- ...

Le bytecode

Le *bytecode* est une séquence d'instruction pour la machine virtuelle. La JVM stocke pour chaque classe chargée le flot de bytecode associé à chaque méthode. Une méthode peut être par exemple constituée du flot ci-dessous [BB]_ :

```
// Bytecode stream: 03 3b 84 00 01 1a 05 68 3b a7 ff f9
// Disassembly:
iconst_0      // 03
istore_0      // 3b
iinc 0, 1      // 84 00 01
iload_0       // 1a
iconst_2      // 05
imul          // 68
istore_0      // 3b
goto -7       // a7 ff f9
```

Le nombre d'*opcodes* est petit ce qui permet de faire tenir tous les *opcodes* sur un octet. Brièvement, voici une liste des opcodes:

- **iconst_X**: empiler la constante X sur la pile
- **iload_X**: empiler la variable locale n°X
- **istore_X**: dépiler un entier et le stocker dans la variable locale n°X
- **i2f**: convertir un int en float
- **iadd, imul, iinc...**: opérations arithmétiques
- **ireturn**: retourne le résultat

Exemple de code source et de bytecode

Voici un extrait tiré de [BB]_ :

```
byte a = 1;
byte b = 1;
```

```
byte c = (byte) (a + b);
return c;
```

Qui se retrouve compilé sous la forme:

```
iconst_1 // Push int constant 1.
istore_1 // Pop into local variable 1, which is a: byte a = 1;
iconst_1 // Push int constant 1 again.
istore_2 // Pop into local variable 2, which is b: byte b = 1;
iload_1 // Push a (a is already stored as an int in local variable 1).
iload_2 // Push b (b is already stored as an int in local variable 2).
iadd // Perform addition. Top of stack is now (a + b), an int.
int2byte // Convert int result to byte (result still occupies 32 bits).
istore_3 // Pop into local variable 3, which is byte c: byte c = (byte) (a + b);
iload_3 // Push the value of c so it can be returned.
ireturn // Proudly return the result of the addition: return c;
```

Decompilation à l'aide de l'outil javap

```
public class Decompilation {
    int test() {
        byte a = 1;
        byte b = 1;
        byte c = (byte) (a + b);
        return c;
    }

    public static void main(String[] args) {
        Decompilation d = new Decompilation();
        int res = d.test();
        System.out.println("Out: " + res);
    }
}
```

La décompilation peut se faire à l'aide de l'outil **javap**:

```
javap -c -private Decompilation
```

- -public: Shows only public classes and members.
- -protected: Shows only protected and public classes and members.
- -package: Shows only package, protected, and public classes and members.
- -private: Shows all classes and members.

Exemple de décompilation

Par exemple, le code précédent décompilé par:

```
javap -c -public Decompilation > Decompilation.txt
```

donne:

```
Compiled from "Decompilation.java"
class Decompilation extends java.lang.Object{
public static void main();
Code:
 0: new #2; //class Decompilation
 3: dup
```

```

4:  invokespecial #3; //Method "<init>":()V
7:  astore_0
8:  aload_0
9:  invokevirtual #4; //Method test:()I
12: istore_1
13: getstatic #5; //Field java/lang/System.out:Ljava/io/PrintStream;
16: new #6; //class java/lang/StringBuilder
19: dup
20: invokespecial #7; //Method java/lang/StringBuilder."<init>":()V
23: ldc #8; //String Out:
25: invokevirtual #9; //Method java/lang/StringBuilder.append:...
28: iload_1
29: invokevirtual #10; //Method java/lang/StringBuilder.append:...
32: invokevirtual #11; //Method java/lang/StringBuilder.toString:...
35: invokevirtual #12; //Method java/io/PrintStream.println:...
38: return
}

```

Chargement dynamique de code

L'utilisation de *bytecode* intermédiaire impose de résoudre les dépendances entre classes lors de l'exécution. Cela n'empêche pas le compilateur de réaliser des vérifications entre classes, par exemple la présence ou non d'une fonction appelée sur un objet de type B depuis un objet de type A.

C'est dans le **CLASSPATH** que la machine virtuelle cherche les classes mentionnées après les directives **import**:

```

import p.Decompilation;
public class Chargement {
    public static void main() {
        Decompilation d = new Decompilation(); }
}

```

A la compilation, on obtient:

```

javac Chargement.java
Chargement.java:1: package p does not exist
import p.Decompilation;
      ^
1 error

```

ce qui montre que le compilateur cherche **Decompilation** dans le sous répertoire **p** du **CLASSPATH**. Si celui-ci est situé dans **unautreendroit**, il faut mettre à jour le **CLASSPATH**:

```
export CLASSPATH=./unautreendroit:$CLASSPATH
```

Les jar

La spécification des fichiers *jar* [JS] décrit l'utilisation du Manifest qui permet d'ajouter des informations pour l'utilisation du *jar*. Ce Manifest contient:

- Des informations générales (version, date et auteur, CLASSPATH des ressources requises).
- La classe contenant le **main** si ce jar contient une application qui est lancée via l'exécution de **java -jar x.jar**.
- Des informations pour les applets embarquées dans le *jar*.
- Des informations de signature.

```

Manifest-Version: 2.0
Created-By: 1.0 (JFL)
Main-Class: p.Decompilation

Name: p/Decompilation.class

```

```
Digest_Algorithms: MD5
MD5-Digest: base64(ae322ab9de701f1e79bc2040b26349e9)
```

On peut alors construire et exécuter un *jar* comme suit:

```
jar cfm executable.jar Manifest.txt p/Decompilation.class
java -jar executable.jar
Out: 2
```

Le CLASSPATH et les jar

Le **CLASSPATH** donne la liste des emplacements où la machine virtuelle est autorisée à charger des classes. S'il s'agit d'un nom de répertoire, il désigne la racine de l'arborescence correspondante aux *packages*. Si le **CLASSPATH** contient des fichiers *jar*, les classes sont cherchées et chargées directement depuis l'intérieur de l'archive, la racine de l'arborescence correspondant à la racine de l'archive.

L'exemple suivant permet de charger le fichier *./unautreendroit/p/Decompilation.class*, ou le fichier *p/Decompilation.class* à l'intérieur de *archive.jar*.

```
export CLASSPATH=./unautreendroit:./archive.jar:$CLASSPATH
```

La création d'un *jar* se fait à l'aide de la commande *jar*.

```
> cd autreendroit
autreendroit> jar cvf archive.jar */*.class
manifest ajouté
ajout : p/Decompilation.class (39% compressés)
```

Comme pour la commande *tar*, on peut visualiser un *jar*:

```
jar tf archive.jar
META-INF/MANIFEST.MF
p/Decompilation.class
```

Packages et modules

Historiquement, avant Java 9, seuls les *packages* étaient disponibles pour modulariser le code d'une application. Le nom d'une classe est complet avec son nom de *package*:

```
import java.lang.String;
```

L'utilisation de *packages* permet de lever l'ambiguïté lors d'une collision de noms de classes. Il y a aussi une bijection entre le nom du *packages* et la hiérarchie des répertoire, que ce soit dans un *jar* ou dans vos sources:

```
jar tf archive.jar
META-INF/MANIFEST.MF
p/Decompilation.class
```

rt.jar

Toujours avant Java 9, les classes de bases sont toutes embarquées dans l'archive *rt.jar* (~60 Mo).

```
.
├── com
│   ├── oracle
│   └── sun
├── java
└── applet
```

```

■ ■■■ awt
■ ■■■ beans
■ ■■■ io
■ ■■■ lang
■ ■■■ math
■ ■■■ net
■ ■■■ nio
■ ■■■ rmi
■ ■■■ security
■ ■■■ sql
■ ■■■ text
■ ■■■ time
■ ■■■ util
■■■ javax
■ ■■■ accessibility
...

```

Retour sur le chargement des classes

Plusieurs inconvénients sont identifiés:

- charger une classe signifie qu'il faut:
 - chercher dans rt.jar
 - chercher dans le CLASSPATH
- le chargement est linéaire avec l'ensemble des .jar
 - l'une des deux classes identiques du même package sera chargée suivant l'ordre du CLASSPATH
 - les dépendances d'une classe sont chargées à leur tour
- il n'y a pas de modularité de rt.jar, qui grossit avec l'évolution du langage

En Java 9, Oracle introduit les *modules*.

Les modules

Les classes de base sont désormais modularisées dans des fichiers .jmod, pour un total de 191 Mo.

```

ls /usr/lib/jvm/java-11-openjdk-amd64/jmods
java.base.jmod      jdk.attach.jmod      jdk.jlink.jmod
java.compiler.jmod   jdk.charsets.jmod     jdk.jshell.jmod
java.datatransfer.jmod jdk.compiler.jmod     jdk.jsobject.jmod
java.desktop.jmod    jdk.crypto.cryptoki.jm jdk.jstatd.jmod
...

```

java.base.jmod fait quand même 124 Mo...

Les jmod sont des fichiers 7z qui contiennent les .class, comme des .jar, mais dans le sous répertoire *classes*:

```

7z x java.sql.jmod
tree
.
├── classes
│   ├── java
│   │   └── sql
│   │       ├── Array.class
│   │       ├── BatchUpdateException.class
│   │       ├── Blob.class
│   │       ├── CallableStatement.class
│   │       ├── ClientInfoStatus.class
│   │       ├── Clob.class
│   │       └── ConnectionBuilder.class
│   └── ...

```

Module-info

Dans un module, un descripteur spécifique nommé *module-info* va déclarer les packages qui sont explicitement disponible pour les autres modules.

Le source de ce fichier peut par exemple être:

```
module mon.module {
    exports mon.module
}
```

ce qui expose par exemple la classe `mon.module.MaClasse`.

Par exemple, si l'on interroge le contenu du module `java.sql`, on obtient:

```
java --describe-module java.sql
java.sql@11.0.4
exports java.sql
exports javax.sql
```

Puisqu'on exporte des packages, on se doute qu'un autre module va importer ces packages.

Directives de module-info

Le Module-info de `java.sql` contient en effet plus de choses que des *exports*:

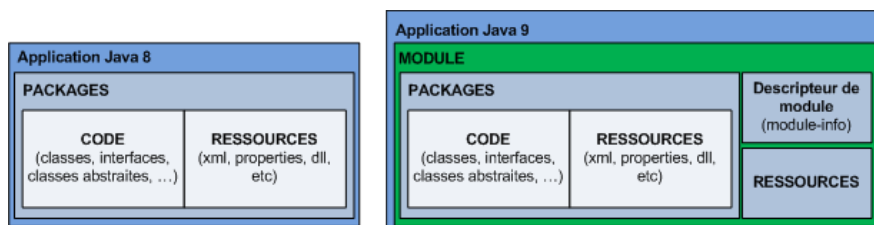
```
java --describe-module java.sql
java.sql@11.0.4
exports java.sql
exports javax.sql
requires java.xml transitive
requires java.base mandated
requires java.transaction.xa transitive
requires java.logging transitive
uses java.sql.Driver
```

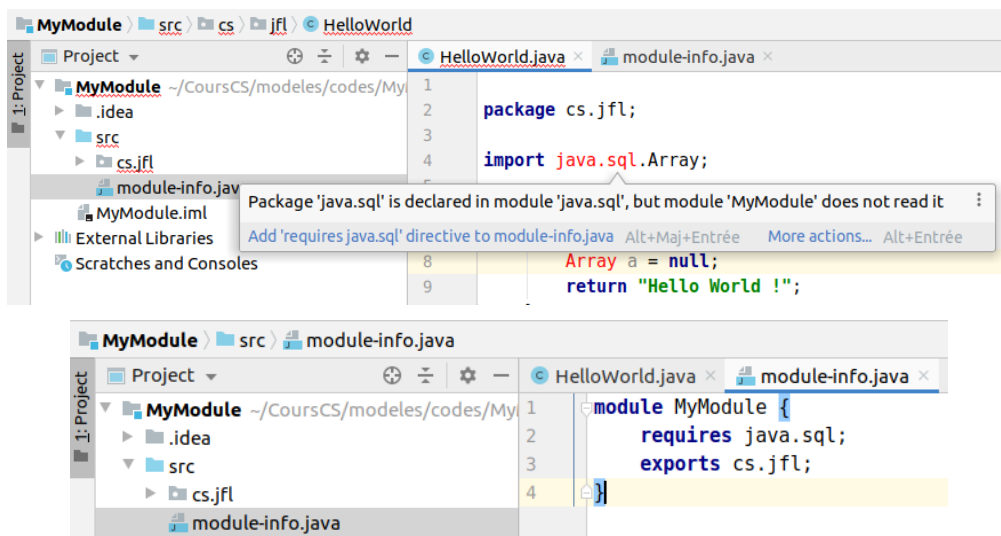
ce qui signifie notamment que ce module a besoin du package `java.xml` pour fonctionner.

Module-info path peut contenir d'autres directives:

- **requires M**: a besoin du module M
- **requires transitive**: a besoin du module M et ses dépendances
- **uses X**: est un consommateur du service X
- **provides X**: fournit une implémentation de service X
- **opens PKG**: autorise la réflexion sur PKG

Construction d'un module applicatif





Construction du JAR du module applicatif

Dans **IntelliJ**, il faut générer le JAR depuis "Artifacts":

File -> Project Structure -> Project Settings -> Artifacts -> Click green plus sign -> Jar -> From modules with dependencies...

On obtient alors dans out/artifacts/MyModule_jar:

```
MyModule.jar

jar tf MyModule.jar
cs/
cs/jfl/
cs/jfl/HelloWorld.class
module-info.class
```

On peut explorer les dépendances de notre module avec l'outil **jdeps**:

```
jdeps MyModule.jar
MyModule
  requires mandated java.base (@11.0.4)
  requires java.sql (@11.0.4)
MyModule -> java.base
MyModule -> java.sql
cs.jfl -> java.io      java.base
cs.jfl -> java.lang    java.base
cs.jfl -> java.sql     java.sql
```

Module-path

La variable d'environnement **MODULEPATH** ou l'option **module-path** de la ligne de commande se comporte comme **CLASSPATH** et l'option **cp**:

```
java --module-path `pwd` --module MyModule/cs.jfl.HelloWorld
Hello World !
```

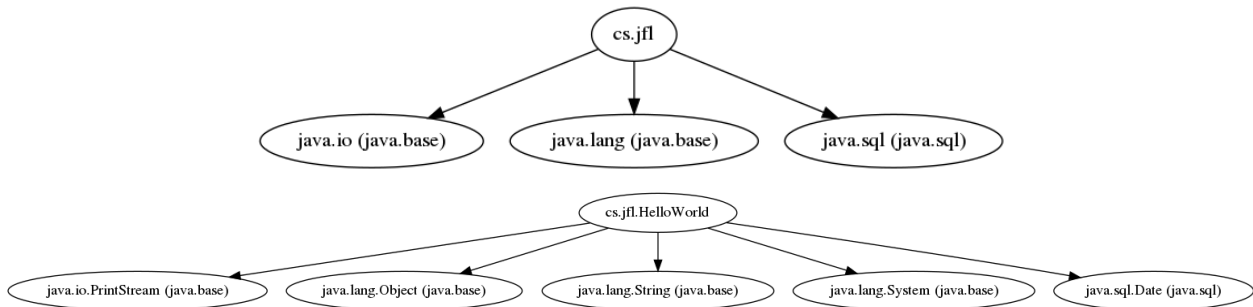
```
export MODULEPATH=`pwd`
java --module-path `pwd` --module MyModule/cs.jfl.HelloWorld
Hello World !
```

Le classpath n'est pas déprécié et peut coexister avec modulepath. Les packages du classpath sont mis par défaut dans le module **unnamed module**, de manière similaire au **default package**. L'unnamed module peut charger tous les packages des modules et exporte tout ce qu'il contient.

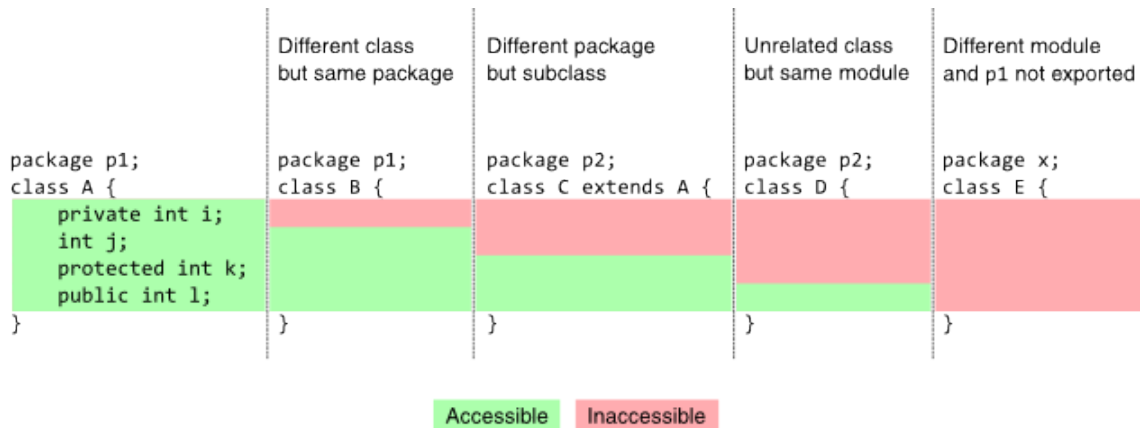
Résolution des dépendances

La JVM est en charge de la résolution des modules au lancement de l'application. Contrairement au chargement des classes au travers du classpath qui était linéaire, le chargement des modules est arborescent: chaque module comportant des directives *requires* permet à la JVM de chercher directement le module adéquat et de poursuivre le chargement récursivement.

Dans notre exemple, jdep permet de dessiner l'arbre de dépendance du module:



Retour sur la visibilité



Cheat Sheet

Jrebel a édité une page A4 qui peut servir de [mémo sur les modules](#). C'est assez bien fait pour se l'imprimer et se l'accrocher au dessus de son lit...

Java Platform Module System Cheat Sheet

For more awesome cheat sheets
visit rebellabs.org!



module-info.java file contents

module *module.name* - declares *module.name*

requires *module.name* - this module depends on *module.name*

requires transitive *module.name* - this module depends on the *module.name* and its dependencies

exports *pkg.name* - this module exports public members in package *pkg.name*

exports *pkg.name* **to** *module.name* - this module allows the target module to access public members in package *pkg.name*

uses *class.name* - this module declares itself as a consumer for service *class.name*

provides *class.name* **with** *class.name.impl* - provides an implementation of a service for others to consume

opens *pkg.name* - allows reflective access to the private members of package *pkg.name*

opens *pkg.name* **to** *module.name* - opens private members of package *pkg.name* to the given module

Manifest attributes

Automatic-Module-Name: *module.name* - declares stable module name for non-modularized jar

Add-Exports: *<module>/<package>* - exports the package to all unnamed modules

Add-Opens: *<module>/<package>* - opens the package to all unnamed modules

Java command line options

--module-path or **(-p)** is the module path; its value is one or more directories that contain modules.

--add-reads *src.module=target.module* - a command-line form of a *requires* clause in a module declaration.

--add-exports *src.module/pkg.name=target.module* - a command line form of an *exports* clause.

--add-opens *src.module/pkg.name=target.module* - a command line form of the *open* clause in a module description.

--add-modules - adds the indicated modules to the default set of root modules.

--list-modules - displays the names and version strings of the observable modules.

--patch-module - adds or overrides classes in a module. Replaces *Xbootclasspath/p*.

--illegal-access=permit|warn|deny - relaxes strong encapsulation of the module system; Java 9 default is *permit*.

Mechanism	Compile Access	Reflection Access
Export	all code → public	all code → public
Qualified Export	specified modules → public	specified modules → public
Open Package	none	all code → private
Qualified Open Package	none	specified modules → private
Open Module	none	all code → private
Default	none	none

Module types

Java SE and JDK modules - modules provided by JDK: *java.base*, *java.xml*, etc.

Named application module - your application modules; contains *module-info.class*; explicitly exports packages; can't read the unnamed module.

Automatic module - non-modular jar on the module-path; exports all packages; name derived from the **Automatic-Module-Name** MANIFEST.MF entry or the filename; can read all modules.

Unnamed module - all jars/classes on the classpath; can read all modules.

BROUGHT TO YOU BY
JRebel

Références

Quelques liens utiles:

- <https://openclassrooms.com/fr/courses/26832-apprenez-a-programmer-en-java/5013781-creez-une-jvm-modulaire-avec-java-9>
- <https://www.oracle.com/corporate/features/understanding-java-9-modules.html>
- <https://blog.loat.fr/2017/05/java-9-la-revolution-des-modules/>
- <https://jrebel.com/rebellabs/java-9-modules-cheat-sheet/>
- <https://jefrajjames.wordpress.com/2018/01/12/java-9-discovering-modules/>
- <https://www.logicbig.com/tutorials/core-java-tutorial/modules/unnamed-modules.html>
- <http://tutorials.jenkov.com/java/modules.html#running-a-java-module>
- <http://www-igm.univ-mlv.fr/~forax/ens/java-avance/cours/pdf/19-Module-Packaging.pdf>

Codes source:

- <https://github.com/jflalande/MyModule>



5 Divers

On ne l'a pas fait, c'est important, on peut en parler:

- Les exceptions
- Les collections
- HTTP

Java avancé:

- La **généricité**
- La **réflexivité**
- La **programmation concurrente**
- Java **NIO**
- Les lambdas
- Java FX