

# PROGRAMMATION ORIENTÉE OBJET

# CONTEXTE

La programmation **orientée-objet** est un **paradigme** de programmation (un “style” de conception de programmes) au même titre que

- la programmation impérative (/structurée/procédurale),
- la programmation fonctionnelle,
- la programmation logique,
- ...

# EXAMPLES

- **impératif:** C, Fortran, Assembleur, ...
- **fonctionnel:** Haskell, F#, Reason, Scheme, ...
- **objet:** Java, C#, Ruby, Smalltalk, ...
- **multi-paradigmes:** Scala, C++, OCaml, Python, ...

# UN UNIQUE PARADIGME OBJET ?

Non ! De **multiples** modèles objets déterminés par

- une collection de traits distincts,
- mais des emphases/variantes significatives,
- et une dimension culturelle/historique forte ...

**Pas de consensus universel, mais des  
caractéristiques communes !**

# UN PEU D'HISTOIRE

(a propos du système [Oberon](#))

“A lot of the developers and managers at Apple were gathered around watching a presentation from someone about some *wonderful* new product that would save the world. All through the presentation, he had been stating that the product was **object-oriented** while he blathered on.”

Finally, someone at the back of the room piped up:

- “So, this product doesn’t support **inheritance**, right?”
- “that’s right”.
- “And it doesn’t support **polymorphism**, right?”
- “that’s right”
- “And it doesn’t support **encapsulation**, right?”
- “that’s correct”.

- “So, it doesn’t seem to me like it’s **object-oriented**”.

To which the presenter huffily responded,

- “Well, who’s to say what’s object-oriented and what’s not?”

At this point the person replied,

- “I am. I’m Alan Kay and I invented the term.”

(Source: “[He invented the term](#)”)



- Alan Kay, créateur du langage [Smalltalk](#) (1972).
- inspiré par le langage [Simula](#) (1960s), le “premier langage orienté objet”.
- Bjarne Stroustrup (créateur de C++) et James Gosling (créateur de Java) ont également reconnu l’influence majeure de Simula.

Voir: [The Early History of Smalltalk](#)

- “I made up the term ‘object-oriented’,  
and I can tell you I didn’t have C++ in mind.”  
Alan Kay, OOPSLA ‘97

Source: [The Forgotten History of OOP](#)

# CARACTÉRISTIQUES

**“OOP to me means only messaging, local retention and protection and hiding of state-process, and extreme late-binding of all things.”**

Alan Kay.

# “BESTIAIRE”

**Termes fréquents:** envoi de messages, encapsulation, attachement dynamique, classes, instances, champs, méthodes, héritage, polymorphisme, composition, délégation, ...

# LES CLASSES EN JAVA

**CLASSES**



**INSTANCES**



# EXEMPLE – LA CLASSE `Point` (2D)

- 2 champs : `x` et `y` (valeurs numériques)
- 1 méthode “spéciale”: le constructeur
- 1 méthode “normale”: `distance` (à l’origine)



# CHAMPS (ATTRIBUTS)

```
class Point {  
    double x, y;  
    ...  
}
```

# CONSTRUCTEUR

```
class Point {  
    ...  
    Point(double x, double y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
    ...  
}
```

# MÉTHODE

```
class Point {  
    ...  
    double distance() {  
        return Math.sqrt(x*x + y*y);  
    }  
}
```

# **EXPLOITATION (BOILERPLATE)**

```
class Main {  
    public static void main(String[] args) {  
        ...  
    }  
}
```

# INSTANCIATION

```
Point point = new Point(1.0, 2.0);  
System.out.println(point);
```

# ACCÈS AU CHAMPS

```
System.out.println(point.x);  
System.out.println(point.y);
```

# APPEL DE MÉTHODE

```
double distance = point.distance();  
System.out.println(distance);
```

# EXÉCUTION

```
$ ./run # javac *.java && java Main
```

```
Point@2f0e140b
```

```
1.0
```

```
2.0
```

```
2.23606797749979
```



# AVEC JSHELL (JAVA 9+)

```
jshell> /open Point.java
jshell> Point point = new Point(1.0, 2.0)
point ==> Point@238e0d81
jshell> point.x
$1 ==> 1.0
jshell> point.distance()
$2 ==> 2.23606797749979
```

# AVEC LE “CODE PAD” DE BLUEJ

```
> Point point = new Point(1.0, 2.0);  
> point  
<object reference> (Point)  
> point.distance()  
2.23606797749979 (double)
```

# / **AVEC JYTHON**

```
>>> import Point  
>>> point = Point(1.0, 2.0)  
>>> point.distance()  
2.23606797749979
```

# LES CLASSES À TRAVERS LES LANGAGES



```
class Point:
    def __init__(self, x, y):
        self.x = x; self.y = y
    def distance(self):
        return math.sqrt(self.x**2 + self.y**2)
```

```
>>> point = Point(1.0, 2.0)
```

```
>>> point.x
```

```
1.0
```

```
>>> point.distance()
```

```
2.23606797749979
```



```
class Point
  def initialize(x, y)
    @x = x; @y = y
  end

  def distance
    Math.sqrt(@x**2 + @y**2)
  end
end
```

```
irb> point = Point.new 1.0, 2.0
=> #<Point @x=1.0, @y=2.0>
irb> point.x
NoMethodError: undefined method `x' for #
<Point:0x00000001223ef8 @x=1.0, @y=2.0>
irb> point.distance
=> 2.23606797749979
```



# JAVASCRIPT (PROTOTYPE)

```
function Point(x, y) {  
  this.x = x;  
  this.y = y;  
}
```

```
Point.prototype.distance = function () {  
  return Math.sqrt(this.x**2 + this.y**2);  
}
```

```
> point = new Point(1.0, 2.0)
```

```
Point { x: 1, y: 2 }
```

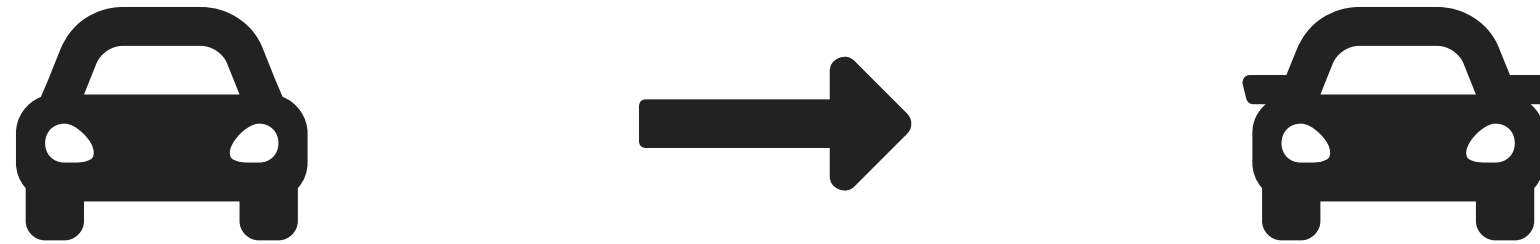
```
> point.x
```

```
1
```

```
> point.distance()
```

```
2.23606797749979
```

# PROTOTYPES



Usage: Javascript, [Lua](#).

Voir aussi: [Prototypes in JavaScript](#)

# COFFEESCRIPT

```
class Point
  constructor: (@x, @y) ->

  distance: ->
    Math.sqrt(@x**2 + @y**2)
```

```
coffee> point = new Point 1.0, 2.0
```

```
Point { x: 1, y: 2 }
```

```
coffee> point.x
```

```
1
```

```
coffee> point.distance()
```

```
2.23606797749979
```

# JAVASCRIPT (CLASSE)

```
class Point {  
  constructor(x, y) {  
    this.x = x; this.y = y;  
  }  
  distance() {  
    return Math.sqrt(this.x**2 + this.y**2);  
  }  
}
```

```
> point = new Point(1.0, 2.0)
```

```
Point { x: 1, y: 2 }
```

```
> point.x
```

```
1
```

```
> point.distance()
```

```
2.23606797749979
```

# ENCAPSULATION



# W ENCAPSULATION

- “désigne le principe de **regrouper des données brutes avec un ensemble de routines** permettant de les lire ou de les manipuler.”
- “(...) souvent accompagné du **masquage de ces données brutes** afin de s’assurer que l’utilisateur ne contourne pas l’interface qui lui est destinée.”
- “L’ensemble se considère alors comme une **boîte noire** ayant un comportement et des propriétés spécifiés.”

# ENCAPSULATION – BÉNÉFICES

- **Architecture.** Le logiciel est réalisé par assemblage de composants – plus ou moins autonomes – pour réduire la complexité de l'ensemble.
- **Abstraction & Découplage.** Ce que fait un objet (son **interface**) est plus important que comment il le fait (son **implémentation**) ; cette “ignorance sélective” contribue à abaisser la complexité (visible) de chaque composant.



## Les mots-clés

`public, protected, private`

contrôlent l'accès aux attributs et méthodes.



En cas de champ XXX non-public, on peut permettre son accès **contrôlé** à travers de fonctions (accesseurs).

Par exemple :

```
private XXX xxx;  
public XXX getXXX() { ... };  
public void setXXX(XXX xxx) { ... };
```

# EXEMPLE EN PYTHON : FRACTIONS

 Spécification (boîte noire):

```
>>> Fraction(7)
7
>>> Fraction(2, 3)
2/3
>>> Fraction(1, 3) + Fraction(1, 6)
1/2
...
```

## Constructeur

```
class Fraction:
    def __init__(self, num, den=1):
        self._num = num
        self._den = den
        self._simplify()
```

## Méthode utilitaire

```
def _simplify(self):  
    gcd = math.gcd(self._num, self._den)  
    self._num = self._num / gcd  
    self._den = self._den / gcd  
    if self._den < 0:  
        self._num = - self._num  
        self._denom = - self._denom
```

## Méthode d'addition

```
def __add__(self, other):  
    num = self._num * other._den + \  
        other._num * self._den  
    den = self._den * other._den  
    return Fraction(num, den)
```



## Méthode de représentation

```
def __repr__(self):  
    if self._den == 1:  
        return f"{self._num}"  
    else:  
        return f"{self._num}/{self._den}"
```

- Les données des fractions sont stockées dans les **attributs** (ou **champs**) `_num` et `_den`,
- Les **méthodes** `__init__`, `simplify`, `__add__`, ... permettent de les manipuler.

## En Python :

- Le caractère privé des données ou méthodes est indiqué par une convention : l'identifiant commence par un caractère de soulignement.  
Seules les méthodes de l'objet devraient accéder au champ `_num` ou appeler la méthode `_simplify`.

- Vous pouvez décider de ne pas vous conformer à cette indication à **vos risque et périls** (“**We are all consenting adults**”)

Par exemple:

```
>>> f = Fraction(4, 6)
>>> f._num = 7
>>> f
???
```

- Selon le langage, l'accès aux données peut être rendu possible – de façon contrôlée – par des **accesseurs** (méthodes) et/ou des **propriétés**.

 En Python (lecture seule ou “getter”):

```
def get_numerator(self):  
    return self._num
```

et optionnellement:

```
numerator = property(get_numerator)
```

## Usage:

```
>>> f = Fraction(2, 3)
```

```
>>> f.get_numerator()
```

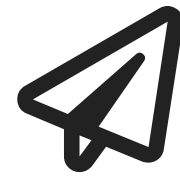
```
2
```

```
>>> f.numerator
```

```
2
```

# ENVOI DE MESSAGES





## **Assemblage / Architecture**

Les “objets” communiquent par envoi de messages.

# OBJET = “ACTEUR”

“(...) considère les **acteurs** comme les seules fonctions primitives nécessaires pour la **programmation concurrente**.

Les acteurs communiquent par échange de messages. En réponse à un message, un acteur peut effectuer un traitement local, créer d'autres acteurs, ou envoyer d'autres messages.”

W **Modèle Acteur**

“Actors systems research was based on the assumption that massively parallel, distributed, computer systems could become prevalent, and therefore a convenient and efficient way to structure a computation was as a large number of **self contained processes**, called **actors**, communicating by sending messages to each other.”

[Smalltalk wiki](#)

“I realised that Erlang was the only true OO language  
– **the big thing about OO is message passing** –  
Java/C++ are not OO.”

Joe Armstrong 

See also [Why OO Sucks](#)

S'inscrivent dans cette philosophie:  
Smalltalk, Erlang, Ruby, Elixir, etc.



```
> 1 + 2
```

```
=> 3
```

L'opérateur + calcul la somme des valeurs 1 et 2.



```
> 1.+(2)
```

```
=> 3
```

Le calcul est délégué à la méthode + de l'objet 1.



```
> 1.send(:+, 2)  
=> 3
```

L'addition est la réponse à un message  
– contenant le symbole + et l'objet 2 –  
adressé à l'objet 1.



# RÉFÉRENCES

- Ruby is a Message-Oriented Language
- Do you understand Ruby's Objects, Message and Blocks?

# INTERPRÉTATION EN JAVA

Interpréter `oldVal = dict.put(key, val)` comme :

- l'envoi du message "put",
- contenant les données `key` et `value` (*payload*),
- à l'objet `dict`,
- qui répond `oldValue`.

# HÉRITAGE ET POLYMORPHISME

# UN CONCEPT FONDAMENTAL ?

“Unfortunately, **inheritance** – though an incredibly powerful technique – has turned out to be very difficult for novices (and even professionals) to deal with.”

Alan Kay

(Smalltalk-72 n’a pas d’héritage)

What does Alan Kay think about inheritance in object-oriented programming?

# BÉNÉFICES DE L'HÉRITAGE

- Compatible avec le modèle objet (aggrégation/encapsulation de données et de code),
- Réutilisation/Extension (sans *modification*) de code,
- Flexibilité (polymorphisme & attachement dynamique).

# L'HÉRITAGE EN JAVA

- Il repose sur les **classes** et les **interfaces**,
- Les obligations du programmeur sont vérifiées par le compilateur (en partie).

# RETOUR AU Point

```
public class Point {  
    private double x;  
    private double y;  
    public Point(double x, double y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
    ...  
}
```

# AFFICHAGE DES POINTS

Le code

```
Point point = new Point(1.0, 2.0);  
System.out.println(point);
```

affiche

```
Point@76ed5528
```

D'où cette fonctionnalité “gratuite” vient-elle ?



Le code est équivalent à

```
Point point = new Point(1.0, 2.0);  
String string = point.toString();  
System.out.println(string);
```

- Tous les objets Java peuvent être convertis en une chaîne de caractères,
- Il existe une implémentation par défaut de cette méthode,
- Elle est **héritée** de la classe `Object`.

# Object

```
Object object = new Object();  
String string = object.toString();  
System.out.println(string)  
--> java.lang.Object@2c7b84de
```

([Documentation Object.](#))

# TOUTE CLASSE DÉRIVE D'Object

Notre classe Point aurait pu être définie comme

```
public class Point extends Object {  
    ...  
}
```

Le `extends Object` est implicite si votre classe n'utilise pas `extends`.

```
Point point = new Point(1.0, 2.0);  
point instanceof Object // --> true
```

Les instances de `Point` disposent donc gratuitement (*héritent*) des méthodes implémentées par `Object` :

- `String toString()`
- `boolean equals(Object object)`
- `Object clone()`
- ...

API :

<https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/lang/Object.html>

Dans Object, toString est implémentée comme

```
String toString() {  
    String className = this.getClass().getName();  
    String hexString = Integer.toHexString();  
    return className + "@" + hexString;  
}
```

# REDÉFINIR toString

```
public class Point extends Object {  
    ...  
    public String toString() {  
        return "Point(" + x + ", " + y + ")";  
    }  
    ...  
}
```

`System.out` est un `PrintStream`, avec les méthodes :

- `println(String x)`
- `println(Object x)`
- ...

([documentation](#))

`System.out.println:`

- accepte les instances d'`Object`, donc accepte toute instance dérivée, donc les `Points` (*polymorphisme d'héritage*).
- ignore lorsqu'il invoque `x.toString()` quelle méthode est effectivement exécutée, celle d'`Object` ou d'une classe dérivée (*liaison dynamique*).



Les méthodes Java sont *virtuelles* : à l'exécution, les appels de fonctions sont déléguées aux classes dérivées quand les méthodes sont définies :

```
Point point = new Point(1.0, 2.0);  
System.out.println(point); // --> Point(1.0,  
2.0)
```

Equivalent à :

```
Object point_as_object = point;  
System.out.println(point_as_object); // -->  
Point(1.0, 2.0)
```

# CONTRAINTES LIÉES À L'HÉRITAGE

Stricto sensu, Java ne permet pas l'héritage multiple :  
une seule classe parent. Les hiérarchies de classes  
sont linéaires.

Mais les **interfaces**, similaires aux classes par certains  
aspects, permettent de contourner cette limitation.

# INTERFACES

Les interfaces sont des “contrats”, des engagements que votre classe s’engage à tenir.

Par exemple, une classe implémentant l'interface

```
// fichier XML.java  
interface XML {  
    public String toXMLString();  
}
```

s'engage à fournir une méthode `toXMLString` donnant la représentation de ses instances comme chaîne de caractères XML.

Le compilateur Java va vérifier que vous remplissez  
votre contrat : compiler

```
public class Point implements XML {  
    // sans la méthode toXMLString  
}
```

produit

```
error: Point is not abstract and does not  
override abstract method toXMLString() in XML
```



- Par contre, il ne va pas s'opposer à ce que votre fonction retourne une chaîne de caractères qui ne serait pas du XML !
- Seule la partie vérifiable du contrat est prise en charge par le compilateur. Attention au “contrat moral” qui peut venir en plus ; **il est important de bien lire la documentation des interfaces !**

```
public class Point implements XML {  
    ...  
    public String toXMLString() {  
        return "<Point " +  
            + "x='" + x + "' "  
            + "y='" + y + "' "  
            + "></Point>";  
    }  
    ...  
}
```

```
System.out.println(point.toXMLString());  
//    --> <Point x='1.0' y='2.0'></Point>
```



# SIMILARITÉ DES INTERFACES AVEC LES CLASSES

- **Hiérarchie** de classes et d'interface avec extends : deux hiérarchies parallèles.
- **Conversions** avec des mécanismes similaires :

```
Classe c = instanceClasseDerivée;  
Interface i = instanceInterfaceDerivee  
Interface j =  
instanceClasseImplementantInterface
```

# CONVERSIONS

Si les **upcasts** peuvent être implicites, les **downcasts** doivent être explicites (du type général vers le type spécifique) et peuvent échouer à l'exécution.

```
Object object = "Hello world!";  
String string = (String) object; // OK  
object = 1; // Integer  
string = (String) object; // !!! erreur
```

# DIFFÉRENCES ET COMPLÉMENTARITÉ

- On n'instancie pas directement une interface :

```
Interface x = new Interface(); // non !
```

- Il faut créer une classe qui implémente l'interface

```
class C implements Interface { ... }  
Interface x = new C();
```

# AUTRES DIFFÉRENCES

- déclaration de méthodes uniquement  
(*hors champs `public static final`*)
- les méthodes sont toutes publiques,
- pas d'implémentation (*hors méthodes `default`*)
- héritage/implémentations d'interfaces multiples :

```
interface I1 extends I2, I3 { ... }  
class C implements I2, I3 { ... }
```

# **CLASSE OU INTERFACE ?**

Hériter de – ou **étendre** – `LinkedList`, une classe:

```
import java.util.LinkedList;
public class MyList extends LinkedList<Integer>
{
    public String toString() {
        return "<" + super.toString() + ">";
    }
}
```

Permet de réutiliser son implémentation.

```
class Main {  
    public static void main(String[] arg) {  
        MyList list = new MyList();  
        list.add(1);  
        list.add(2);  
        System.out.println(list);  
    }  
}
```

# EXÉCUTION

```
$ java Main
```

```
<[1, 2]>
```



# “REFACTORING”

```
class Main {  
    public static void main(String[] arg) {  
        MyList list = new MyList();  
        Main.addOneTwo(list);  
    }  
    ...  
}
```

```
...  
    public static void addOneTwo(MyList list) {  
        list.add(1);  
        list.add(2);  
        System.out.println(list);  
    }  
}
```

Mais la fonction `addOneTwo` ne peut être utilisée qu'avec les instances de `MyList` (ou qui en dérivent).

Son usage est donc (trop) limité ...

# ALTERNATIVE – INTERFACES

- La classe `LinkedList` implémente de nombreuses interfaces (ou “contrats” vérifiés par le compilateur):  
`Serializable`, `Cloneable`, ..., `Deque`, **`List`**, `Queue`
- En implémentant `List<E>`, la classe `LinkedList<E>` garantit qu’elle implémente la méthode `add`:

```
boolean add(E e)
```

```
import java.util.List;

...

    public static void addOneTwo(List<Integer>
list) {
    list.add(1);
    list.add(2);
    System.out.println(list);
}
```

# POLYMORPHISME

Toutes les classes implémentant `List` sont désormais susceptibles d'utiliser `addOneTwo`:

`MyList`, `LinkedList<Integer>`, `Vector<Integer>`,  
etc.

# EN PYTHON

# LA CLASSE `list`



```
>>> l = [1, 2, 3]
>>> l
[1, 2, 3]
>>> type(l)
<class 'list'>
>>> sum(l)
6
```



# MA CLASSE `List` (USAGE)

```
>>> l = List([1, 2, 3])
>>> l
<[1, 2, 3]>
>>> type(l)
<class 'List'>
>>> sum(l)
6
```

- la représentation de ma liste a changé,
- ainsi que son type, `List` et non `list`,
- mais pas le reste des fonctionnalités.

- en héritant de la class `list`, on peut réutiliser ses fonctionnalités,
- on peut également enrichir ou modifier (redéfinir) ses comportements.

# MA CLASSE `List` (IMPLEMENTATION)

```
class List(list):  
    def __repr__(self):  
        return "<" + super().__repr__() + ">"
```

# POLYMORPHISME

```
def display(item):  
    print("L'objet item est:" + repr(item))
```

(repr appelle la méthode `__repr__` de `item`)

- le code de `display` ne permet pas de dire quelle implémentation de `__repr__` va être utilisée (**attachement dynamique/tardif**).
- le “contrat moral” est d’utiliser comment argument un objet **représentable**.
- tous les types d’objets respectant cette contrainte peuvent être utilisés comme argument (**polymorphisme**).

- En l'absence de méthode `__repr__` spécifique dans votre classe, Python va se tourner vers les classes dont elle hérite (object par défaut).

```
>>> class NoRepr:
...     pass
>>> nr = NoRepr()
>>> nr
<__main__.NoRepr object at 0x7f0a620cb588>
```



```
>>> class List(list):  
...     pass  
>>> l = List()  
>>> l  
[]
```

# “DUCK TYPING”



(CC BY-SA 3.0, [Link](#))

- L'argument doit passer le **test du canard**:  
“If it looks like a duck, swims like a duck, and quacks like a duck, then it probably is a duck.”
- S'il échoue, une exception se produit (elle peut être gérée par le programme).

# ALTERNATIVES À L'HÉRITAGE: COMPOSITION

```
class List:  
    def __init__(self, items):  
        self.l = list(items)
```

C'est **avoir** une liste (et non pas **être** une liste).

# DÉLÉGATION

On peut “être une liste” sans hériter de `list`:

```
class List:
    def __init__(self, items):
        self.l = list(items)
    def __repr__(self):
        return self.l.__repr__()
    def __iter__(self):
        return self.l.__iter__()
    ...
```